ALL SCIENCES ACADEMY



Proceeding Book of 4th International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2025

29-30 April 2025: Konya, Turkey

PROCEEDING BOOK OF 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SCIENTIFIC AND INNOVATIVE STUDIES ICSIS 2025

PROCEEDING BOOK OF 4TH ICSIS 2025:

29-30 April 2025

Konya, Turkey

Publication date: 09.05.2025

Publisher: All Sciences Academy

Proceeding Book of 4th International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2025

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2025: edited by All Sciences Academy.

ISBN: 978-625-5900-30-2

As this is a serial book published, it has ISBN. All full papers were peer reviewed.

ISBN 978-625-5900-30-2

Printed in the Turkey with ISBN 978-625-5900-30-2

International Conference Website

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

INTRODUCTION

We had the great honor of of 4th International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2025. It was truly a great pleasure for us to greet a lot of participants from many different countries attending ICSIS 2025! We firmly believe that the conference will become an important international event in the field of cross-industry discussion about innovations in Academic Studies.

Three cooperating organizations supported the two-day conference. There were 152 papers accepted for presentation at ICSIS 2025, contributed from different countries. We had plenary speeches and several well-known scientists and experts, to give invited talks at differentsessions.

The purpose of ICSIS 2025 was to provide a forum for the participants to report and review innovative ideas, with up-to-date progress and developments, and discuss novel approaches to the application in the field of their own research areas and discuss challenges of doing science.

We sincerely hope that the exchange of ideas on doing research, science and improving education will help the participants, and international cooperation sharing the common interest will be enhanced.

On behalf the Organization Committee of ICSIS 2025, we would like to heartily thank our cooperating organizations for all they have done for the conference. We would also like to thank the authors for their contribution to the proceedings; the participants and friends of ICSIS 2025, for their interest and efforts in helping us to make the conference possible; and the Editorial boards for their effective work and valuable advice, especially the ICSIS 2025 secretariat and the ICSIS 2025 staff, for their tireless efforts and outstanding services in preparing the conference and publishing the Proceedings.

Publisher: All Sciences Academy

TABLE OF CONTENTS

Introduction I
Table of Contents II
Conference Chairs X
Scientific Committees XI
Document of Academic Incentive XII
Document of International Conference XIII

Table List of Content

Content of Full Papers

Page No	Title	Authors	Country	Submission ID
1-12	Effects of pH and Temperature during Recycling on the Mechanical, Optical, and Barrier Properties of Old Corrugated Cardboard	Ayşegül Coşkun, Rumeysa Gözübüyük, Nisa Altay, Rabia Kara, Mustafa Çiçekler	Turkey, Turkey, Turkey, Turkey, Turkey	Mail Submission 1
13-16	The Relationship of Some Hordeum Species Growing Naturally Around Eber Lake (Afyonkarahisar) with Soil	Ahmet Serteser	Turkey	Mail Submission 2
17-19	The Adoption of Green Technologies by Businesses and the Strategies for Green Technological Catch-up	Serap KALFAOĞLU	Turkey	Mail Submission 4
20-26	Yüksek Fırın Cürufu İkameli ve Uçucu Kül Aktivatörlü Geopolimer Harçlarda 3-7 ve 28 Günlük Basınç Dayanımı Özellikleri	Osman ULUSU, Melek Şeyma ULUSU	Turkey, Turkey	Mail Submission 5
27-32	Artificial Intelligence and Blockchain Technologies for Sustainable Development	Nebojša Denić, Anđela Baščarević, Momir Milić, Saša Mihajlović, Stefan Milić	Serbia, Serbia, Serbia, Serbia, Serbia	Mail Submission 7
33-41	Hibrit Jüt/Cam Fiber Takviyeli Polimer Kompozitlerin Düzlem İçi ve Düzlem Dışı Mekanik Özelliklerine Dizilim ve Katman Sayısının Etkisi	Adem KARA, Serkan BATI	Turkey, Turkey	Mail Submission 8
42-49	A Survey on Evolution of Bill Splitting and Expense Management Applications	Bushra Shaikh, Ayesha Shaikh, Neha Yadav, Arshi Khan	India, India, India, India	Submission 891
50-56	EĞİTİM KURUMLARI ATÖLYELERİNDE İSG KÜLTÜRÜNÜN OLUŞTURULMASI: FIRAT ÜNİVERSİTESİ TBMYO ÖRNEĞİ	Figen YİĞİT, Heval GÜLTEKİN, Serhat ŞENGÜR	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 892
57-62	Importance and Advantages of Preserving Fruits with Freezing Method	Hüseyin ÖZÇELİK, Ayşen Melda ÇOLAK, Fatma ALAN	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 893
63-68	MİLLİ KÜLTÜRÜMÜZLE GEÇMİŞTEN GELECEĞE: GELENEKSEL DEĞERLERİN DRAMA İLE AKTARIMI	Eda ŞENGÜR, Tuncay Yavuz ÖZDEMİR	Turkey, Turkey	Submission 896
69-77	Lecturers' Perceptions of Online Learning Through the Home-Based Teaching and Learning (PdPR) Approach	Ahmad Muzri Bin Mohammad Najib, Amir Afuan Bin Nordin, Wan Siti Rodziah Binti Mohd Nasir	Malaysia, Malaysia, Malaysia	Submission 900
78-83	ZnO Glucose Sensor Types and Current Working Areas	Beytullah Diyar SÜRGİT, Mehmet Hakan ÇOLPAN, Murat YILDIRIM	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 906
84-88	Paper Serological Evidence of Equine Infectious Anemia in Equids from the Korçë Region, Southeastern Albania	Kristi Morava, Ilir Dova, Rezart Postoli, Enkeleda Ozuni, Majlind Sulçe, Kledis Çela, Xhelil Koleci	Albania, Albania, Albania, Albania, Albania, Albania	Submission 913
89-106	Gastronomik İnovasyon: Böcek ve Bitki Bazlı Proteinlerin Ekonomik Entegrasyonu	M. Oğuzhan İlban	Turkey	Submission 914
107-115	Tatların Kayboluşu: Küresel İklim Değişikliğinin Gastronomik Miras Üzerindeki Etkisi	M. Oğuzhan İlban	Turkey	Submission 915
116-123	Integral Terminal Sliding Mode Control for 2-DOF Robot Manipulators Enhanced by Evolutionary algorithm Under External Disturbances	Mohammed Yousri Silaa, Ilyes Rougab, Aissa Bencherif, Oscar Barambones, Noureddine Benaya	Algeria, Algeria, Algeria, Spain, Algeria	Submission 916
124-129	Kocaeli Bölgesinde Gıda Üretim Alanı Temelli Floristik Çeşitlilik ve Biyoçeşitlilik İzleme Uygulaması	Tuğba Gelmez, Şeker Naz Geçgel, Murat Eyvaz	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 931
130-138	Elektrolüminesans Görüntüleme ve Gelişmiş Makine Öğrenme Stratejileriyle Güneş Panellerinde Arıza Sınıflandırmasının Geliştirilmesi	Zübeyir Furkan Haroğlu, Fatih Demir	Turkey, Turkey	Submission 935
139-141	Nanofiber Production and Use with Electrospinning Technique	Ayşenur TAN, Mehmet Hakan ÇOLPAN, Murat YILDIRIM	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 936
142-144	Green Synthesis of Nanoparticles: The Role of Nanoparticles in Drug Delivery System	Elif Zülalnur VURDU, Mehmet Hakan ÇOLPAN, Murat YILDIRIM	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 937
145-151	Determinants of Customers' Intention to Use Online Banking: An Extended Technology Acceptance Model Perspective in the Albanian	Migena PETANAJ, Lorena ÇAKËRRI	Albania, Albania	Submission 938

	Context			
152-159	Financial Literacy and Decision-Making in Albanian SMEs: Insights from a Qualitative Study	Lorena ÇAKËRRI, Migena PETANAJ	Albania, Albania	Submission 940
160-164	Investigation of the Propagation Potential of the Beylik Olive (Olea europaea L.) Cultivar by Cuttings	Sabriye Atmaca, Halil İbrahim Yolcu	Turkey, Turkey	Submission 942
165-170	A Novel Bipolar Pulse Generator with Variable Pulse Width	Burak Arıcıoğlu	Turkey	Submission 944
171-175	Working Principle of Supercritical CO2 Extraction and Its Use in Recent Years	Memik Can KARATAŞ, Mehmet Hakan ÇOLPAN, Murat YILDIRIM	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 946
176-181	Experimental Application of Tilt Integral Derivative (TID) Controller on PMSM Speed Control System with Using Simulink and TI F28335 DSP	Erdem Ilten	Turkey	Submission 947
182-187	Plazmonik Soy Metal Sensörlerin Çalışma Prensiplerin İncelenmesi	Muhammet Yaşar, Ilhan Candan	Turkey, Turkey	Submission 950
188-194	Design and Development of a Solar-Powered Robotic Vehicle for Providing Internet Connectivity in Remote Areas	Anan Sulaiman Al-Adani, Yunus Emre KARASU	Turkey, Turkey	Submission 951
195-201	5. Sınıf Sosyal Bilgiler Dersinde Drama Tekniği Aracılığıyla Öğrencilerin Girişimcilik Becerilerinin Geliştirilmesi	Hüseyin Bayram	Turkey	Submission 952
202-208	Deniz Kazaları Üzerine Yapılmış Lisansüstü Çalışmaların Bibliyometrik Analizi	Hüseyin Caner Doğru, Murat Yorulmaz	Turkey, Turkey	Submission 953
209-214	Haydarpaşa Gemi Atık Kabul Tesisi Arıtım Sürecinde Performans Artırımı	Fatih Çoker, Halim Alp Makineci, Gökberk Solmaz, Nurullah Özdoğan, Murat Eyvaz	Turkey, Turkey, Turkey, Turkey, Turkey	Submission 954
215-221	Temporal and spatial variability of the beginning and end of daily freeze/thaw cycles for Mati Basin River area, Albania	Blerina Papajani, Albana Hasimi, Elvin Çomo, Gazmir Çela, Idajet Selmani, Mirela Dvorani	Albania, Albania, Albania, Albania, Albania, Albania	Submission 965
222-227	Synthesis of Green Nanoparticles and Photocatalysis Applications in Nanotechnology	TUQA SHAKIR MAHMOOD, Mehmet Hakan ÇOLPAN, Murat YILDIRIM	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 967
228-232	Hiperakümülatör Bitkiler ve Fitoremediasyon Potansiyeli	İlkay YAVAŞ,Hayrettin İlker ÖZDEMİR	Turkey, Turkey	Submission 969
233-237	Eichhornia crassipes (Mart.) Solms kullanılarak atık suların temizlenmesi	İlkay YAVAŞ,Hayrettin İlker ÖZDEMİR	Turkey, Turkey	Submission 970
238-258	Impeding and Enabling Macroeconomic Factors of Circular Economy: Analyzing the Effect of Extended STIRPAT Framework Through a Dynamic GMM Model in Western Balkan Countries	Kriselda Sulcaj GURA, Servet GURA, Fatmir GURI	Albania, Albania, Albania	Submission 973
259-264	Impact of Recycled Sands on the Durability of Sand Concrete in Aggressive Environments	Rezaiguia Nouha, Hebhoub Houria, Berdoudi Said, Djebri Noura	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 976
265-268	Towards understanding the adsorption of FAF on a ruthenium surface DFT study: First steps	SARI MOHAMMED Hanaa, AZIZI Sihem	Algeria, Algeria	Submission 977
269-276	TORYUM NÜKLEER YAKITLI FÜZYON-FİSYON HİBRİD REAKTÖRLERDE ÇİNKO SELENÜR (Zn-Se) TERMOKİMYASAL ÇEVRİMİ İLE HİDROJEN ÜRETİMİNİN İNCELENMESİ	Serkan SİVRİKAYA, Ramazan ÇAKIROĞLU, Adem ACIR	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 978
277-282	FÜZYON-FİSYON BİR HİBRİD REAKTÖRDE HyS-Cl TERMOKİMYASAL ÇEVRİMİYLE HİDROJEN ÜRETİM POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ	Ali Kurnaz, Ramazan Çakıroğlu, Adem Acır	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 979
283-286	Nanoparticles Levitated in a Paul Trap: Advances and Applications	Ilhan Candan	Turkey	Submission 980
287-293	Petrol fiyatının sanayi üretimi üzerindeki etkisi: Net petrol ithalatçısı ülkelerden kanıtlar	Kadir Karagöz	Turkey	Submission 981
294-298	Model-Based Optimization of Culture Media in Plant Tissue Cultures: Design of Expert (DOE) Approach	Heydem EKİNCİ, Bekir Erol AK	Turkey, Turkey	Submission 982
299-304	Braket Malzemesinin Mekanik Sonuçlara Etkisinin Sonlu Elamanlar Yöntemi ile İncelenmesi	Mehmet Kıvanç Turan	Turkey	Submission 983
305-311	Vorteks Yapıcıların Kanat Aerodinamiğine Etkilerinin Sayısal Olarak İncelenmesi	Gülsüm Kılıç, Taner Coşgun	Turkey, Turkey	Submission 984
312-320	Finding the Balance between Relevance and Accuracy during the Sampling Process in Business Surveys	Elona Dashi (Berberi)	Albania	Submission 989
321-327	Kurumsal Türkçe Metinlerde Çok Görevli Öğrenmeyle Kelime Tahmini ve Belge Sınıflandırma: FastText-LSTM Yaklaşımı	Oğuzhan Bulut, Aytuğ Onan	Turkey, Turkey	Submission 990
328-338	Systems Biomedicine Deciphers Network Signatures and Identifies Therapeutic Repositioning Opportunities in Papillary	Busra AYDIN	Turkey	Submission 993

	Craniopharyngioma			
339-345	A comparative analysis of Fixed and Dynamic Pricing and AI perspective for Albania	Anna Maria Kosova, Marsida Krasniqi, Blerina Bektashi, Eda Tabaku	Albania, Albania, Albania, Albania	Submission 999
346-348	Investigation of the prevalence of Toxoplasma gondii in sheep minced meat by molecular methods in Konya province, Türkiye	Hatice Berna Poçan	Turkey	Submission 1000
349-355	Tungsten Karbür Takviyeli Al7075 Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi	Selin ATICI, Erkan ÖZTÜRK, Mahmut Can ŞENEL	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 1004
356-361	Vision Transformer for AI Image Detection: Implementation and Web Application	Orkun ÇINAR, Yunus DOĞAN	Turkey, Turkey	Submission 1005
362-365	Hindi Etinin Kalitesi: Teknolojik ve Mikrobiyolojik Kalite	Emine AKSAN ALDANMAZ	Turkey	Submission 1006
366-369	Investigation of Composite Radome Repair Methods: An Experimental Study on Structural and Electromagnetic Performance	Muhammed Esad Karaduman, Mehmet Çağrı Tuzemen, Fatih Aktas	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 1010
370-374	The Evaluation of Bacterial Growth Inhibition and Mechanism of Donor-π-Acceptor Dye sensitized TiO2	İlknur AKSOY ÇEKCEOĞLU	Turkey	Submission 1011
375-379	EFFECT OF CUTTING SPEED ON THE MACHINING PERFORMANCE OF PLASTIC MOLD STEEL (1.2312)	Javidan Rashidli, Rüstem Binali	Turkey, Turkey	Submission 1018
380-386	Supercapacitors and their mechanisms	Murat Ates	Turkey	Submission 1022
387-391	Yüksek Kalitede Proses Buharı Üreten Buhar Kazanı Sisteminin Termoekonomik ve Çevresel Analizi	Emre Bilmem, Erdem ÇİFTÇİ	Turkey, Turkey	Submission 1024
392-397	A Novel Dynamic Probability Assignment in NSGA-II for Enhanced Multi-Objective Optimization of 60NiTi Bearings in Spacecraft Applications	Prasun Bhattacharjee, Somenath Bhattacharya, Amit Karmakar	India, India, India	Submission 1027
398-400	The Method of Graph Amalgamations	Mustafa Demir	Turkey	Submission 1028
401-408	Transformers-Based Deep Learning for SMS Spam Detection Using ALBERT and SpanBERT Models	Asim Abid, Muhammad Arsalan, Ejaz Ahmed, Muzamil Ahmed, Malik Muhammad Ali Shahid	Pakistan, Pakistan, Pakistan, Pakistan, Pakistan	Submission 1034
409-414	Bakü'de Yetişen Eupatorium maculatum Bitkisinin Farklı Kısımlarının Antioksidan Kapasitesi	Salatin Bayramlı, Gülnur Arabacı	Turkey, Turkey	Submission 1037
415-422	The Effect of Magnesite Usage on Bitumen Modification: A Literature Review	Ali Mert BURAYA, Sebnem KARAHANCER	Turkey, Turkey	Submission 1046
423-430	Advances in CFD Modeling and Hybrid Design Approaches of Gas-Liquid Separation	Azamat Nurpeisuly, Merdin Danismaz	Turkey, Turkey	Submission 1047
431-438	Kurutma Prosesinde Oksijenin Kullanılabilme Potansiyelinin Sayısal Olarak İncelenmesi	Emre Aşkın Elibol	Turkey	Submission 1048
439-447	What drives sales of construction companies? A macro-level analysis in a developing country	Eni Numani , Gisjana Tahiri	Albania, Albania	Submission 1050
448-454	Bir Güneş Bacasında Akış Dinamiği ve Daralan Kesitteki Hız ve Basınç Profilinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile İncelenmesi	Nurhan Adil ÖZTÜRK, Mustafa ÖNAL	Turkey, Turkey	Submission 1051
455-459	A Theoretical Study on The Efficiency of Water Depth in Single Slope Solar Stills: Energy and Exergy Efficiencies	Fethi Ahmet Çakmak, Fatih Selimefendigil	Turkey, Turkey	Submission 1053
460-467	PEM Yakıt Hücresinde Gaz Kanalları için CFD Temelli Akış ve Sıcaklık Dağılım Analizi	İfakat Karakoç, Merdin Danışmaz	Turkey, Turkey	Submission 1056
468-475	KALP HASTALIKLARI GÖRÜNTÜLERİ İLE ÖZELLİK ÇIKARMA YÖNTEMLERİ	Şule Temel, Emre Avuçlu, Filiz Sarı	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 1060
476-484	The Impact of Portfolio Assessment on Students' Reading Skills Enhancement	Rafika Helaimia, Rahima AIT OUBELLI	Algeria, Algeria	Submission 1061
485-495	Intelligent Stroke Risk Forecasting: A Hybrid Machine Learning and Feature Engineering Approach	Israr Ali Khan, Muzamil Ahmed, Javeria Ameen, Ahmed Abbas, Ejaz Ahmed	Pakistan, Pakistan, Pakistan, Pakistan, Pakistan	Submission 1063
496-501	A Theoretical Analysis of Solar Still Performance under Varying Temperature and Solar Radiation Conditions: Energy and Exergy Efficiencies	Fethi Ahmet Çakmak, Fatih Selimefendigil	Turkey, Turkey	Submission 1066
502-506	Havalı Süspansiyon Sistemlerinde Körük Ömrünü Artırmaya Yönelik Tasarım Önerisi	Osman Yıldırım, Mehmet F. Yaren	Turkey, Turkey	Submission 1067
507-517	Analysis of Low Frequency Magnetic Fields used for High Voltage Overhead Electric Transmission Lines	Salah-Eddine Houicher, Rabah Djekidel, Sid Ahmed Bessedik	Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1084
518-525	TÜRKİYE BANKACILIK SEKTÖRÜNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ODAKLI REKLAMCILIK: LİTERATÜR TEMELLİ BİR DEĞERLENDİRME	Sena Akkuş	Turkey	Submission 1087
526-532	The Role of Tax Reforms in Increasing Public Revenues and Economic Development in Albania	Robert Çelo, Rovena Bega	Albania, Albania	Submission 988
533-537	PRECISION AGRICULTURE FOR IRRIGATION MANAGEMENT IN PAKISTAN	Faras Ahmad Shahbaz, Ibrahim Ibn Abdul Wajid, Muhammad Momin, Haider Ali, Erum Aamir	Pakistan, Pakistan, Pakistan, Pakistan, Pakistan	Submission 1007

538-543	THE INFLUENCE OF STUDENTS' EMOTIONAL STATE ON SUCCESS DURING WRITTEN AND ORAL ASSESSMENT	Besa Dogani S	North Macedonia	Submission 1009
544-550	Kurkumin Bileşiğinin Anti-Kanser Etkisi	Gizem Güloğlu	Turkey	Submission 1016
551-559	ECONOMIC FEASIBILITY OF RAINWATER HARVESTING SYSTEMS IN ISLAMABAD AND PESHAWAR	Erum Aamir, Eiman Nasir, Fatima Naeem, Hijab Fatima, Marha Khan	Pakistan, Pakistan, Pakistan, Pakistan, Pakistan	Submission 1039
560-562	Osteoporotik Vertebral Kompresyon kırıkları, Kemiklerin Sessiz Düşmanı mıdır?	Nevzat YEŞİLMEN, Ahmet ÇINAR, Taner TUNCER	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 1040
563-568	Evaluation Techniques for The Assessment of Solid Waste Management Projects	Syed Nouroz Imam, Erum Aamir	Pakistan, Pakistan	Submission 1085

Content of Abstract Papers

Page No	Title	Authors	Country	Submission ID
1	Life Forms and Life Strategies of Mosses	Mithat Evrim DEMİR, Gözde ASLAN	Turkey, Turkey	Mail Submission 6
2	Biosurfactants for the Remediation of Soils Contaminated with Organic and Metallic Pollutants	Imane KEZRANE, Toufik CHAABANE, Amel GUELLATI, Nadjib DAHDOUH, Amina OUARGHI	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 876
3	Design, Synthesis, and Antibacterial Evaluation of Functionalized 2-Quinolone Derivatives: A Combined Experimental and Structural Study	Ayoub El-mrabet, Amal Haoudi	Morocco, Morocco	Submission 877
4	A Quasistatic Electro-Elastic Contact Problem with Long Memory and Slip Dependent Coefficient of Friction	Abdelkader Saadallah, Derguine Mustafa	Algeria, Algeria	Submission 879
5	Study of Existence Solutions in Banach Spaces for Caputo-Fractional Boundary Problem	Aboubaker El-Saddik Bouziane, Berrabah Bendoukha	Algeria, Algeria	Submission 880
6	Application of Schaefer Fixed Point Theorem for Caputo-Fractional Boundary Problem	Aboubaker El-Saddik Bouziane, Berrabah Bendoukha	Algeria, Algeria	Submission 881
7	IT Effects on Personnel Scheduling	Emir Hüseyin ÖZDER	Turkey	Submission 882
8	Preparation and Biological Screening Of Hydrazones Using İsolated Cholic Acid	Talha Mashhood, Akbar Ali, Shehar Bano, Muhammad İbrahim	Pakistan, Pakistan, Pakistan, Pakistan	Submission 883
9	Synthesis And Biological Evaluation of Amides using Coumarin-3-Carboxylic Acid	Shehar Bano, Muhammad Ibrahim, Talha Mashhood, Akbar Ali	Pakistan, Pakistan, Pakistan, Pakistan	Submission 884
10	Numerical Simulation of Corrosion Dynamics in Water Pipes via Finite Volume Discretization of a Reaction-Diffusion System	Salim Mesbahi, Samiha Djemai	Algeria, Algeria	Submission 885
11	Finite Volume Method for Modeling Bacterial Spread in Food Production Water Reservoirs: A Reaction-Diffusion Approach	Salim Mesbahi, Samiha Djemai	Algeria, Algeria	Submission 886
12	Valorization of Olive Mill Wastewater: Phenolic Content and Antioxidant Activity	GUERBOUB Lynda, SOUFI Ouahiba, OULDSAADI Linda	Algeria, Algeria, Algeria	Submission 888
13	Corrosion inhibition potential of 1,3,4-triphenyl-7-oxa-1,2-diazaspiro[4.4] non-2-en-6-one for carbon steel in 1M HCl: electrochemical and computational studies	Youssef YOUSSEFI, Omar OU-ANI, Lahcen OUCHEIKH, Ahmad OUBAIR, Mohamed ZNINI	Morocco, Morocco, Morocco, Morocco	Submission 889
14	Hyers-Ulam Stability of Cauchy-Euler Equations using Laplace Transform	Emel Biçer	Turkey	Submission 897
15	Electrochemical behavior of MnO2-PAni/FTO modified electrode towards methanol oxidation	Assia TOUNSİ, Farid HABELHAMES, Ahmed BAHLOUL, Ouafia BELGHERBI, Leila LAMIRI, Nourdinne BOUMAAZA	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 902
16	Numerical Simulation of a CZTS/CZTSSe-Based Thin-Film Solar Cell Using SCAPS-1D	Feriha Afrah BOUKHELKHAL, Naceur SELMANE, Ali CHEKNANE, Youcef ELBIA, Fakhereddine KHEMLOUL	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 903
17	Valorization of Eucalyptus camaldulensis Essential Oils: Combined Approaches of Hybridization and Rectification for the Optimization of Bioactive Compounds	AABASSI Fatima Ez-Zahra, FARAH Abdellah, SAFFAJ Taoufiq, MECHATTE Mohamed Amine	Morocco, Morocco, Morocco, Morocco	Submission 907
18	Bibliometric Analysis of Rectal Cancer and Deep Learning	Nihan OZBALTAN	Turkey	Submission 908
19	Investigating the Influence of External Factors on the Cooling Cycle of the Precooled Linde System	Litouche billel l, Bella Mourad, Rebai Billel	Algeria, Algeria, Algeria	Submission 909
20	Comparative Study of Copolymer “TPE” Damage According to Conservation Modulus	Abdel-Nour Zaim, Drai Ismail, El Bahri Ould Chikh	Algeria, Algeria, Algeria	Submission 911
21	Study, simulation, and design of an emergency lighting system	Fatima Zohra RAHOU	Algeria	Submission 917
22	A Secure IoT-Based System for Real-Time Industrial Safety Monitoring in Hazardous Environments	Farah Nazar Ibraheem	Iraq	Submission 918
23	The electrical properties of system $Na_2ZnP_2O_7$	Maghni Cherif, Kharroubi	Algeria, Algeria, Algeria,	Submission 919

	glass doped with mixed rare earth cations	Mohamed, Belkadi Ouahid, Zaouche Chouaieb	Algeria	
24	Features of Cr-doped NiO thin films deposited by spray pyrolysis	Maghni Cherif, Kharroubi Mohamed, Belkadi Ouahid, Zaouche Chouaieb	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 920
25	Effects of Ni doping on the properties of ZnO nano-thin films	Maghni Cherif, Kharroubi Mohamed, Belkadi Ouahid, Zaouche Chouaieb	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 921
26	Study of electronic and magnetic properties of high entropy AlyCoCr0.6NiV0.6: Ab initio calculations	R. Masrour	Morocco	Submission 924
27	Influence of a long-range interaction on three dimensional (3D) Heisenberg layered model: A Monte Carlo study	R. Masrour	Morocco	Submission 925
28	Study the magnetic and electronic properties of Ni2Mo and Ni3Mo by Ab initio calculations with GGA+U and mBJ approximations	R. Masrour	Morocco	Submission 926
29	Geometric Modeling For Calculating Volume And Surface Area For Some Microstructures	Ali Özdemir	Turkey	Submission 927
30	Kurumsal Karbon Ayak İzi Tespiti: Düzce Üniversitesi Konuralp Yerleşkesi Örneği	Oğuz Şahiner	Turkey	Submission 928
31	Groundwater Flow Modelling of Lake Tuz Watershed (Turkey) Affected by Over-Exploitation	Miraç Eryiğit	Turkey	Submission 930
32	Green Synthesis and Characterization of Phytogenic Nanomaterials	Sara Chikhi	Algeria	Submission 932
33	Mechanical Behavior of s Kevlar /Epoxy composites	Adel Deliou, Mohamed Chaour, Khmissi Belkaid, Meriem Dehbi, Abdelkader Fidjah	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 933
34	Azo Bileşiklerinin İki Yüzü: Toksisite ve Terapötik Uygulamalar	Gülnihal Erten	Turkey	Submission 945
35	RELATIVE ASYMPTOTICS FOR ORTHOGONAL MATRIX POLYNOMIALS WITH RESPECT TO A PERTURBED MATRIX MEASURE ON THE UNIT CIRCLE	HASSAN TEMMIH, HOUSSAIN O.YAKHLEF	Morroco, Morroco	Submission 955
36	Quality control of concrete coating works high modulus bituminous in Algeria	Ben Ammar Ben Khadda	Algeria	Submission 956
37	Karaman'da Satışa Sunulan Çiğ Süt Örneklerinin Bazı Mikrobiyolojik ve Fizikokimyasal Özellikleri	Sabire Yerlikaya, Enes Arda Ural	Turkey, Turkey	Submission 963
38	Ankara'daki Bazı Kuyu Sularının Temel Mikrobiyolojik ve Fizikokimyasal Özellik Tespiti	Sabire Yerlikaya, Ayşe Nur Temizkan	Turkey, Turkey	Submission 964
39	Effect of Petroleum Hydrocarbon Contamination on Soil Respiration and Organic Matter	Asma Boutaghane, Rania Zamouche-Zerdazi, O.Abdelaziz, M.Bencheikh Lehocine	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 968
40	Toxicological study of certain pesticides on a rabbits (Oryctolagus cuniculus)	DEBABSA Rafika, GRARA Nedjoud, KHALDI Fadıla	Algeria, Algeria, Algeria	Submission 975
41	Bazı Alkanna Türlerinin Anatomik Özelliklerinin İstatistiksel Karşılaştırılması	Canan Özdemir	Turkey	Submission 985
42	2-(p-ethylphenyl)-5-[(p-methylphenyl)sulfonylamido]benzoxazole As a Potential Acetylcholinesterase Inhibitor	Nagihan FAYDALI	Turkey	Submission 986
43	Novel Formulations of Fatty Bases and Their Optimization Using a Mixture Design of Experiments	Mohamed Kouider Amar, Samira Ferhat, Reda Allouaoui, Kaouther Allaoua, Narimene Boukhedimi	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 991
44	Computer-Aided Factorial Design for Optimized Nylosan Red Dye Removal in Urban Wastewater Treatment	Amel BELAYACHI-HADDAD, Noureddine BENDERDOUCHE, Benaouda BESTANI, Cherif HADDAD	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 992
45	On Numerical Solution of Stochastic Partial Differential Equations	Fatna BENSABER*, Amina BENRAMDANE, Hayet Benchira	Algeria, Algeria, Algeria	Submission 995
46	Phytochemical Characterization and Cytotoxic Assessment of a Cyprus-Distributed Invasive Solanaceae Species	İmge Kunter	North Cyprus	Submission 996
47	Grid-side Converter Control in PV System To Enhance Current Waveform Quality Through Low Pass LCL Filter	Atallah Ouai	Algeria	Submission 997
48	Biogenic Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using Annona muricata Extract for Biomedical and Environmental Applications	Titilayomi Adewusi	Turkey	Submission 998
49	Tef (Eragrostis teff) Bitkisinin Özellikleri, Yetiştiriciliği ve Kullanım Alanları Üzerine Bir İnceleme	Mustafa ŞAHİN, Müzeyyen ÖZDEMİR	Turkey, Turkey	Submission 1003
50	Spectroscopic Investigation of Cefixime Encapsulation in Mixed Micellar Media for Drug Delivery Applications	Hafsa Habib-ul-Allaha, Muhammad Usman, Abdur Rauf, Rameen Iqbal, Fazeela Tariq, Lubna Rasool	Pakistan, Pakistan, Pakistan, Pakistan, Pakistan, Pakistan	Submission 1008

51	On a nonlinear sequential four-point fractional q-difference equation involving q-integral operators in boundary conditions along with stability criteria	Abdelatif Boutiara	Algeria	Submission 1019
52	Classification and Faults Detection in PV Systems Using Thresholding Algorithm	Atallah Ouai	Algeria	Submission 1020
53	Sürdürülebilir Frenleme Yaklaşımı: Elektrikli Bisikletler için Akım Baskılı Manyetik Tozlu Fren Sistemi Uygulaması	Furkan Güçlü, Serdar Halis, Emre Arabacı	Turkey, Turkey, Turkey	Submission 1021
54	Büyük Abdiuşağı Köyü (Kırşehir-Akpınar) Manganez Cevherleşmelerine Yönelik İlk Bulgular	Ahmet EFE	Turkey	Submission 1033
55	Theoretical Insight into Solvent and Hydrogen Bond Effects on [3 + 2] Cycloaddition Using MEDT and SASA Analysis	Sofiane Benmetir, Fatima Zohra Boudjenane, Lakhdar Benhamed, Noureddine Tchouar, Haydar Mohammad-Salim, Jesús Vicente de Julián-Ortiz, Mar Ríos-Gutiérrez, Luis R. Domingo	Algeria, Latvia, Algeria, Algeria, Iraq, Spain, Spain, Spain	Submission 1035
56	Immobilisation of zero-valent silver-decorated jujube activated carbon (Ag0/JAC) on polyester fabric for catalytic reduction of 4-nitrophenol	I.TAZI, O. Bahammou, H. ZAITAN	Morocco , Morocco , Morocco	Submission 1038
57	Structural and Luminescence Properties of Sm and Cu Co-Doped ZnO Powders Synthesized via Thermal Decomposition	Neslihan Sakar	Turkey	Submission 1045
58	The Influence of Emerging Technologies on the Transformation of Airport Operations and the Enhancement of Passenger Experience: An Overview of Smart Airport Solution	Ayşenur ERDİL	Turkey	Submission 1049
59	Investigation of Abrasion Resistance in Upholstery Fabrics Including Recycled Yarn	Bestem Esi	Turkey	Submission 1052
60	Scenarios for Improving the Damage Behavior of CNT Reinforced Twill Carbon Fiber Subjected to Bird Strike	Cengiz Yaman, Mustafa Taşyürek	Turkey, Turkey	Submission 1054
61	A Robust Eight-Node Element for Bending Analysis of Multilayer Sandwich Composites	Khmissi BELKAID	Algeria	Submission 1057
62	Adsorptive Desulfurization of Diesel Using Imidazolium-Functionalized Carbon Nano-Spheres: Physicochemical Characterization and Emission Simulation Analysis	Nardjes Rouag, Souad Hammadou, Djamila Boufades, Hamouche Aksas	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1058
63	Uses of Bryophytes as Biomonitoring Agents	Mithat Evrim DEMİR, Gözde ASLAN	Turkey, Turkey	Submission 1059
64	Comparison of concrete strengths obtained by the destructive method and the non-destructive method	Souad Kherbache, Nedjima Bouzidi, Abdelkader Tahakourt	Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1062
65	Landfill Methods for The Management of Municipal Solid Waste	Abdullah İzzeddin KARABULUT, Mehmet İrfan YEŞİLNACAR	Turkey, Turkey	Submission 1064
66	Synthesis and characterization of thermal graphene oxide tGO and thermal graphene oxide reduced trGO	Kaouter Bentedlaouti, Belkhir Nacera Leila	Algeria, Algeria	Submission 1068
67	Subclinical mastitis prevalence in the southern Albanian region	Gerald Muça, Majlind Sulçe, Luigj Trumalaj, Pëllumb Zalla, Egon Andoni, Doriana Beqiraj, Albana Muga, Xhelil Koleci	Albania, Albania, Albania, Albania, Albania, Albania, Albania, Albania	Submission 1073
68	Simulation and Optimization of the Performance of silicon heterojunction solar cells	Naceur Selmane, Feriha Afrah Boukhelkhal, Youcef Elbia, Mustapha Noureddine, Tahar Tahouri, Ali Cheknane	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1074
69	A numerical study of a novel Solar cell structure based CZTSe/CIGS absorber bi-layers	Naceur Selmane, Feriha Afrah Boukhelkhal, Youcef Elbia, Mustapha Noureddine, Tahar Tahouri, Ali Cheknane	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1075
70	Influence of Precursor Volume on the Optical Properties of Cu_2ZnSnS_4 Thin Films Deposited by a Modified SILAR Method	Tahar Tahouri, Hamid Khachab, Naceur Selmane	Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1076
71	COVID-19, Bağırsak Mikrobiyotası ve Beslenme: Enfeksiyonun Seyrinde Mikrobiyal Dengenin Rolü	Havvanur TAŞKIN	Turkey	Submission 1078
72	Analysis of a Circular Printed Antenna With Air Gap Using Chebyshev Basis Functions	Benmeddour fadila, Fodil Malika, Zerdoumi Zohra	Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1079
73	QSAR Predictive modeling of acute oral toxicity of pesticides on fish (Oncorhynchus mykiss)	Mahtal Badiet El Djamel Nedjma, Laidi Maamar, Rahal Soufiane, Hentabli Mohamed, Hamadache Mabrouk	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1080
74	Reduction of Speed Ripples in a Polyphase Motor Using Adaptive Gain Fuzzy Control	Fodil Malika, Zerdoumi Zohra, Benmeddour Fadila	Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1081
75	Hybrid Model for Short-Term Wind Power Forecasting Using Advanced Decomposition Techniques and Bidirectional Deep Neural Networks	Mezaache Hatem	Algeria	Submission 1082
76	Analysis of FFT and DWT Based OFDM	Zohra Zerdoumi, Malika Fodil,	Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1083

	Techniques for improving Wireless Communication Performance	Fadila Benmeddour		
77	Bazı Draba Türlerinin Anatomik Özelliklerinin İstatistiksel Karşılaştırılması	Canan Özdemir	Turkey	Submission 1086
78	On nondegenerate fractional Kirchhoff-Schrödinger-Poisson system	Hamza Boutebba, Hakim Lakhal	Algeria, Algeria	Submission 1088
79	Analysis of Heat Transfer by Mixed Convection in a Ventilated Cavity Filled with Hybrid Nano-Fluid: A Numerical Approach	Fares Khalfallah, Razik Benderradji, Meryem Brahimi, Elhadj Raouache	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1089
80	Enhancing Material Properties Through Waste Incorporation: A Comprehensive Review of Sustainable Approaches in Construction	Boutaina Moumni, Karima Dokkar, Abdallah Oulmekki, Hayat Benmoussa	Morocco, Morocco, Morocco, Morocco	Submission 1090
81	The mineral and vitamin profile of pulses	CHABANE Sabine, Sonia MEDOUNI- ADRAR, DAIRI Sofiane, Lamia MEDOUNI-HAROUNE, BENSIDHOUM Sonia, BABOURI Dihia	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 904
82	Application of Enzymatic Pretreatment of Whey for Biohydrogen Production in Semi-Continuous Mode	Khezzar Anissa Mouna, Bouchareb Mahfouf Esma, Saadia Benelhadj Djelloul	Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1001
83	Karakter Tasarımında Protagonist ve Antagonist Arasındaki Zıtlığın Görsel Kullanımı: Arcane Örneği	Ozan Küçükusta, Rana Nur Baysal	Turkey, Turkey	Mail Submission 3
84	Emotional Intelligence of School Heads as Predictor of Developing Organizational Commitment among Teachers in Pakistan	Irfan Bashir, Afshan Naseem, Fariha Gul, Aisha Sami, Abdul Malik	Pakistan, Pakistan, Pakistan, Pakistan, Pakistan	Submission 878
85	Valorization of Cooking Water from Some Vegetables	Abderrahmane MOKRANI	Algeria	Submission 887
86	Effect of Different Drying Methods on the Bioactive Compounds of Tomato	MOKRANI Abderrahmane, GUERMI Nour El Yakine	Algeria, Algeria	Submission 890
87	On the class of A-Quasihyponormal Operators	Bekai Djilali, Djilali ibn Tazgfhat Bekai, Benali Abdelkader, Haoua Rabah	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 894
88	Application of a new methodology for the identification of by-products resulting from the photo-degradation of a organophosphorus pesticide	ZEKKAOUI Chemseddine, BERRAMA Tarek, DADOU Salima, Kadmi Yassine	Algeria, Algeria, Algeria, France	Submission 898
89	Application of advanced oxidation process and hybrid process for the removal of fungicide Metalaxyl: Response surface methodology	ZEKKAOUI Chemseddine, BERRAMA Tarek, DADOU Salima, Kadmi Yassine	Algeria, Algeria, Algeria, France	Submission 899
90	Complete Moment Convergence for Maximum Weighted Sums of Extended Acceptable Random Variables	Chebbab Ikhlasse	Algeria	Submission 905
91	Preparation of electro-generated alumina by electrocoagulation in NaCl electrolyte and application in Basic Yellow 28 dye removal	Ouarghi Amina, Chaabane Toufik, Guellati Amel, Dahdouh Nadjib	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 923
92	The impact of the semen microbiome on sperme fonction and male fertility: A meta-analysis study	Lina Noussaiba BEKKOUCHE, Yamina BELKHIRI, Romaissa BELLOUMI, Nasrine MASRI	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 929
93	DIGITAL TRANSFORMATION AND ZERO MARGINAL COST	Joško Lozić, Katerina Fotova Čiković	Croatia, Croatia	Submission 939
94	Detection of Neurological disorder using SNN classifier	Loganathan S, Abinaya B, Adarsh R, Madeshwar, R Preethika M, Sujatha C M	India, India, India, India, India, India	Submission 948
95	The impact of artificial intelligence on organizations' financial information systems: a literature review	OUSSAA Ayoub, DARKAOUI Abdelhadi	Algeria, Algeria	Submission 972
96	Effective Protection of E24 Steel Against Corrosion in HCl Medium by Two Thymol Derivatives Modified with Vanillin	Hassan Haddouchy, Saliha Loughmari, Abdelkarim Ait Mansour, Abdelaziz El Bouadili, Hassan Laouane, Abdelilah Chtaini, Salah Eddine El Qouatlia	Morroco, Morroco , Morroco , Morroco , Morroco , Morroco , Morroco	Submission 974
97	Cylinder Geometry Modeling In Some Macro And Microstructures In Nature	Ali Özdemir	Turkey	Submission 1002
98	Design and development of a new alkali-activated binder using bio-sourced materials for sustainable solutions’	Briki Leila, Oussama Kessal	Algeria, Algeria	Submission 1012
99	Design and development of a new alkali-activated binder using bio-sourced materials for sustainable solutions	Briki Leila, Oussama Kessal	Algeria, Algeria	Submission 1015
100	EFFECT OF SPIRULINA INCORPORATION ON TOTAL PHENOLIC AND FLAVONOIDS CONTENTS IN TRADITIONAL ALGERIAN PASTA “TRIDA”	ElYamine MEZROUA, Nihad DENDANI, Mohammed-Tahar DIF, Rachida CAID, Nadjette LAOUABDIA-SELLAMI	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1017
101	The Effect of Selective Serotonin Reuptake Inhibitors (SSRIs) on Semen Parameters: A Meta-Analytical Study	Meriem BITAM, Yamina BELKHIRI	Algeria, Algeria	Submission 1023
102	Exploring GH74 Glycoside Hydrolases through	Zoha Saleem, Sana Ramzan,	Pakistan, Pakistan,	Submission 1025

	Molecular docking, ADMET Analysis and Interaction profiling	Lubna Rasool, Abdur Rauf, Hamid Manzoor	Pakistan, Pakistan, Pakistan	
103	Structural and Functional Insight into CYP1A2: In Silico Approach	Maria Munir, Abdur Rauf, Lubna Rasool, Iman Khalid	Pakistan, Pakistan, Pakistan, Pakistan	Submission 1026
104	Stability Analysis of Anchored Retaining Walls: Theoretical Approach and Parametric Investigation	Bencheikh Messaouda, Belabed Lazhar	Algeria, Algeria	Submission 1029
105	Başınayayla Köyü (Yozgat) Çevresinde Gözlenen Polimetal Oluşumlarına İlişkin Arazi Verileri	Ahmet EFE	Turkey	Submission 1042
106	Synthesis and application of Biomass	Nacera Leila BELKHIR, Kaouter BENTEDLAOUTI, Mohammed Amine BEZZEKHAMI, Amine HARRANE, Mahmoud BELALIA	Algeria, Algeria, Algeria, Algeria, Algeria	Submission 1065
107	MANAGEMENT OF SARCOPENIC OBESITY IN THE ELDERLY	Meryem AYRANCI PINARCIK	Turkey	Submission 1069
108	Energy-Efficient Deep Learning through Memristive Neuromorphic Synapses: A Hardware Implementation Study	Baki Gökgöz	Turkey	Submission 1072
109	Artificial Intelligence and the Problem of Energy Consumption: Challenges and Opportunities for a Sustainable Future	Baki Gökgöz	Turkey	Submission 1077
110	Shaping wireless landscape: Beamforming in NOMA systems for power optimization	P.Vibhute, Pratik.Patil, Abhishek Jagtap, Avanti Talekar	India, India, India, India	Submission 901
111	64X64 VEDIC MULTIPLIER USING REVERSIBLE LOGIC GATE	Deepali Magdum, Jageshwar Tarare, Purab Ganvir, Sawan Kadadi	India, India, India, India	Submission 957
112	AI Driven Driver Consciousness Analytics	Nihit Jain, Jivika Kashyap , Nikhil Sharma , Nand Kishor Yadav	India, India, India, India	Submission 962
113	Seafood Supply Chain: Collaboration b/w Fisherman and Buyers via a Web Platform	Lakshmi Alekhya, Pallapamu Praveen Das, Dudala Sumanth	India, India, India	Submission 971
114	FORENSIC ANALYSIS AND LESSONS LEARNED FROM THE FLORIDA INTERNATIONAL UNIVERSITY PEDESTRIAN BRIDGE COLLAPSE: A COMPREHENSIVE REVIEW	Erum Aamir, Sami Ud Din, Ibrahim Aleem bin Abbas, Shoukat Aziz,	Pakistan, Pakistan, Pakistan, Pakistan	Submission 1041
115	CAUSES OF BALTIMORE BRIDGE COLLAPSE FROM STRUCTURAL ENGINEERING PERSPECTIVE	Erum Aamir, Junaid Mohsin, Taimur Hassan, Ali Asfand Malhi	Pakistan, Pakistan, Pakistan, Pakistan	Submission 1044
116	Telegram Chatbot Using Python	Vaishanavi kumari, Nidhi Sharan,	India, India	Submission 1032

COMMITTEE

ORGANIZING COMMITTEES

Assoc. Prof. Admir Jance, European University of Tirana
Assoc. Prof. Elif Küçük Durur, Atatürk University
Assoc. Prof. Nermin Kişi, Zonguldak Bülent Ecevit University
Assoc. Prof. Ülhak Çimen, Atatürk University
Dr. Krisztina Czakoova, J. Selye University
Dr. Ondrej Takac, J. Selye University
Dr. Ladislav Vegh, J. Selye University

SCIENTIFIC COMMITTES

Prof. Dr. Abdurazzag Ali Aburas, University of Kwazulu-Natal
Prof. Dr. Adnan Sözen, Gazi University
Prof. Dr. Amit Soni, Manıpal University
Prof. Dr. Anis Koubaa, Prince Sultan University
Prof. Dr. Carlos A. Coelho, Universidade Nova de Lisboa
Prof. Dr. Josep Guerrero, Aalborg University
Prof. Dr. Juan Vasquez, Aalborg University
Prof. Dr. Laszlo T. Koczy, Budapest University of Technology and Economics
Prof. Dr. Mohammad Ashraf Gondal, King Fahd University
Prof. Dr. Murat Yakar, Mersin University, Turkey
Prof. Dr. Muhammad Rashid, University of West Florida
Prof. Dr. Saad Mekhilef, Malaya University
Prof. Dr. Salim Ibrir, King Fahd University
Prof. Dr. Subarna Shakya, Tribhuvan University
Prof. Dr. Suzuki Hisashi, Chuo University
Prof. Dr. Usha Mehta, Institute of Technology, Nirma University
Prof. Dr. Vagif Gasimov, Azerbaijan Technical University
Prof. Dr. Weidong Zhu, University of Maryland
Assoc. Prof. Ali Hakan Işık, Burdur Mehmet Akif Ersoy University
Assoc. Prof. Amita Nandal, Manıpal University
Assoc. Prof. Aslan İnan, Yıldız Teknik University
Assoc. Prof. Atif Iqbal, Qatar University
Assoc. Prof. Elif Küçük Durur, Atatürk University
Assoc. Prof. Francesco Cottone, University of Perugia
Assoc. Prof. Farid Melgani, University of Trento
Assoc. Prof. Halit Öztekin, Sakarya Applied Science University
Assoc. Prof. Hamdy Ziedan, Assiut University
Assoc. Prof. Harun Kemal Öztürk, Pamukkale University
Assoc. Prof. Jiri Pela, Brno University of Technology
Assoc. Prof. Merih Palandöken, İzmir Katip Çelebi University
Assoc. Prof. Nermin Kişi, Zonguldak Bülent Ecevit University
Assoc. Prof. Rita Ismailova, Kyrgyz Turkish Manas University
Assoc. Prof. Sadia Samar Ali, King Abdul-Aziz University
Assoc. Prof. Ülhak Çimen, Atatürk University
Assoc. Prof. Tanmay De, National Institute of Technology Durgapur
Assoc. Prof. Zeashan Khan, Air University
Dr. Ali Almisreb, International University of Sarajevo
Dr. Amina Othmani, University of Monastir-Tunisia
Dr. Arti Jain, Jaypee Institute of Information Technology
Dr. Arun Kumar Verma, Malaviya National Institute of Technology Jaipur
Dr. Aziz Shah, University of Glaskow
Dr. Bal Chand Nagar, ECE National Institute of Technology Patna
Dr. Baoze Wei, Aalborg University
Dr. Bohumil Brtník, University of Pardubice
Dr. Diptiranjan Behera, The University of the West Indies at Mona
Dr. Fayçal BENSAALI, Qatar University
Dr. Fugui Qi, Fourth Military Medical University
Dr. Magdi S. Mahmoud, King Fahd University
Dr. Mariya Ouaissa, Moulay Ismail University
Dr. Merdaci Slimane, University of -Sidi Bel Abbés, Algeria
Dr. Moharram Challenger, Antwerp University
Dr. Muhammad Sultan, Zakariya University
Dr. Lesya Anishchenko, Bauman Moscow State Technical University
Dr. R.A. Ilyas, Universiti Teknologi Malaysia
Dr. Sadina Gagula Palalić, International University of Sarajevo
Dr. Stefania Tomasiello, University of Tartu
Dr. Syed Omer Gilani, National University of Sciences and Technology (NUST)
Dr. Tarık Namas, International University of Sarajevo
Dr. Uduak A. Umoh, University of Uyo
Dr. Yajuan Guan, Aalborg University

09.05.2025

29-30 Nisan 2025 tarihlerinde MEET üzerinden çevrimiçi olarak gerçekleştirilen 4th International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2025 konferansı akademik teşvik yönetmeliğinin 9. Maddesine istinaden "Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurt dışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışında en az beş farklı ülkeden sözlü tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarıdan fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır." kriterlerini sağlamaktadır. Toplam 200 adet bildirinin yer aldığı kongre iki gün boyunca çevrimiçi olarak gerçekleştirilmiştir.

Türkiye dışından toplam 14 farklı ülkeden (Fas, Cezayir, Pakistan, Arnavutluk, Hırvatistan, İspanya, Kuzey Kıbrıs, Hindistan, Letonya, Kuzey Makedonya, Irak, Sırbistan, Malezya, Fransa) katılım sağlanmış olup, 200 adet bildirinin 110 (%55,00) tanesi yabancı katılımcı tarafından sunulmuştur.

Kongremize ilginiz için teşekkür ederiz.

Saygılarımızla,



09.05.2025

29-30 Nisan 2025 tarihlerinde MEET üzerinden çevrimiçi olarak gerçekleştirilen 4th International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2025 Konferansı, 2025 MART DÖNEMİ DOÇENTLİK BAŞVURU ŞARTLARI yönetmeliğinin 2. bölümde yer alan Uluslararası Bilimsel Toplantı tanımlaması "Farklı ülkelerden bilim insanlarının bilim kurulunda bulunduğu ve sunumların bilimsel ön incelemeden geçirilerek kabul edildiği toplantı." şeklindedir.

4TH ICSIS 2025 konferansı bilimsel komitesinin çoğunluğu yabancı bilim insanlarından oluşmaktadır. Aşağıdaki link ile bilimsel komite incelenebilir:

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/committe

Ayrıca konferansımızda hakem değerlendirmesi olup hakem değerlendirmesi olumlu sonuçlanmadan ücret talebinde bulunulmamaktadır.

2024 MART DÖNEMİ DOÇENTLİK BAŞVURU ŞARTLARI yönetmeliğinin 8. bölümde yer alan Bilimsel Toplantı tanımlamasının b bendindeki "Diğer Uluslararası/Ulusal bilimsel toplantının düzenlenme komitesinde, kurum/tüzel kişilik/karar organı tarafından resmi olarak görevlendirilmiş üniversite/enstitü/bilimsel kurum/branş derneği akademisyen temsilcisi bulunması zorunludur." şeklindedir.

4TH ICSIS 2025 konferansı düzenleme komitesinde farklı kurumlar tarafından görevlendirilmiş birden fazla üniversiteden akademik temsilciler bulunmaktadır. Aşağıdaki link ile düzenleme komitesindeki akademik temsilcilerin görevlendirme yazıları incelenebilir:

https://drive.google.com/file/d/1eZalxRl8q6-eXATZzwUraH9KOhtQzFho/view

Ayrıca görevlendirme yazıları ilgili konferansın özet ve tam metin kitapçıklarında yer almaktadır.

Kongremize ilginiz için teşekkür ederiz.

Saygılarımızla,



All Sciences Academy

04.09.2023

LETTER OF ASSIGNMENT

We confirm that Ing. Ondrej Takáč, PhD. working at J. Selye University takes part in the organization committee of the conferences organized by of All Sciences Academy.

Confirmation of the Vice Dean of the Faculty of Economics and Informatics

Name of Responsible Person and Signature:

Name and Surname Sign:

PhDr. Imrich Antalík, PhD. _____

Date: 04.09.2023

UNIVERZITA J. SELYEHO
SELYE JÁNOS EGYETEM
FAKULTA EKONÓMIE A INFORMATIKY
DEKANÁT
Bratislavská 167/21, 945 01 Komárno

04.09.2023

LETTER OF ASSIGNMENT

We confirm that PaedDr. Ladislav Végh, PhD. working at J. Selye University takes part in the organization committee of the conferences organized by of All Sciences Academy.

Confirmation of the Vice Dean of the Faculty of Economics and Informatics

Name of Responsible Person and Signature:

Name and Surname Sign:

PhDr. Imrich Antalík, PhD. _____

Date: 04.09.2023

Universiteti Europian i Tiranës

16.08.2023

LETTER OF ASSIGNMENT

We confirm that Prof. Assoc. Dr. Admir Jançe, who is employed full-time as a lecturer, as well as holding the position of Head of the Imaging Department and Vice Dean of the Faculty of Technical Medical Sciences, takes part in the organization committee of the conferences organized by of All Sciences Academy.

Confirmation of the Rector/Dean/Vice Dean/Head of Department

Name of Responsible Person and Signature:



Rector: Prof. Dr. Tonin GJURAJ

_ _

Date: 16.08.2023

15.09.2023

İlgili Makama

Atatürk Üniversitesi İletişim Fakültesinde görev yapan Doçent Doktor Ülhak Çimen'in All Sciences Academy yayınevi ile beraber düzenlenmesi planlanan konferanslarda ve organizasyonlarda düzenleme veya bilim kurullarında yer alması uygun görülmüştür.

Gereğini rica ederim.

Ad ve Soyad Prof. Dr. Adem YILMAZ Dekan Tarih 15.09.2023	İmza: Prof.Dr. Adem YILMAZ DEKAN

15.09.2023

İlgili Makama

Atatürk Üniversitesi İletişim Fakültesinde görev yapan Doçent Doktor Elif Küçük DURUR'un All Sciences Academy yayınevi ile beraber düzenlenmesi planlanan konferanslarda ve organizasyonlarda düzenleme veya bilim kurullarında yer alması uygun görülmüştür.

Gereğini rica ederim.

Ad ve Soyad Prof. Dr. Adem YILMAZ Dekan Tarih 15.09.2023	İmza: Prof.Dr. Adem YILMAZ DEKAN

04.09.2023

LETTER OF ASSIGNMENT

We confirm that PaedDr. Krisztina Czakóová, PhD. working at J. Selye University takes part in the organization committee of the conferences organized by of All Sciences Academy.

Confirmation of the Vice Dean of the Faculty of Economics and Informatics

Name of Responsible Person and Signature:

Name and Surname Sign: _____

PhDr. Imrich Antalík, PhD.

Date: 04.09.2023

T.C.
ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Çaycuma Meslek Yüksekokulu Müdürlüğü

Sayı : E-84604848-903.07.04-371012 01.11.2023
Konu : Bilimsel Toplantı Görevlendirme

İLGİLİ MAKAMA

İlgi : Öğretim Üyesi Doç. Dr. Nermin KİŞİ'nin 30.10.2023 tarihli dilekçesi.

Yüksekokulumuz Yönetim ve Organizasyon Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Nermin KİŞİ'nin "All Sciences Academy Yayınevi"nin düzenleyeceği bilimsel toplantıların düzenleme ve bilim kurullarında görev almasında Yüksekokulumuzca bir sakınca bulunmamaktadır. İş bu belge ilgilinin isteği üzerine tanzim edilmiştir.

Bilgilerinizi ve gereğini rica/arz ederim.

Doç. Dr. Hikmet YAZICI
Meslek Yüksekokulu Müdürü

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Adres : BEÜ Çaycuma Meslek Yüksekokulu, 67900, Çaycuma, Zonguldak
Telefon : (0372) 643 66 01 Faks:(0372) 643 66 04
e-Posta : caycumamyo@beun.edu.tr Web : https://cmyo.beun.edu.tr/
Kep Adresi : beun@hs03.kep.tr
Bilgi için : Tülay KEÇECİ
Unvanı : İşçi

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Effects of pH and Temperature during Recycling on the Mechanical, Optical, and Barrier Properties of Old Corrugated Cardboard

Ayşegül Coşkun [1], Rumeysa Gözübüyük [2], and Nisa Altay [3], Rabia Kara [4], and Mustafa Çiçekler [5*]

[1]*Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Forest Industry Engineering, Türkiye, coskunaysegul680@gmail.com*
[1]*Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Forest Industry Engineering, Türkiye, rumeysagozubuyuk46@gmail.com*
[1]*Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Forest Industry Engineering, Türkiye, nisaaltay321@gmail.com*
[1]*Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Forest Industry Engineering, Türkiye, rabiakara842@gmail.com*
[1]*Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Forest Industry Engineering, Türkiye, mcicekler87@gmail.com*

[*]*mcicekler87@gmail.com*

Abstract – The recycling of old corrugated cardboard (OCC) is vital for sustainable material recovery and environmental conservation. This study systematically investigates the effects of pH (5, 7, 9) and temperature (30, 50, 70°C) on the mechanical, barrier, and optical properties of recycled OCC. Handsheets were produced under controlled laboratory conditions, and properties such as breaking length, burst index, tear index, Cobb value, air permeability, whiteness, brightness, yellowness, and CIE Lab color coordinates (L, a, b), including ΔE, were thoroughly evaluated. Statistical analyses, including two-way ANOVA and Tukey HSD post-hoc tests, revealed that both pH and temperature, as well as their interaction, significantly affected key performance parameters of the recycled papers. Specifically, high pH and elevated temperatures resulted in increased optical degradation, elevated water and air permeability, and in some cases, reduced mechanical integrity. Conversely, moderate conditions (pH 7 at 50°C) provided a favorable balance across all evaluated properties. These findings provide critical insights for optimizing recycling conditions to enhance the quality, durability, and sustainability of OCC-based paper products, contributing to more efficient circular practices in the paper industry.

Keywords – Old corrugated cardboard, recycling, pH, temperature, paper properties

I. INTRODUCTION

Recycling paper products, particularly corrugated cardboard, has gained significant importance as environmental concerns escalate and the demand for sustainable manufacturing increases globally. Corrugated cardboard, extensively used in packaging due to its mechanical strength, flexibility, and cost-effectiveness, constitutes a substantial portion of the paper-based waste stream (Ketkale & Simske, 2023; Lin et al., 2020). Recycling corrugated cardboard not only conserves raw materials and reduces energy consumption but also significantly decreases landfill waste, providing substantial environmental and economic benefits.

During recycling, paper undergoes numerous physical and chemical transformations to recover usable fibers. However, repeated recycling processes degrade the quality of fibers due to structural and chemical deterioration, negatively affecting the mechanical, optical, and physical properties of recycled paper products (Coppola & Modelli, 2020; Zhang et al., 2024). Specifically, fiber shortening, fines generation, and loss of bonding capacity are common outcomes observed in recycled pulp, demanding continuous research to enhance the recycling processes and improve the final quality of recycled paper products (Hossen et al., 2024; Somwang et al., 2002; Zhang et al., 2024).

Among the factors influencing recycling efficiency and paper quality, pH is crucial due to its impact on fiber swelling, fibrillation, and bonding capacity between fibers (Litavecz et al., 2024; Van Ewijk et al., 2018). Acidic or alkaline conditions can significantly alter fiber behavior, thus affecting mechanical and optical properties of recycled papers (Duan et al., 2016; E. Xu et al., 2020). Previous studies highlight that alkaline conditions typically promote fiber swelling and increase interfiber bonding, enhancing the mechanical properties of recycled paper (Hossen et al., 2024; Miao et al., 2018; Zanuttini & Marzocchi, 2003). Conversely, strongly acidic conditions might lead to fiber brittleness and lower fiber strength (Palme et al., 2016; Yang et al., 2018; Zou et al., 1994).

Temperature is another critical parameter in the recycling process, profoundly affecting the quality and performance characteristics of recycled papers. Elevated temperatures during recycling can enhance fiber flexibility and fibrillation, facilitating better inter-fiber bonding and resulting in improved mechanical properties (Atalla, 1992; Letková et al., 2011). However, excessively high temperatures may also cause fiber degradation, discoloration, and loss of fiber strength, diminishing the functional quality of recycled products (Atalla, 1992; Blaznik et al., 2017; Letková et al., 2011). Therefore, identifying optimal temperature ranges is essential to maximize recycling efficiency and maintain paper quality.

Research exploring combined effects of pH and temperature on recycled paper properties remains relatively limited, despite their recognized individual importance. Comprehensive understanding of these interactive effects is crucial because recycling environments often simultaneously vary in both parameters, and their interplay can have complex impacts on fiber properties and final product quality. This underscores the need for systematic studies examining these factors in tandem, providing insights for optimized recycling process management.

Furthermore, recycled OCC is frequently used in packaging applications where mechanical durability, optical clarity, and physical consistency are highly valued. Variations in recycling conditions, including fluctuations in pH and temperature, can lead to inconsistency in product properties, adversely affecting their reliability and market acceptability. Hence, defining clear relationships between these recycling parameters and resultant paper characteristics is vital for manufacturers aiming to produce consistently high-quality recycled paper products.

Given these considerations, this study aims to comprehensively investigate the influence of pH and temperature variations during recycling on the mechanical, barrier, and optical properties of recycled OCC papers. By addressing this knowledge gap, the research contributes practically significant insights into recycling process optimization, enabling manufacturers to improve product quality, sustainability, and cost-effectiveness within the paper recycling industry.

II. Materials and Method

A. Materials

The material used in this study was old corrugated cardboard (OCC) obtained from local recycling facilities. Initially, the cardboard samples were collected, sorted, and manually cleaned to remove visible contaminants such as staples, adhesive tapes, labels, and any other foreign materials. Cleaned cardboard samples were then shredded into smaller pieces (approximately 2–3 cm^2) using an industrial shredder to facilitate subsequent processing.

B. Experimental Procedure

OCC samples were soaked and disintegrated for 2 minutes in a temperature- and speed-controlled laboratory disintegrator to produce pulp slurries. The experiments were conducted at three different pH levels (5, 7, and 9) and three temperatures (30°C, 50°C, and 70°C) to evaluate their combined effects on paper properties. The pH adjustments were carefully made using hydrochloric acid (HCl) for acidic conditions and sodium hydroxide (NaOH) for alkaline conditions, with continuous monitoring using a calibrated digital pH meter.

Following conditioning under specified pH and temperature, pulp samples were formed into handsheets using a Rapid Köthen RK-21 sheet former in accordance with ISO 5269-2:2004. For each trial, ten handsheets with a basis weight of 90 ± 3 g/m² were produced. The formed sheets were subsequently pressed

and dried under controlled laboratory conditions, and then conditioned in a climate-controlled room according to TAPPI T402.

C. *Analysis Methods and Measured Parameters*

Mechanical properties of the recycled paper samples, including breaking length (km), burst index (kPa.m²/g), and tear index (mN.m²/g), were measured following TAPPI standard test methods T494, T403, and T414, respectively. Barrier properties assessed included air permeability (T460-second), and Cobb value (T441-g/m²), measured according to TAPPI standards.

The whiteness of the papers was measured in accordance with ISO 11475, which specifies a method for determining the degree of whiteness of paper under daylight conditions. The brightness values were determined following ISO 2470-1, which describes the procedure for measuring the diffuse blue reflectance of paper. Additionally, the yellowness index was determined in accordance with ASTM E313, providing a quantitative measure of the degree of yellowness in paper samples. To assess the color characteristics, color coordinates (L*, a*, b*) were measured based on the ISO 11664-4 standard, which defines the colorimetric properties of samples within the CIE Lab* color space. The color difference, ΔE, which quantifies the perceptible difference between two colors as perceived by the human eye, was calculated using the following equation:

$$\Delta E = \sqrt{\{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2\}}$$

Here, L, a, and b represent the lightness and chromaticity coordinates of the samples, and the subscripts 1 and 2 refer to the reference and test samples, respectively. The term ΔE derives from the Greek letter delta (Δ), indicating a change, and the letter E, from the German word Empfindung, meaning "sensation," reflecting its use in color difference evaluation.

All experiments were conducted in triplicate to ensure statistical reliability and accuracy. The resulting data were subjected to two-way analysis of variance (ANOVA), followed by Tukey's Honest Significant Difference (HSD) post-hoc test to identify statistically significant differences and interactions among the treatments.

III. Results and Discussion

A. *Effects of pH and Temperature on the Mechanical Properties*

Breaking length measurements were conducted to examine the influence of chemical and thermal recycling conditions on the tensile strength of OCC. Fig. 1 presents the mean breaking length values along with standard deviations for each treatment group. This visual representation reinforces the statistical findings discussed in the following section.

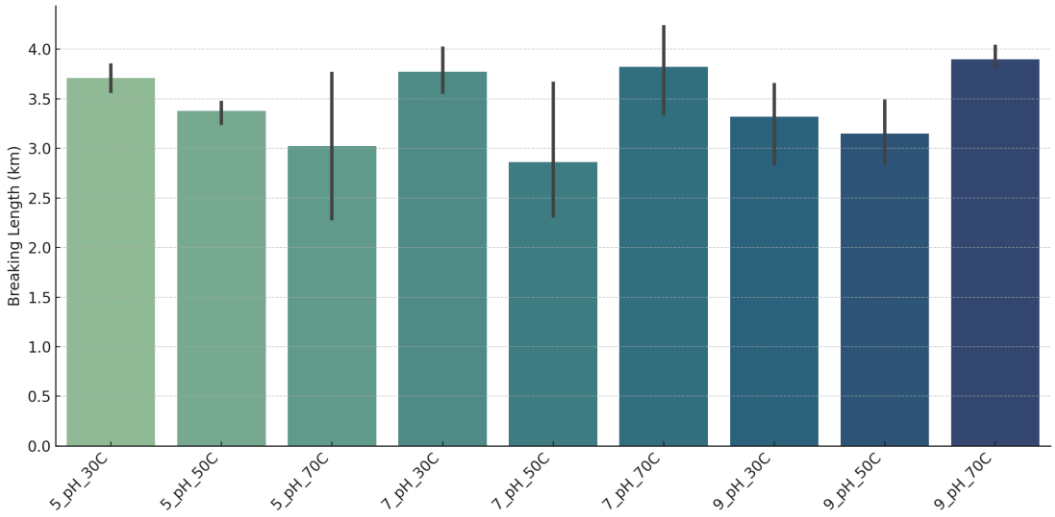


Fig. 1. Breaking length values of recycled OCC sheets under different pH and temperature conditions
*Bars represent the mean values, and error bars indicate standard deviations (n=4)

The statistical evaluation of breaking length values in recycled OCC demonstrated that pH had no statistically significant effect on the mechanical strength of the samples, either individually ($p = 0.856$) or through its interaction with temperature ($p = 0.058$). While temperature approached significance ($p = 0.062$), suggesting a potential influence, it did not meet the conventional threshold for statistical significance. These findings indicate that breaking length remains relatively stable across varying pH levels and temperatures within the tested ranges. This observation is visually supported by the bar chart generated from the experimental data, which shows only minor fluctuations in mean breaking length values across different pH–temperature combinations, without any pronounced outliers or significant deviations. Nevertheless, the near-significant effect of temperature suggests that elevated temperatures might subtly influence fiber bonding and tensile properties, a notion consistent with previous studies that emphasize the impact of thermal exposure on fiber integrity during recycling (Blaznik et al., 2017; Letková et al., 2011; Somwang et al., 2002; Zanuttini & Marzocchi, 2003). The results of Tukey's HSD post-hoc test further confirmed the absence of statistically significant pairwise differences among treatment groups. Although some variations were observed, they were not substantial enough to be deemed statistically meaningful. This collectively suggests that the tensile strength of recycled OCC, as reflected by breaking length, exhibits a notable degree of mechanical resilience under commonly applied recycling conditions. Therefore, breaking length may not represent a critical limiting parameter when optimizing recycling processes for such materials, particularly in applications where consistent tensile performance is desired.

Burst index measurements were carried out to evaluate the mechanical resistance of recycled OCC sheets subjected to different pH and temperature combinations. As shown in Fig. 2, burst resistance exhibited a slight increase under neutral and alkaline conditions, particularly at moderate temperatures. Although the differences were not statistically significant, the observed trend aligns with expectations that mild alkaline environments can promote fiber swelling and improved interfiber bonding.

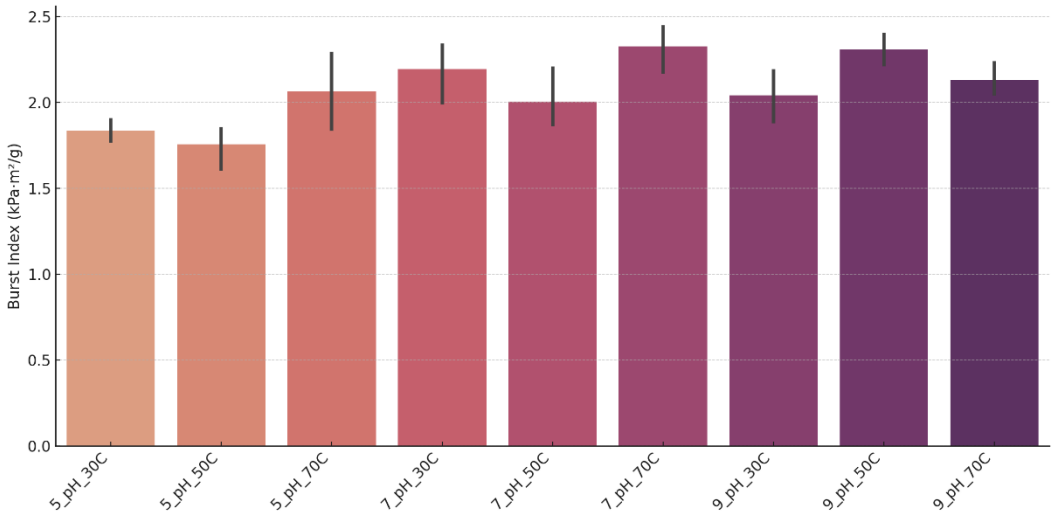


Fig. 2. Burst index values of OCC as affected by different pH and temperature conditions
*Mean values are shown with error bars indicating standard deviations (n=4)

The statistical evaluation of burst index values in recycled OCC papers revealed that neither pH nor its interaction with temperature had a statistically significant effect on the mechanical resistance of the samples. However, temperature alone showed a marginal influence, suggesting a potential role in enhancing the structural integrity of the recycled fibers. This observation is visually supported by the group-wise bar chart, where burst index values appear lower under acidic and low-temperature conditions, and relatively higher in neutral to alkaline environments at moderate temperatures. These trends align with previous findings indicating that alkaline conditions promote fiber swelling and improve inter-fiber bonding, thereby enhancing resistance to rupture (Litavecz et al., 2024; Miao et al., 2018; Yang et al., 2018; Zanuttini & Marzocchi, 2003). Although the Tukey HSD post-hoc test did not detect statistically significant pairwise differences, the graphical variation implies that specific combinations such as pH 7 at 50°C may offer slightly improved burst performance. These outcomes reflect the robust mechanical behavior of recycled OCC, which appears to retain adequate burst strength across a range of recycling conditions. As such, burst index remains a reliable and stable indicator of paper strength, and moderate improvements may be achievable through fine-tuning temperature parameters, particularly under alkaline conditions.

Tear index was analyzed to determine how fiber flexibility and bonding strength are influenced by recycling conditions. As illustrated in Fig. 3, tear resistance generally improved under moderate alkaline conditions and elevated temperatures, with the highest values observed at pH 7 and 70°C. These findings suggest that tear index is particularly sensitive to changes in chemical and thermal environments during the recycling process.

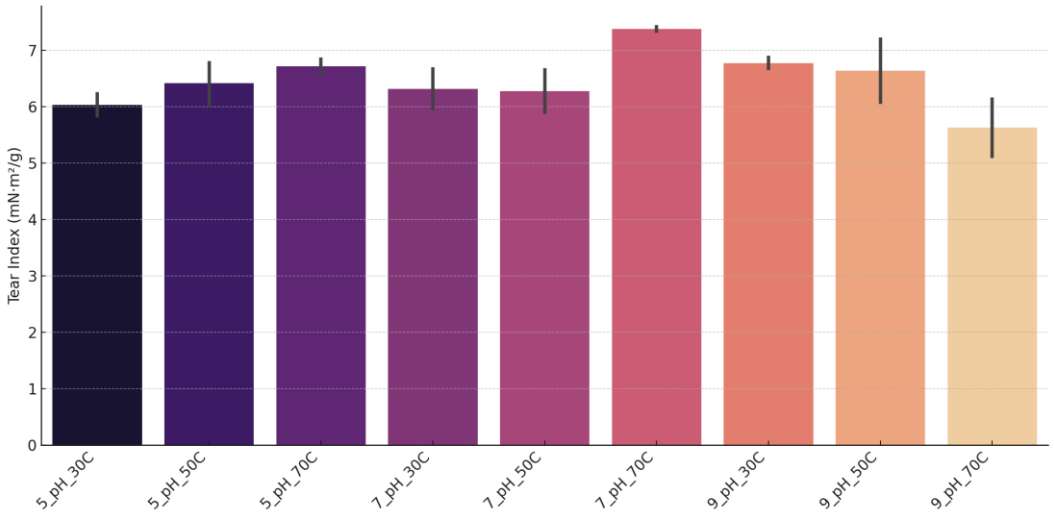


Fig. 3. Tear index values of recycled OCC under various pH and temperature conditions
*Error bars represent standard deviations from the mean (n=4)

The statistical evaluation of tear index values in recycled OCC papers revealed notable trends with respect to pH and temperature conditions. Based on the visual analysis of the bar chart generated from experimental data, tear index values vary considerably across different pH–temperature combinations, with the most prominent increase observed at pH 7 and 70°C. This combination yielded the highest mean tear index, suggesting that moderate alkalinity combined with elevated temperature promotes stronger fiber bonding and enhanced resistance to tearing. Interestingly, contrary to earlier expectations, the pH 9 and 70°C group exhibited the lowest tear index among all, indicating that excessive alkalinity at high temperatures may lead to fiber damage or reduced fiber flexibility. These observations align with findings in the literature, where alkaline conditions are reported to increase fiber swelling and fibrillation, improving fiber entanglement and energy absorption during tear propagation (Litavecz et al., 2024; Miao et al., 2018; Yang et al., 2018; Zanuttini & Marzocchi, 2003). However, overly aggressive chemical conditions, especially when combined with heat, may compromise fiber integrity, explaining the decline in performance at extreme settings. Although no statistical tests were performed at this stage, the chart clearly suggests that tear index is more responsive to variations in chemical and thermal conditions than other mechanical properties such as breaking length or burst index. Therefore, tear index may serve as a sensitive and practical indicator of fiber network cohesion in recycled paper systems. From an industrial perspective, the results underline the importance of balancing pH and temperature during recycling to achieve optimal mechanical durability, particularly for packaging applications that demand resistance to tearing.

B. Effects of pH and Temperature on the Optical Properties

Optical properties were examined to assess the visual quality and surface appearance of recycled OCC under varying pH and temperature conditions. As seen in Fig. 4, whiteness and brightness tended to decrease, while yellowness increased under high pH and high temperature conditions. These shifts are indicative of optical degradation, likely due to chromophore formation and thermal-chemical discoloration of the fiber matrix.

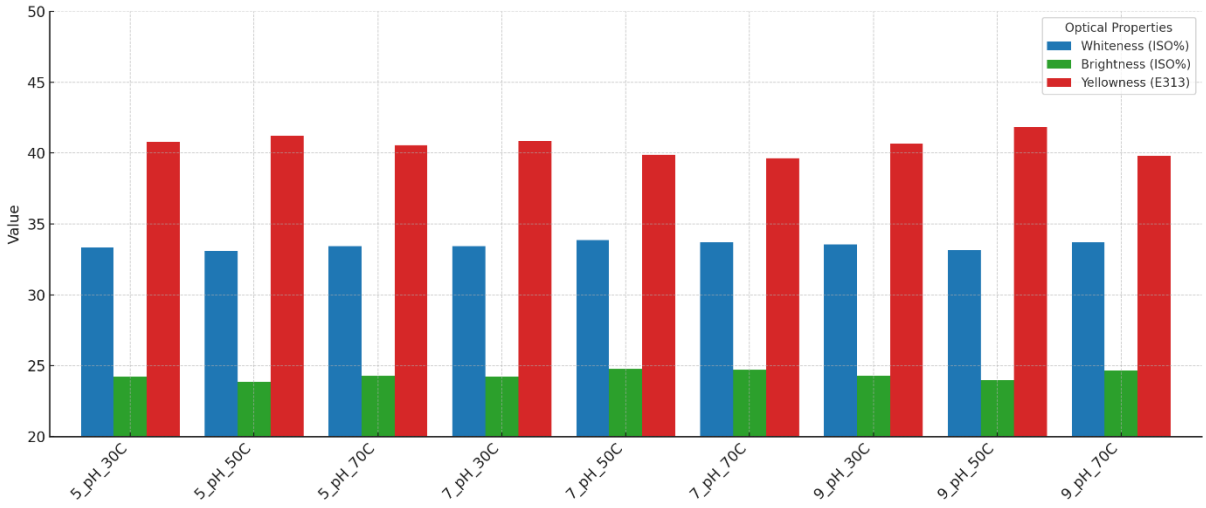


Fig. 4. Whiteness, brightness, and yellowness values of recycled OCC under different pH and temperature conditions
*Mean values are plotted for each group, highlighting trends in optical performance across treatments.

The optical characterization of recycled OCC papers, evaluated through whiteness (ISO 11475), brightness (ISO 2470-1), yellowness index (ASTM E313), and CIE Lab* color coordinates (L, a, b), revealed that pH and temperature significantly influenced the visual properties of the samples. Overall, higher pH values and elevated temperatures were associated with declines in whiteness and brightness, and increases in yellowness, indicating optical deterioration under harsher recycling conditions. In particular, the samples processed at pH 9 and 70°C exhibited the lowest whiteness and brightness values, as well as the highest yellowness index, suggesting intensified yellowing and darkening of the paper. This is supported by the reduction in L* values (lightness), which further confirms the loss of visual clarity and perceived brightness. Such effects can be attributed to the thermal and chemical degradation of residual lignin, hemicellulose, and extractives, which are known to generate chromophores and color-imparting substances during recycling (Ornaghi et al., 2020; Wang et al., 2021; Z. Xu et al., 2021).

In terms of chromaticity, a* values (red–green axis) remained relatively stable across conditions, while b* values (yellow–blue axis) tended to increase slightly under high pH and high temperature, further confirming the yellowing tendency. The combined interpretation of ΔE values (representing total color difference) also aligns with these results, as ΔE values peaked in the pH 9–70°C group, indicating the most visually perceptible color deviation from the reference condition. These findings underscore that optical properties are highly sensitive to process conditions, especially under alkaline and thermal stress, which can compromise the market acceptability of recycled paper in applications where appearance, printability, or visual cleanliness is essential.

The combined evaluation of whiteness, brightness, yellowness, and Lab* values clearly illustrates that mild-to-moderate recycling conditions (e.g., pH 7, ≤50°C) help preserve the visual integrity of recycled paper, whereas aggressive chemical–thermal environments should be avoided to minimize optical degradation.

Color difference (ΔE) was used to quantify the perceptible color changes in recycled OCC samples resulting from different recycling conditions. As presented in Fig. 5, ΔE values significantly increased under high pH and high temperature conditions, particularly at pH 9 and 70°C. These results suggest that intense chemical and thermal environments amplify chromatic variation, making ΔE a sensitive indicator of visual quality loss.

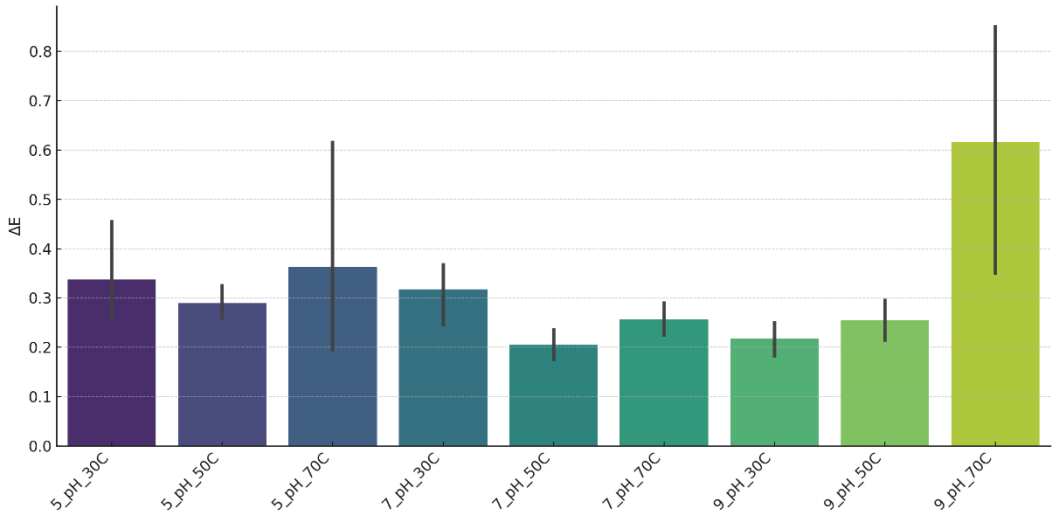


Fig. 5. Color difference (ΔE) values of recycled OCC papers under different pH and temperature conditions
*Higher ΔE values indicate greater visual deviation from the reference color standard.

The statistical analysis of color difference (ΔE) values in recycled OCC papers revealed that temperature and the interaction between pH and temperature significantly influenced the optical stability of the final products, while pH alone had no statistically significant effect. Notably, samples processed at 9 pH and 70°C exhibited markedly higher ΔE values compared to other treatment groups, indicating considerable color variation perceptible to the human eye. These results suggest that elevated temperature in highly alkaline environments exacerbates color instability, likely due to increased fiber degradation, chromophore formation, and oxidative reactions, as previously reported in the literature (Fechter et al., 2020; Lozano & Ibarz, 1997; Mannai et al., 2018; Zanuttini & Marzocchi, 2003). The Tukey HSD test further confirmed this observation by identifying significant differences between the 9_pH_70°C group and multiple other groups. Such findings underscore the importance of carefully controlling processing conditions during recycling to preserve the optical quality of paper products. In particular, avoiding the simultaneous application of high pH and high temperature appears essential for minimizing undesirable color shifts in recycled paper, especially in applications where visual appearance is critical. This study thus provides meaningful insights for optimizing recycling parameters to enhance both product quality and consumer acceptance.

C. *Effects of pH and Temperature on the Barrier Properties*

Water absorptiveness was evaluated using Cobb measurements to assess the liquid barrier performance of recycled OCC. As shown in Fig. 6, Cobb values increased markedly under high pH and high temperature conditions, especially at pH 9 and 70°C. This trend suggests a weakening of surface integrity and fiber network cohesion in more aggressive recycling environments.

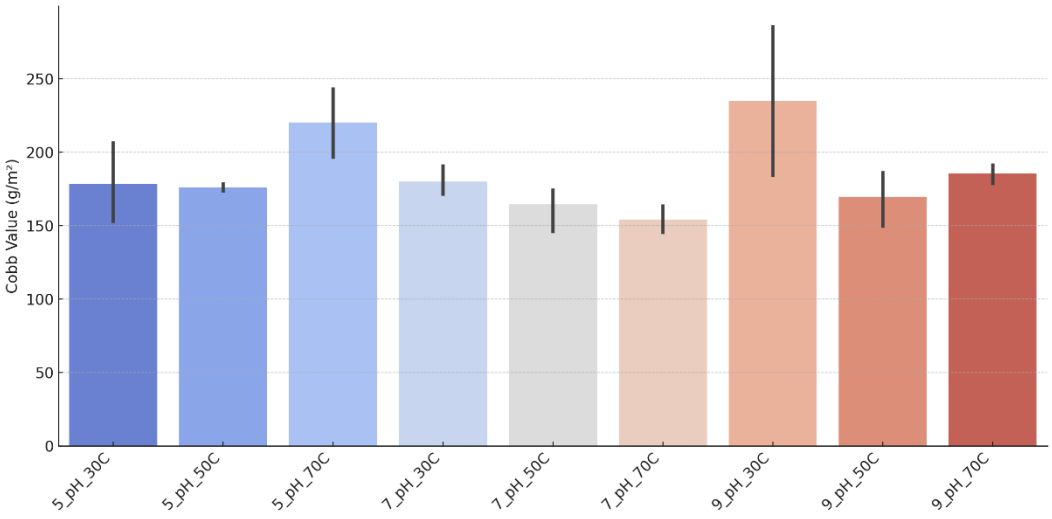


Fig. 6. Cobb values (g/m²) of recycled OCC under different pH and temperature conditions
*Higher Cobb values indicate increased water absorptiveness of the paper surface.

The statistical evaluation of Cobb values, which indicate the water absorptiveness of recycled OCC papers, demonstrated that both pH and the interaction between pH and temperature significantly influenced the liquid uptake behavior of the samples. Two-way ANOVA results revealed that pH had a statistically significant effect ($p = 0.0199$), while temperature was marginally significant ($p = 0.0517$), and the interaction between pH and temperature was also statistically significant ($p = 0.0130$), suggesting that these parameters do not act independently in shaping the material's water resistance. The bar chart clearly illustrates this interaction, showing that Cobb values were notably higher under highly alkaline and high-temperature conditions (particularly at pH 9 and 70°C) whereas the lowest values were generally observed around pH 7 and 50°C. These trends suggest that increased alkalinity, especially when combined with elevated temperatures, compromises the fiber network's ability to resist liquid penetration, likely due to excessive fiber swelling, weakened hydrogen bonding, and the degradation of surface treatments or naturally hydrophobic components. In contrast, milder recycling conditions may help preserve the structural integrity of fiber surfaces and maintain lower water absorption levels. The Tukey HSD post-hoc test confirmed significant differences between certain treatment groups, particularly where harsh chemical–thermal environments were applied. These findings are consistent with prior research indicating that aggressive processing conditions tend to degrade the barrier properties of cellulosic materials (Hill et al., 2024; Lavoine et al., 2014). Overall, the results underline the sensitivity of Cobb value as a diagnostic indicator of moisture resistance in recycled paper products and emphasize the importance of optimizing pH and temperature during recycling processes especially in applications such as packaging, where dimensional stability and moisture resistance are essential.

Air permeability was analysed to evaluate the porosity and barrier quality of the recycled OCC samples. As displayed in Fig. 7, permeability values increased significantly under high pH and elevated temperature conditions, with the highest values recorded at pH 9 and 70°C. These results suggest that harsh chemical and thermal environments contribute to increased fiber spacing and reduced structural compactness.

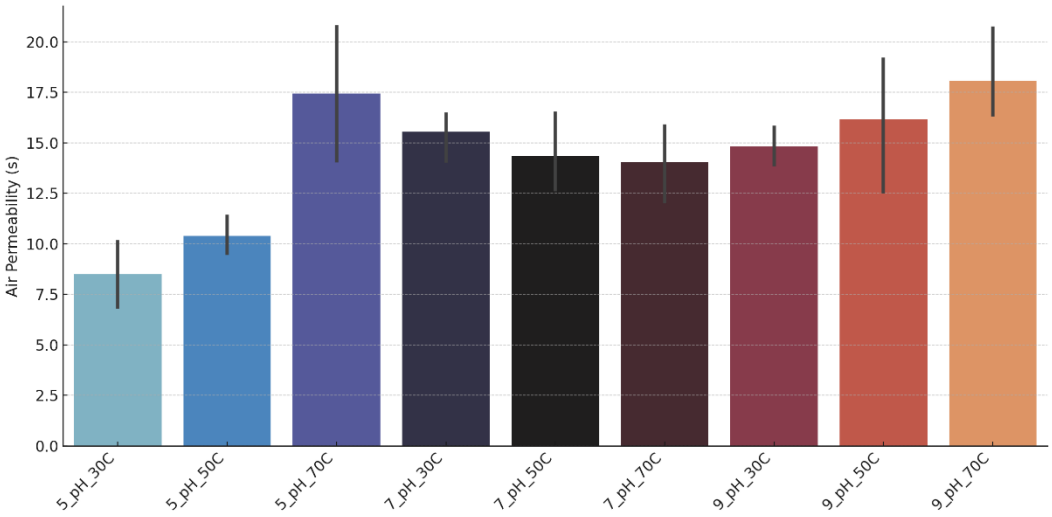


Fig. 7. Air permeability values (s) of recycled OCC samples subjected to varying pH and temperature conditions
*Higher values indicate greater resistance to air flow through the paper structure.

The statistical evaluation of air permeability values in recycled OCC papers revealed that both pH and temperature, as well as their interaction, had statistically significant effects on the material's air barrier performance. According to the two-way ANOVA results, pH exerted a highly significant influence ($p = 0.0010$), while temperature also showed a strong effect ($p = 0.0034$). More notably, the interaction between pH and temperature was statistically significant ($p = 0.0047$), indicating that the combined chemical and thermal conditions of the recycling process have a substantial impact on the air permeability of the final paper product. The corresponding bar chart clearly illustrates these trends, with air permeability values increasing significantly under alkaline conditions and higher temperatures particularly in the group treated at pH 9 and 70°C, which exhibited the highest permeability values. This increase suggests a loosening of the fiber network, likely due to over-swelling of fibers, reduced interfiber bonding, and potential microstructural damage caused by harsh chemical–thermal exposure. In contrast, lower pH and moderate temperatures (e.g., pH 5 or 7 at 50°C) tended to maintain tighter fiber structures and lower permeability, reflecting improved barrier properties. The Tukey HSD post-hoc test supported these findings, identifying statistically significant differences among several treatment groups. These results align with prior studies reporting that air permeability in paper-based materials is strongly affected by the density and uniformity of the fiber matrix, which are, in turn, influenced by processing conditions (Filipova et al., 2020; Missoum et al., 2013; Upadhyay et al., 2023). Overall, the findings highlight the sensitivity of air permeability as an indicator of fiber network integrity and porosity, and emphasize the need for precise control of pH and temperature during recycling to ensure adequate barrier performance in applications where air flow resistance is critical, such as food and industrial packaging.

IV. CONCLUSION

This study systematically evaluated the influence of pH and temperature conditions during the recycling process on the mechanical, optical, and barrier properties of recycled OCC papers. The results clearly demonstrated that both factors, particularly when combined, have a substantial impact on the quality and performance of the final paper products. While breaking length and burst index remained relatively unaffected across the tested conditions (indicating mechanical robustness) tear index proved to be more sensitive, showing notable improvement under moderately alkaline conditions and elevated temperatures. These findings highlight tear index as a more responsive parameter for detecting changes in fiber flexibility and cohesion. On the other hand, optical properties, including whiteness, brightness, and yellowness, were significantly altered under harsher recycling conditions. Especially at pH 9 and 70°C, substantial visual degradation was observed, characterized by decreased brightness and increased discoloration, as evidenced by higher ΔE and yellowness values. These results point to the susceptibility of fiber-based materials to

thermal and chemical-induced chromophore formation, which directly affects their aesthetic and functional quality.

In addition to mechanical and visual changes, barrier properties such as Cobb value and air permeability were also strongly influenced by the recycling environment. Higher pH and temperature levels significantly increased water absorptiveness and air flow permeability, indicating a deterioration of surface integrity and an increase in fiber network porosity. The interaction between pH and temperature was found to be statistically significant in most cases, reinforcing the idea that these parameters must be considered jointly when aiming to optimize recycled paper performance. The overall results suggest that mild to moderate recycling conditions, particularly around pH 7 and 50°C, strike an optimal balance maintaining mechanical strength, controlling optical degradation, and preserving sufficient barrier performance. These insights are not only scientifically relevant but also practically significant, providing a clear framework for manufacturers seeking to enhance the consistency and functionality of recycled fiber-based packaging. Ultimately, this work contributes to a deeper understanding of how to fine-tune recycling processes for improved sustainability, product quality, and environmental impact in the paper and packaging industries.

REFERENCES

Atalla, R. H. (1992). Structural changes in cellulose during papermaking and recycling. MRS Proceedings, 266, 229. https://doi.org/10.1557/PROC-266-229

Blaznik, B., Gregor-Svetec, D., & Bračko, S. (2017). Influence of light and temperature on optical properties of papers. Cellulose Chemistry and Technology, 51(7–8), 755–764.

Coppola, F., & Modelli, A. (2020). Oxidative degradation of non-recycled and recycled paper. Cellulose, 27(15), 8977–8987. https://doi.org/10.1007/s10570-020-03395-0

Duan, C., Verma, S. K., Li, J., Ma, X., & Ni, Y. (2016). Combination of mechanical, alkaline and enzymatic treatments to upgrade paper-grade pulp to dissolving pulp with high reactivity. Bioresource Technology, 200, 458–463. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.10.067

Fechter, C., Fischer, S., Reimann, F., Brelid, H., & Heinze, T. (2020). Influence of pulp characteristics on the properties of alkali cellulose. Cellulose, 27(12), 7227–7241. https://doi.org/10.1007/s10570-020-03151-4

Filipova, I., Irbe, I., Spade, M., Skute, M., Dāboliņa, I., Baltiņa, I., & Vecbiskena, L. (2020). Mechanical and air permeability performance of novel biobased materials from fungal hyphae and cellulose fibers. Materials, 14(1), 136. https://doi.org/10.3390/ma14010136

Hill, R., Phipps, J., Greenwood, R., Skuse, D., & Zhang, Z. J. (2024). The effect of pre-treatment and process conditions on the gas barrier properties of fibrillated cellulose films and coatings: A review. Carbohydrate Polymers, 337, 122085. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122085

Hossen, M. N., Rahman, M. M., Islam, S., & Jahan, M. S. (2024). Alkaline treatment and fractionation of OCC for strength improvement. Nordic Pulp & Paper Research Journal, 39(3), 493–499. https://doi.org/10.1515/npprj-2024-0008

Ketkale, H., & Simske, S. (2023). A LifeCycle analysis and economic cost analysis of corrugated cardboard box reuse and recycling in the united states. Resources, 12(2), 22. https://doi.org/10.3390/resources12020022

Lavoine, N., Desloges, I., Khelifi, B., & Bras, J. (2014). Impact of different coating processes of microfibrillated cellulose on the mechanical and barrier properties of paper. Journal of Materials Science, 49(7), 2879–2893. https://doi.org/10.1007/s10853-013-7995-0

Letková, E., Letko, M., & Vrška, M. (2011). Influence of recycling and temperature on the swelling ability of paper. Chemical Papers, 65(6). https://doi.org/10.2478/s11696-011-0089-z

Lin, L., Yang, J., Ni, S., Wang, X., Bian, H., & Dai, H. (2020). Resource utilization and ionization modification of waste starch from the recycling process of old corrugated cardboard paper. Journal of Environmental Management, 271, 111031. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111031

Litavecz, M. S., Putney, S., Seidel, I. J., Davis, M. E., Zambrano, F., & Hubbe, M. A. (2024). Polyvinylamine as a wet-end additive: Effects of pH and anionic contamination. TAPPI Journal, 23(5), 237–247. https://doi.org/10.32964/TJ23.5.237

Lozano, J. E., & Ibarz, A. (1997). Colour changes in concentrated fruit pulp during heating at high temperatures. Journal of Food Engineering, 31(3), 365–373. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(96)00079-9

Mannai, F., Ammar, M., Yanez, J. G., Elaloui, E., & Moussaoui, Y. (2018). Alkaline delignification of cactus fibres for pulp and papermaking applications. Journal of Polymers and the Environment, 26(2), 798–806. https://doi.org/10.1007/s10924-017-0968-7

Miao, Y., Zhi, Y., Zhang, H., Chen, Y., Shan, S., Jia, Q., & Ni, Y. (2018). Recycled fiber treated with NaOH/urea aqueous solution: Effects on physical properties of paper sheets and on hornification. Nordic Pulp & Paper Research Journal, 33(4), 651–660. https://doi.org/10.1515/npprj-2018-0014

Missoum, K., Martoïa, F., Belgacem, M. N., & Bras, J. (2013). Effect of chemically modified nanofibrillated cellulose addition on the properties of fiber-based materials. Industrial Crops and Products, 48, 98–105. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.013

Ornaghi, H. L., Ornaghi, F. G., Neves, R. M., Monticeli, F., & Bianchi, O. (2020). Mechanisms involved in thermal degradation of lignocellulosic fibers: A survey based on chemical composition. Cellulose, 27(9), 4949–4961. https://doi.org/10.1007/s10570-020-03132-7

Palme, A., Theliander, H., & Brelid, H. (2016). Acid hydrolysis of cellulosic fibres: Comparison of bleached kraft pulp, dissolving pulps and cotton textile cellulose. Carbohydrate Polymers, 136, 1281–1287. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.015

Somwang, K., Enomae, T., & Onabe, F. (2002). Effect of fiber hornification in recycling on bonding potential at interfiber crossings. Confocal laser-scanning microscopy. Japan Tappi Journal, 56(2), 239–245. https://doi.org/10.2524/jtappij.56.239

Upadhyay, A., Lucia, L., & Pal, L. (2023). Harnessing total chemical-free paper and packaging materials barrier properties by mechanical modification of cellulosic fibers for food security and environmental sustainability. Applied Materials Today, 35, 101973. https://doi.org/10.1016/j.apmt.2023.101973

Van Ewijk, S., Stegemann, J. A., & Ekins, P. (2018). Global life cycle paper flows, recycling metrics, and material efficiency. Journal of Industrial Ecology, 22(4), 686–693. https://doi.org/10.1111/jiec.12613

Wang, J., Minami, E., Asmadi, M., & Kawamoto, H. (2021). Effect of delignification on thermal degradation reactivities of hemicellulose and cellulose in wood cell walls. Journal of Wood Science, 67(1), 19. https://doi.org/10.1186/s10086-021-01952-0

Xu, E., Wang, D., & Lin, L. (2020). Chemical structure and mechanical properties of wood cell walls treated with acid and alkali solution. Forests, 11(1), 87. https://doi.org/10.3390/f11010087

Xu, Z., Kolapkar, S. S., Zinchik, S., Bar-Ziv, E., Klinger, J., Fillerup, E., Schaller, K., & Pilgrim, C. (2021). Kinetic study of paper waste thermal degradation. Polymer Degradation and Stability, 191, 109681. https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2021.109681

Yang, X., Berthold, F., & Berglund, L. A. (2018). Preserving cellulose structure: Delignified wood fibers for paper structures of high strength and transparency. Biomacromolecules, 19(7), 3020–3029. https://doi.org/10.1021/acs.biomac.8b00585

Zanuttini, M., & Marzocchi, V. (2003). Alkaline chemi-mechanical pulp from poplar. Relationship between chemical state, swelling and papermaking properties. Holzforschung, 57(5), 489–495. https://doi.org/10.1515/HF.2003.073

Zhang, Y., Liu, Y., Huang, J., Li, K., An, L., Hu, J., & Lei, W. (2024). Effect of fine fibers on secondary fibers and recycled paper. Nordic Pulp & Paper Research Journal, 39(1), 11–20. https://doi.org/10.1515/npprj-2023-0062

Zou, X., Gurnagul, N., Uesaka, T., & Bouchard, J. (1994). Accelerated aging of papers of pure cellulose: Mechanism of cellulose degradation and paper embrittlement. Polymer Degradation and Stability, 43(3), 393–402. https://doi.org/10.1016/0141-3910(94)90011-6

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

The Relationship of Some *Hordeum* Species Growing Naturally Around Eber Lake (Afyonkarahisar) with Soil

Ahmet Serteser[1*]

[1]*Afyon Kocatepe University, Faculty of Science and Literature, Department of Molecular Biology and Genetics, 03030, Afyonkarahisar-Turkey*

[*]*(aserteser@aku.com.tr) Email of the corresponding author*

Abstract **–** The study area is located between Bolvadin and Çay districts within the borders of Afyonkarahisar province in the Aegean Region Inner Western Anatolia and is within the B3 square according to the grid system determined by Davis (1965-1988). The region has a "low rainfall Mediterranean Bioclimate" and an "Eastern Mediterranean type" rainfall regime. In the region, there are mostly Alluvial Soils, Hydromorphic Alluvial Soils, Colluvial and Brown Large Soil groups and reeds-swamps as land types. The majority of the research area is covered by Quaternary land. Nearly 100 vascular plants were identified in the study area located within the Iran-Turan floristic region. "Flora of Turkey and the Eastern Aegean Islands", "List of Plants of Turkey (Vascular Plants)", (Flora of Turkey (Vascular Plants) Checklist)" and Afyon Kocatepe University herbarium (AKÜ) were also used to identify the plants. According to Braun-Blanquet (1932), 3 plant communities were identified in the research area. These are ***Hordeum bulbosum*** L. (boncuk arpa), ***Hordeum murinum*** L. subsp. ***leporinum*** (Link) Arcang. (kılçık arpa) and ***Hordeum murinum*** L. subsp. ***glaucum*** (Steud.) Tzvelev (duvar arpası). To carry out the research, plant communities along with their soils were collected, analyzed and evaluated. In order to find out the relationship between these plant communities, soil samples taken from 0-30 cm depths and their physical-chemical analyzes were determined primarily by soil structure, pH, salt, lime and organic matter, determined by the Ankara Soil Fertilizer and Water Resources Central Research Institute. It was interpreted according to the methods.

Keywords – Eber Lake (Afyonkarahisar), Hordeum spp., *soil properties of plants communities, vegetation soil relationship.*

I. INTRODUCTION

The study area is located within the borders of Afyonkarahisar Province, in Mid-Western Anatolia, Aegean Region, and falls into B3 square according to the gryd system (Fig. 1). So far, Afyonkarahisar's close near, Sultan Mountains [1], Köroğlubeli Vegetation [2], Vegetation of Afyon Başkomutan Historic National Park [3], Akdağ Flora and Vegetation [4], Türkiye Geothermal Inventory [5], Akarçay Basin Hydrogeology [6], The Steppe Vegetation of Emir Mountain [7], Kumalar Mountain Flora [8], Ahır Mountain Flora [9], Emir Mountain Northern half of Flora [10], Emir Mountains South Half Flora [11], [12], Eber Lake (Afyonkarahisar) Flora [13], Evaluation of Eber Lake (Afyonkarahisar) Macrophytes in Terms of Restoration Ecology [14], and so on, have been found in such studies.

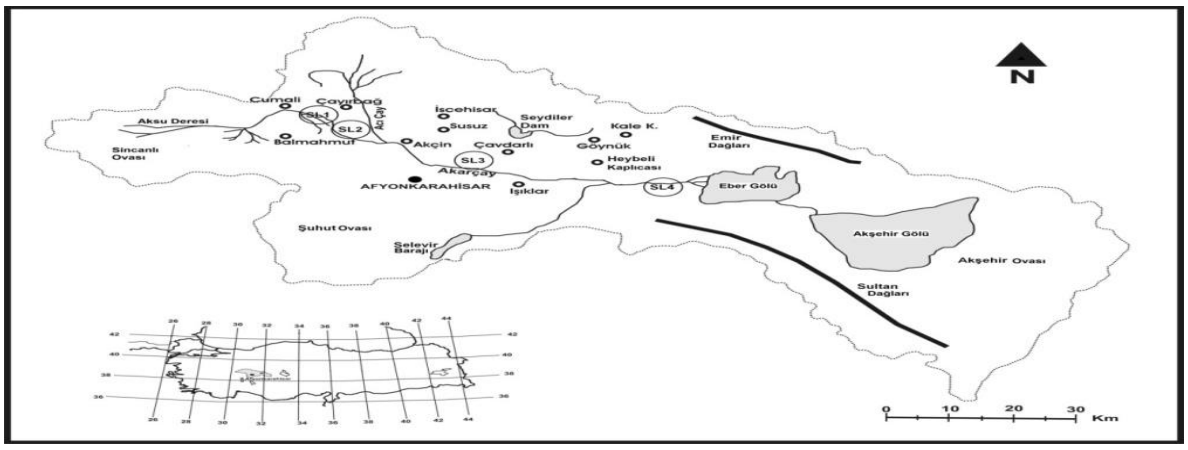


Fig. 1 Study area

II. MATERIALS AND METHOD

Nearly 100 vascular plants were identified in the study site, situated in the Irano-Turanian floristic region. Identification of the plants was based on "Flora of Turkey and the East Aegean Islands" [15]-[17] and "Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler)" (A checklist of the Flora of Turkey (Vascular Plants))" [18], and the herbarium of Afyon Kocatepe Üniversitesi (AKÜ) was also utilized. Most of the study area is covered by Quaternary lands. Bioclimate of the area is a combination of little rainy - cold Mediterranean climates. The precipitation regime shows the characteristic of eastern Mediterranean. Most of the study area has alluvial soils, hydromorphic alluvial soils, colluvial soils, brown soils with reeds-marshs of land type. Floristic region of the area is a Irano-Turanian type and about 100 vascular plant types have been identified. 3 plant communities are identified regarding to [19] in the research area. These are ***Hordeum bulbosum*** L. (boncuk arpa), ***Hordeum murinum*** L. subsp. ***leporinum*** (Link) Arcang. (kılçık arpa) and ***Hordeum murinum*** L. subsp. ***glaucum*** (Steud.) Tzvelev (duvar arpası).

Table 1. Analysis of the soil results

Plant Com. Num.	Depth cm	Water Saturation	Texture Class	EC ds/m	Total Salt %	Water Saturation at Soil pH	Organic Matter %	Phosphorus (P_2O_5) Kg/da	Potassium (K_2O) Kg/da	Lime $CaCO_3$ %
1	0-30	154	C	17,34	1,32	8,1	1,29	14,01	251,78	29,91
1	0-30	132	C	16,53	1,24	8,4	1,65	13,76	261,45	27,67
1	0-30	144	C	18,45	1,43	8,3	2,01	10,11	244,81	28,44
1	0-30	125	C	15,61	1,15	8,5	1,87	17,04	257,49	26,89
2	0-30	153	C	17,42	1,34	8,6	1,98	5,87	261,67	31,34
2	0-30	133	C	19,69	1,54	8,5	2,49	6,59	268,92	28,64
2	0-30	138	C	16,19	1,22	8,7	1,31	14,11	274,55	30,71
2	0-30	145	C	17,48	1,37	9,0	2,69	15,59	239,81	30,41
3	0-30	171	C	19,51	1,52	8,8	1,66	4,79	253,79	29,66
3	0-30	161	C	16,77	1,27	8,2	1,99	5,97	255,69	30,54
3	0-30	172	C	15,91	1,19	8,7	1,54	16,23	261,92	27,68
3	0-30	168	C	19,88	1,57	8,9	2,54	17,49	258,12	31,09

[1] ***Hordeum bulbosum*** L. (boncuk arpa), [2] ***Hordeum murinum*** L. subsp. ***leporinum*** (Link) Arcang. (kılçık arpa), [3] ***Hordeum murinum*** L. subsp. ***glaucum*** (Steud.) Tzvelev (duvar arpası).

.

III. RESULTS

To find the relation of the plant community with soils, 12 soil examples which have a high capability of representation were taken from the deepness of 0-30 cms and their physical and chemical analysis were

done in Ankara Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü (Ankara Soil Fertilizer and Water Resources Central Research Institute) laboratories according to the methods determined by Reference [20] (Table 1). The area has “Mediterranean Bioclimate with low precipitation”. “Eastern Mediterranean type” precipitation is recorded in the area [21], [22]. To reflect the climate values of the region, a climate diagram was drawn for the nearest meteorological stations, Afyonkarahisar and Bolvadin [23]- [25] (Fig. 2). If the climate data of Afyonkarahisar and Bolvadin meteorological station is applied to the climate classification formula of Reference [26], Afyonkarahisar and Bolvadin show a "low rainfall, cold Mediterranean bioclimate" [27].

It mostly contains the major soil types as alluvial soils, hydromorphic alluvial soils, colluvial soils, and brown soils [28]. Nearly 100 vascular plants were identified in the study site, situated in the Irano-Turanian floristic region.

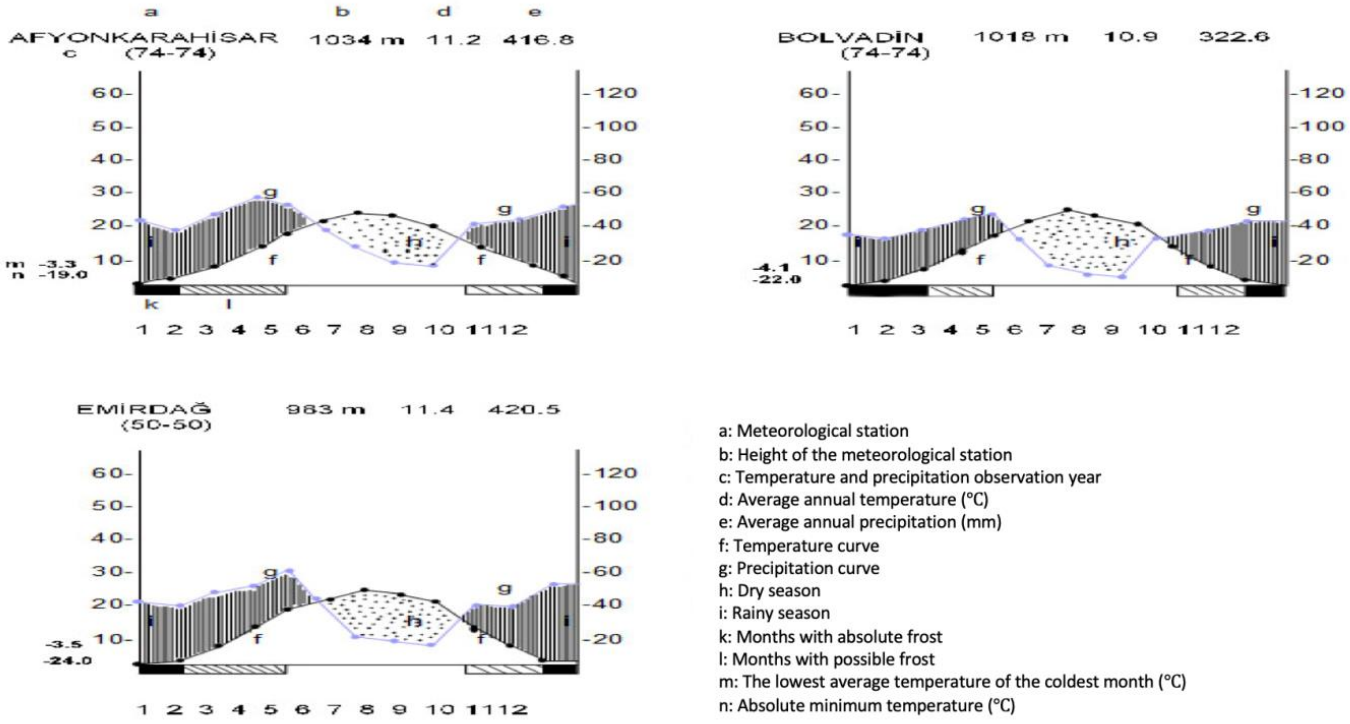


Fig 2. Walter climate diagrame

IV. DISCUSSION

To accomplish the research the communities of plant have been pulled up with their soil and the analysed and evaluated. To find the relationship with this plant communities 0-30 cm soil samples retrieved from the depths and their physical (In percent clay, silt, sand, texture, water saturation, field capacity, wilting point) - chemical [cations (Me/100 gr), anions (Me/100 gr), pH, $CaCO_3$ %, total salt %, EC, organic matter %, changable Na (Me/100 gr), changable K (Me/100 gr), SAR (Me/100 gr), B ppm] analyses and commented. According to the findings, the results vary as follow. In the group, cover of the vegetation is 50 %- % 90 and the number of species in the group is about 6-10. In the group’s study field, Hydromorpic Alluvial exist in the soils. Soils are in heavy clayey structure. The soil samples taken from the group are very salty, highly calcareous, organic material in the samples vary from little to medium and phosphorus in the samples vary from little to very high with too much level of potassium. Soils are characterised by very strongly alkali with respect to pH.

V. CONCLUSION

In this study, soil properties of three *Hordeum* spp. plant communities growing naturally in saline soils, taken at depths of 0-30 cm, were compared. It is very important to have information about the ecology of these plant communities found in various places, especially the soil properties. Reaching the results of the same ecological conditions in nature without analysis constitutes the essence of the research. Such similar studies to be conducted in the future will make significant contributions to plant ecology.

REFERENCES

[1] A. Baytop, and D. Dökmeci, "A Contribution to the Flora of Sultandağları,'' *İstanbul Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Mecmuası*, vol. 14, 1978.

[2] R. Çetik, and M. Vural, ''Ecological and Sociological Studies on the Vegetation of Afyon, Bayat-Köroğlubeli and its Environment,'' *Comm. Fac. Sc. Univ. Ankara. C2*, vol. 23, pp. 1−44, 1979.

[3] M. Vural, T. Ekim, R. İlarslan, and H. Malyer, ''Afyon Başkomutan Tarihi Milli Parkı Vejetasyonu,'' *Doğa Bilimleri Dergisi*, vol. 9, pp. 363−387, 1985.

[4] Y. Gemici, ''Çivril (Denizli), Sandıklı ve Dinar (Afyon) İlçeleri Arasındaki Akdağ ve Çevresinin Flora ve Vejetasyonu,'' TBAG-571 no.lu Proje. Ankara. 1986.

[5] M.T.A., Türkiye Jeotermal Envanteri, Ankara. 1996.

[6] Hacettepe Üniversitesi, Revize Hidrojeolojik Etütler Kapsamında Akarçay Havzası Hidrojeolojisi ve Yeraltı Suyu Akım Modeli Projesi 1. ve 2. Ara Rapor, VII+73s Ankara, 1998.

[7] L. Kurt, ''The Steppe Vegetation of Emirdağ (Afyon / Turkey),'' *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknik Dergisi*, vol. 3, pp. 257−270, 2002.

[8] E. Akçiçek, ''Flora of Kumalar Mountain (Afyon)'' *Turk J Bot*, vol. 27, pp. 383−420, 2003.

[9] M. Kargıoğlu, ''The flora of Ahırdağı(Afyonkarahisar) and its environs,'' *Turk J Bot*, vol. 27, pp. 357−381, 2003.

[10] B. Y. Köse, and A. Ocak. ''Emirdağları Kuzey Yarısı Florası,'' *Turk J Bot*, vol. 28, pp. 369−390, 2004.

[11] T. Kocabıçak, A. Serteser. And M. Kargıoğlu., ''Emir Dağları (Afyonkarahisar) Güney Yarısı Florası,'' *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi*, vol. 33, pp. 1−19. 2009.

[12] A. Serteser, ''Bolvadin (Afyonkarahisar) Çevresinin Halofitik Vejetasyonu ve Toprak İlişkisi,'' in. *Ist International Bolvadin Symposium, Sultan Yolu Üzerinde Kadim Kent Bolvadin*, paper I.157, p. 1064−1077.

[13] A. Ersin, ''Eber Gölü Florası (Afyonkarahisar),'' Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, Türkiye, 2023.

[14] M. Aljumaili, and A. Serteser, ''Evaluation of Eber Lake (Afyonkarahisar) Macrophytes in Terms of Restoration Ecology,'' in 6. International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences (EurasianBioChem 2023), 2023, paper 1, p. 357.

[15] P. H. Davis, Ed., *Flora of Turkey and East Aegean Islands I-IX*, ser. V. Edingburg Univ. Press. 1965.

[16] P. H. Davis, R. R. Mill, and K. Tan, *Flora of Turkey and The East Aegean Islands*, ser. Xv. Edinburg Univ. Press. 1965-1988.

[17] A. Güner, N. Özhatay, T. Ekim, and K. H. C. Başer, *Flora of Turkey and East Aegean Islands XI*, Edinburgh Univ Press. 2000.

[18] A. Güner, S. Aslan, T. Ekim, M. Vural, and T. Babaç, (Edlr.) *Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler)*. Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Yayını, İstanbul, Türkiye, 2012.

[19] J. Braun-Blanquet, (Trans. G. D. Fuller and H. S. Conard) *Plant Sociology; The study of plant communities*, London: Mc Graw- Hill, 1932.

[20] A. Tüzüner, *Toprak ve Su Analiz Laboratuvarı El Kitabı*. Tarım Orman ve Köy işleri Bakanlığı K.H.G. Müdürlüğü Yayını, Ankara, Türkiye, 1990.

[21] D.M.İ. (General Directorate of Meteorology), Meteoroloji Bülteni. T. C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü. Araştırma ve Bilgi İşlem Dairesi Bşk. Ankara. 2021.

[22] Y. Akman, *İklim ve Biyoiklim*. Palme Yayınları, Ankara, Türkiye, (2011).

[23] H. Gaussen, ''Theories et classification des climates et microclimats,'' in VIII Cong. Intern. Bot., 1954, p. 125−130.

[24] H. Walter, ''Die Klima-Diagramme als Mittel zur Beurteilung der Klimaverhältnisse für ökologische, vegetationskundliche und landwirtschaftliche Zwecke,'' *Ber. dt. bot. Ges*., 68, 331−334, 1955.

[25] S. Uslu, ''Kurak zamanların tesbitinde esas olarak kullanılan klima-diagram,'' *İ. Ü. Orman Fak. Der.*, vol. 8, pp. 95−104, 1958.

[26] L. Emberger, ''Sur le quotient pluviothermique,'' *C. R. Acad. Sci.*, vol. 234, pp. 2508−2510, 1952.

[27] Y. Akman, and P. Daget, ''Quelques aspects synoptiques des climates de la Turquie,'' *Bull. Soc. Lang. Geogr.*, vol 5, pp. 269−300, 1971.

[28] K.H.G.M., ''Afyon İli Arazi Varlığı,'' Ankara, İl Rep. 03, 1994.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

The Adoption of Green Technologies by Businesses and the Strategies for Green Technological Catch-up

Serap KALFAOĞLU[1*]

[1]*Business Administration Department/Faculty of Economics and Administrative Sciences, Selçuk University, Türkiye*

[*]*(serapkalfaoglu@selcuk.edu.tr)*

Abstract – The present study examines the utilization of green technologies by businesses and green technological catch-up strategies. Green technologies offer innovative solutions that aim to protect natural resources, increase energy efficiency and reduce environmental damage, and have a significant impact on national development. Technologies developed in areas such as renewable energy, sustainable transportation, energy efficiency, circular economy and waste management contribute to green transformation by increasing the environmental sensitivities of businesses. The study also examines the efforts of developing economies to close the technology gap in line with environmental sustainability principles within the framework of the concept of green technological catch-up. In this context, strategies such as leapfrogging, advanced technology transfer, R&D investments and support for green entrepreneurship ecosystems are of particular significance. It is asserted that Turkey is falling behind in the realm of green industrial development in comparison to nations such as Korea and Japan. The necessity for rigorous research in this domain to facilitate a more profound comprehension of its ramifications on both the economy and the environment is underscored. Consequently, it has been asserted that the transition to green technologies is not solely an environmental imperative, but also a strategic necessity that enhances economic competitiveness.

Keywords – Green Technology, Green Technological Catch-up, Business

I. INTRODUCTION

Green technologies in businesses include innovative solutions that protect natural resources, increase energy efficiency, and reduce environmental damage and pollution [1]. In essence, these technologies serve to enhance environmental protection while concomitantly exerting an influence on the economic development levels of nations. Consequently, they seek to ensure their development by integrating people and nature. The development of a green industry in businesses has been demonstrated to increase resource optimization and efficiency. Furthermore, it has been shown to increase ecological sensitivity and encourage businesses to adopt green technological catch-up strategies. Consequently, the nation's technological advancement is achieved through the production of green products and the adoption of a green economic catch-up model.

This transformation should be a priority not only in coping with environmental degradation but also in combating other urgent environmental crises, such as climate change and pollution [2-3]. This study will provide a comprehensive overview of the key findings, including notable notes and illustrative examples of green technologies and green technological catch-up strategies employed within business contexts. The parameters under scrutiny are of consequence in comprehending the evolution of a nation's green industry and elucidating the repercussions of this evolution on the economy and the environment.

II. Green Technologies and Green Technological Catch-Up Strategies

Examples of green technologies used by businesses include [4-7]:

Renewable Energy Technologies: The utilization of clean energy sources, such as solar, wind and hydroelectric energy, serves to reduce reliance on fossil fuels. For instance, Apple operates all of its global operations using 100% renewable energy.

Sustainable Transportation Technologies: Electric and hybrid vehicles have been demonstrated to reduce fossil fuel consumption, leading to a concomitant reduction in air pollution and greenhouse gas emissions.

Energy Efficiency Technologies: Technologies such as LED lighting, energy-saving appliances and smart home systems have been shown to optimize energy consumption.

Sustainable Agriculture Technologies: It is evident that methods such as organic farming and vertical farming, which require less water and space, result in higher efficiency.

Waste Management Technologies: The utilization of methodologies such as recycling, composting and waste-to-energy production serves to minimize waste and employ resources in a more sustainable manner.

Circular Economy Technologies: Technologies that facilitate the recycling of waste and its incorporation into the production process have been demonstrated to reduce consumption of natural resources [7]. For instance, IKEA has set itself the target of transitioning to a fully circular business model by the year 2030. In the domain of energy conservation, the development of smart buildings emerges as a pivotal green technology product. Systems such as lighting and heating can be activated or deactivated in accordance with real needs through the use of sensor and automation control technology. Furthermore, it provides sustainable living comfort through its insulated designs, solar panels and wind turbines for energy production, and strategies such as roof greening [2].

The term "green technological catch-up" was coined to denote the process by which emerging economies bridge the technological gap while considering environmental sustainability [8]. The pursuit of sustainability in the green industry has been demonstrated to precipitate a shift in prevailing economic paradigms on a global scale, thereby giving rise to a proliferation of opportunities in this domain [9]. Lee and Malerba [10] posit that factors which increase technological catch-up at the firm level include market-oriented incentives such as maximizing financial returns, securing technological leadership, and improving market position. It is evident that national governments have the capacity to utilize a range of mechanisms, including legislative, fiscal, and administrative frameworks, to impose tariffs with the aim of safeguarding nascent industries, calibrating exchange rates to facilitate the expansion of exports, and devising FDI-friendly policies to attract capital and thereby foster the dissemination of green innovation [11]. On a regional level, the utilization of local resource endowments can be enhanced by leveraging local social capital and relational networks grounded in geographical, cultural, or institutional proximity, complemented by natural assets [12]. The role of institutional conditions is also a salient factor. Formal institutions, such as industrial policies and regulations, have been demonstrated to exert influence on the formation of new industries. Conversely, cultural norms and environmental awareness have been shown to influence the acceptance of green industries [13]. It is evident that mechanisms such as value chain expansion, increased investment, and market development represent direct ways in which a single region's green capture can affect larger scales [9].

In the context of green technology catch-up strategies, options such as emulating the catch-up examples of others, developing knowledge-based capabilities, and market positioning are also of great importance [14]. The critical challenge for firms is not to choose between these patterns, but to strategically evolve from a path-following strategy to more innovative approaches as their capabilities mature. In the context of internal knowledge development, it is imperative for firms to establish robust knowledge management systems as a fundamental prerequisite.

III. Remarkable Notes

With regard to Türkiye, the development of the green industry appears to be comparatively delayed in comparison to countries such as Korea and Japan. Indeed, it is challenging to assert that the general

industrial development rate is rapid. It is imperative that future studies concentrate on this area, thereby facilitating a more precise and comprehensive understanding of the impact of the general and green industrial development levels of countries on the economy and the environment.

It is evident that green technologies are of paramount importance when it comes to combating climate change. As posited by the IPCC [15], radical technological transformations must be implemented in the energy, industry and transportation sectors in order to achieve net zero carbon emission targets by 2050.

Moreover, businesses that invest in green technologies enhance their economic competitiveness and adhere to carbon regulations in international trade (e.g. the European Union Border Carbon Adjustment Mechanism - CBAM) [16].

The transition in consumer preferences towards environmentally conscious brands [17] and the heightened sensitivity of investors to environmental, social and governance (ESG) criteria necessitate a green transformation for businesses. Furthermore, the ILO [18] anticipates the emergence of new employment sectors centred on green technologies, including renewable energy and recycling technologies. Consequently, the transition to green technology has become not only an environmental imperative, but also a strategic necessity in terms of economic sustainability and competitive advantage. Moreover, the plethora of interrogations posed within this domain engenders a multitude of novel inquiries, the responses to which are often challenging to formulate. For instance, what advantages does a business offer in terms of both the environment and competitiveness? The present study seeks to identify the primary obstacles and opportunities encountered during the process of green technology development in Türkiye. The following study will explore which green technologies are likely to be pivotal in the near future.

REFERENCES

[1] OECD. (2011). Towards Green Growth. https://oecd.org

[2] Nie, H., & Zhang, W. (2025). Construction of green technology model based on enterprise digital economy of environmental protection. Discover Applied Sciences, 7: 388, https://doi.org/10.1007/s42452-025-06874-w

[3] Losacker, S., Horbach, J., & Liefner, I. (2025). A spatial perspective on green technology adoption in China: insights from patent licensing data. Innovation and Development, 15(1), 41-61. https://doi.org/10.1080/2157930X.2023.2233199

[4] Haščič, I., and Migotto, M. 2015. "Measuring Environmental Innovation Using Patent Data." OECD Environment Working Papers No. 89. Paris. https://doi.org/10.1787/19970900

[5] Kemp, R., A. Arundel, C. Rammer, M. Miedzinski, C. Taipa, N. Barbieri, Serdar Türkeli, et al. 2019. Maastricht Manual on Measuring Eco-Innovation for a Green Economy. Maastricht, The Netherlands: Innovation for Sustainable Development Network.

[6] UNEP (2020). Emissions Gap Report 2020. https://unep.org

[7] World Economic Forum. (2020). The New Plastics Economy: Catalysing Action. https://weforum.org

[8] Altenburg, T., & Pegels, A. (2012). Sustainability-oriented innovation systems – managing the green transformation. Innovation and Development, 2(1), 5–22. https://doi.org/10.1080/2157930X.2012.664037

[9] Yu, Z., & Gong, H. (2025). Towards a regional green catch-up framework through a geographically sensitive lens. Electronic copy available at: https://ssrn.com/abstract=5197819

[10] Lee, K., & Malerba, F. (2017). Catch-up cycles and changes in industrial leadership: Windows of opportunity and responses of firms and countries in the evolution of sectoral systems. Research Policy, 46(2), 338-351.

[11] Lema, R., & Lema, A. (2012). Technology transfer? The rise of China and India in green technology sectors. Innovation and Development, 2(1), 23-44.

[12] Isaksson, K., & Hagbert, P. (2020). Institutional capacity to integrate 'radical'perspectives on sustainability in small municipalities: experiences from Sweden. Environmental Innovation and Societal Transitions, 36, 83-93.

[13] Trippl, M., Baumgartinger-Seiringer, S., Frangenheim, A., Isaksen, A., & Rypestøl, J. O. (2020). Unravelling green regional industrial path development: Regional preconditions, asset modification and agency. Geoforum, 111, 189-197.

[14] Li, Q. (2025). Three essays on innovation catch up in emerging markets. Doctoral thesis, Nanyang Technological University, Singapore. https://hdl.handle.net/10356/182670

[15] IPCC (2025). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Available at: https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/

[16] European Commission. (2021). Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM). https://ec.europa.eu

[17] Nielsen. (2018). The Evolution of the Sustainability Mindset. https://nielsen.com

[18] International Labour Organization. (2019). Skills for a greener future: A global view. https://ilo.org

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

September 11-12, 2024 : Konya, Turkey

ICSIS

© 2024 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis

Yüksek Fırın Cürufu İkameli ve Uçucu Kül Aktivatörlü Geopolimer Harçlarda 3-7 ve 28 Günlük Basınç Dayanımı Özellikleri

Osman ULUSU[a,1], Melek Şeyma ULUSU[b,2]

[a] *İnşaat Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale*

[b] *Türk Dili ve Edebiyatı, Gazi Üniversitesi, Ankara*

[1]*ulukale71@gmail.com.* [2]*idemir@kku.edu.tr.* [3]*osevim@kku.edu.tr.* [4]*msözdemir@gmail.com*

Özet **–**Bu çalışmada uçucu kül, öğütülmüş yüksek fırın cürüfu ile alkali ve su ile polimerliştirilerek ikame olarak geopolimer betonun mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Geopolimer harçlar Çayırhan C sınıfı uçucu külü, CEN referans kumu,çelik lif ile sodyum hidroksit ve içme suyu kullanılarak geopolimer 4M,6M,8M olarak aktive edilmiştir. Karışım oranları ağırlıkça, kum/uçucu kül oranı 3 , su/uçucu kül oranı 0,44 ve sodyum/uçucu kül oranı 0,08 olarak referans alınmış olup bu değerler öğütülmüş yüksek fırın cürufunun %5,%10,%15,%20,%25 ikamesiyle karışım molaritesi 4M,6M,8M olacak şekilde teste alınmıştır. Hazırlanan karışımlar, 3 gün, 7 gün ve 28 gün süresince gün ışığı kürü ve 47°C sıcaklıkta kür edilerek deneylere tabi tutulmuştur. Ayrıca eşdeğer karışımlar 3 gün, 7 gün, 28 gün süresince gün ışığı sıcaklığında küre tabi tutulduktan sonra toplamda kür süresi 7 gün olacak şekilde laboratuar ortamında (25±2°C ve bağıl nemi %35±5) havada kür edilmiş olup, deneylere tabi tutulmuştur. Alkali ile aktive edilen uçucu kül referanslı ve öğütülmüş yüksek fırın cürufunun %5,%10,%15,%20,%25 ikamesiyle elde edilen harçların ;

Basınç Dayanım Testleri (3,7 ve 28 Günlük) özellikleri ölçülmüştür.

Öğütülmüş yüksek fırın cürufunun artmasıyla dayanımların önemli oranda etkilenerek arttığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, 47°C'lik ısıl kür ile 34,70 MPa mertebesinde basınç dayanımına ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler –Geopolimer beton, eğilme dayanımı, öğütülmüş yüksek fırın cürufu, uçucu kül

I. GİRİŞ

Beton, dünyada en çok kullanılan ve tüketilen madde olarak geçmektedir. Beton kullanımının olumlu yönleri kadar olumsuz yönleri de göz ardı edilmemelidir. Betonarme yapıların yıkılması sonucu oluşan inşaat yıkıntı atıkları yeniden kullanıma uygun değildir. Ayrıca bu atıklar bulundukları çevreyi de olumsuz yönde etkilemektedir. Bu etkenler araştırmacıları atıklarının değerlendirilmesi konusunda çalışmalar yapmaya teşvik etmiştir (Mak vd, 2019; Liu vd., 2022; Lai vd., 2016; Yuan vd., 2013; Liu vd., 2020).

Yapı malzemeleri alanında yapılan gelişmeler neticesinde çimento yapı malzemeleri arsında en seçkin yerini korumaktadır.Özellikle bu rolün glopbal alanda yeşil sistemde kullanılabilecek bazı önemli özelliklere sahip olması gerekmektedir. Çünkü betonun yapı malzemesi olarak kullanılmasında göz önünde bulundurulması gereken son yılların en önemli bileşeni karbon izi ortaya çıkmaktadır. Örneğin, beton hammaddelerinden olan çimentonun üretim sürecinde bir ton klinker elde edebilmek için yaklaşık 850 kg CO2 doğaya salınmaktadır (Puertas vd., 2008). Bu durumun sonucu olarak çimento yerine ikame edilen malzemeler kullanılma isteği artmıştır. Çimento yerine kullanılabilecek malzemeler atık yönetimine de

yardımcı olurlar. Atık yönetimi ve farklı karışımlar son zamanlarda geopolimer üretimi konusunda önemli bir yaklaşma açısı oluşturmaktadır.

Geopolimerler, daha yeşil bir beton arayışındaki ilk çabalardan birini temsil eder. İlk olarak Joseph Davidovits tarafından önerilen geopolimer beton terimi, şimdi alüminosilikattan daha geniş bir alkali aktive bağlayıcı çeşidi ile ilgilidir (Zhang vd., 2013). Uçucu kül, atık cam tozu, yüksek fırın cürufu ve silis dumanı gibi yüksek hacimli endüstriyel atığın entegrasyonu nedeniyle, geopolimerler hem yöntem hem enerji hem de CO2 emisyonları açısından beton üretiminin çevresel ayak izini önemli ölçüde azaltmanın bir yolu olarak görülmektedir. (Collivignarelli vd., 2021).

Geopolimerler alüminosilikat esaslı malzemelerin çeşitli alkali aktivatörler ile aktive edilmesi sonucu üretilirler. Bu aktivatörler genellikle sodyum silikat (Na2SiO3), sodyum hidroksit (NaOH), potasyum hidroksit (KOH) zaman zaman birlikte ya da tekil olarak kullanılırlar (Somna vd., 2011; Ravikumar and Neithalath, 2012; Silva de Vargas vd., 2014).

Geopolimer ana içeriği ise alüminyum silikat (bağlayıcı), kum ve agregalardır.

Geopolimer karışımlarda alümina silikat olarak genelde puzolanik özellik gösterme potansiyeli bulunan malzemeler kullanılmaktadır. Geopolimerlerin özellikleri puzolanın kimyasal içeriğinden etkilenir. Örneğin puzolan içerisinde bulunan CaO su ile reaksiyona girebilir ve geopolimerlerin mekanik özelliklerini artıran kalsiyum silikat hidratlı bileşikler oluşturabilir (Diaz, 2010).

Ca oranına göre farklı şekilde jel yapıları oluşabilmektedir. Ca içeriğinde (sodyum alümina silikat hidrat) N-A-S-(H) jelleri, yüksek Ca içeriğinde de (kalsiyum alümina silikat hidrat) C-A-S-H jelleri oluşmaktadır. Geopolimer üretiminde katkı maddeleri kullanıldığı için hidratasyon ısıları portland çimentosu göre daha düşüktür. Ayrıca geopolimerler yüksek basınç dayanımı ve asitlere karşı yüksek direnç göstermesi nedeniyle birçok alanda kullanılmaktadır (Patankar vd., 2015; Al-Akhras, 2006).

Bu çalışmada yerel Çayırhan C sınıfı uçucu külünün alkali aktifleştirilmesi yöntemi ile çimento yerine bağlayıcı olarak kullanılabilirliği ve geopolimer bağlayıcının lego beton imalatında kullanılabilirlik potansiyeli araştırılmıştır. Uçucu kül referanslı öyfc katkılı karışımın alkali ve gün ışığı ısısı ile aktifleştirilerek geopolimer harcın basınç dayanım durumu araştırılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Materyal

1. Uçucu Kül

Uçucu kül Çayırhan Termik Santralinden temin edilmiştir. C sınıfı uçucu külün kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Sugözü uçucu külü, SiO2+Al2O3+Fe2O3 değerinin %70'nin üzerinde olması ve CaO miktarının %10'dan az olması nedeniyle F sınıfı (düşük kireçli) uçucu kül sınıfına girmektedir. Uçucu külün tanecik yoğunluğu 2390 kg/m3 ve inceliği (>45µm) %12 dir. 28 ve 90 günlük aktivite endeksi sırasıyla %78,20 ve %93,80 dir.

Tablo 1. Uçucu Külün Kimyasal Kompozisyonu (%).

Oksit	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	SO_3	Na_2O	S.CaO	Cl-	KK
Uçucu Kül	40.16	22.07	9.1	21.47	2.12	0.88	0.90	0.0108	0.40

2. Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu

Çalışmada Ereğli Demir Çelik İşletmesinden temin edilmiş Yüksek Fırın Cürufu (YFC) kullanılmıştır.

Tablo 2. ÖYFC'nin Kimyasal Kompozisyonu (%).

Kimyasal Kompozisyonlar	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	Cl-	K.K
Yüksek Fırın Cürufu	41,49	16,34	0,61	29,26	7,68	1,90	0,80	1,10	0,01	0,17

3. Karışım Suyu

Geopolimer harcın karışımında TS EN 196-1 standartlarına uygun şebeke suyu kullanılmıştır.

4. Kum

TS EN 196-1 standartına uygun maksimum agrega boyutu 2 mm olan Rilem Cembureau standart kumu kullanılmıştır.

Tablo 3. Kum Granülümetrisi ve Sınır değerleri

Özellik	Tane Büyüklüğü (mm)					
	0,08	0,16	0,5	1,0	1,6	2,0
Kalan (%)	99	87	72	34	6	0
Sınır (%)	99 ± 1	87 ± 5	67 ± 5	33 ± 5	7 ± 5	0

5. Aktivatör

Geopolimer karışımın aktivatörü olarak sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Su ile NaOH karıştırılarak 4,6 ve 8 molaritede ayarlanmıştır.

Tablo 4. Sodyum Hidroksit (NaOH) Kimyasal Özellikleri

Özellikler	Sodyum Hidroksit
Molekül Formülü	NaOH
Molekül kütlesi (g/mol)	40
NaOH (%)	>97
Na2CO3 (%)	<1
Cl (%)	<0.01
SO4 (%)	<0.01
Pb (%)	<0.002
Al (%)	<0.002
Fe (%)	<0.002

B. Yöntem

1. Geopolimer Karışımı

Harçlar CEN referans kumu, Çayırhan C sınıfı uçucu külü, sodyum hidroksit ve içme suyu kullanılarak çimentosuz olarak üretilmişlerdir. Harç karışımları referans olarak ağırlıkça, kum/uçucu kül oranı 3, su/uçucu kül oranı 0,44 ve sodyum/uçucu kül oranı 0,08 olacak şekilde hazırlanmış ve Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5 Geopolimer Harç Karışım Malzeme Miktarları (g).

Molarite	Kum	Uçucu Kül	Öyfc	NaOH	Su
4M	1350	450	0	36	216,9
4M	1350	427.5	22.5	36	216,9
4M	1350	405	45	36	216,9
4M	1350	382.5	67.5	36	216,9
4M	1350	360	90	36	216,9
6M	1350	450	0	54	212,9
6M	1350	427.5	22.5	54	212,9
6M	1350	405	45	54	212,9
6M	1350	382.5	67.5	54	212,9
6M	1350	360	90	54	212,9
8M	1350	450	0	72	208,8
8M	1350	427.5	22.5	72	208,8
8M	1350	405	45	72	208,8
8M	1350	382.5	67.5	72	208,8
8M	1350	360	90	72	208,8

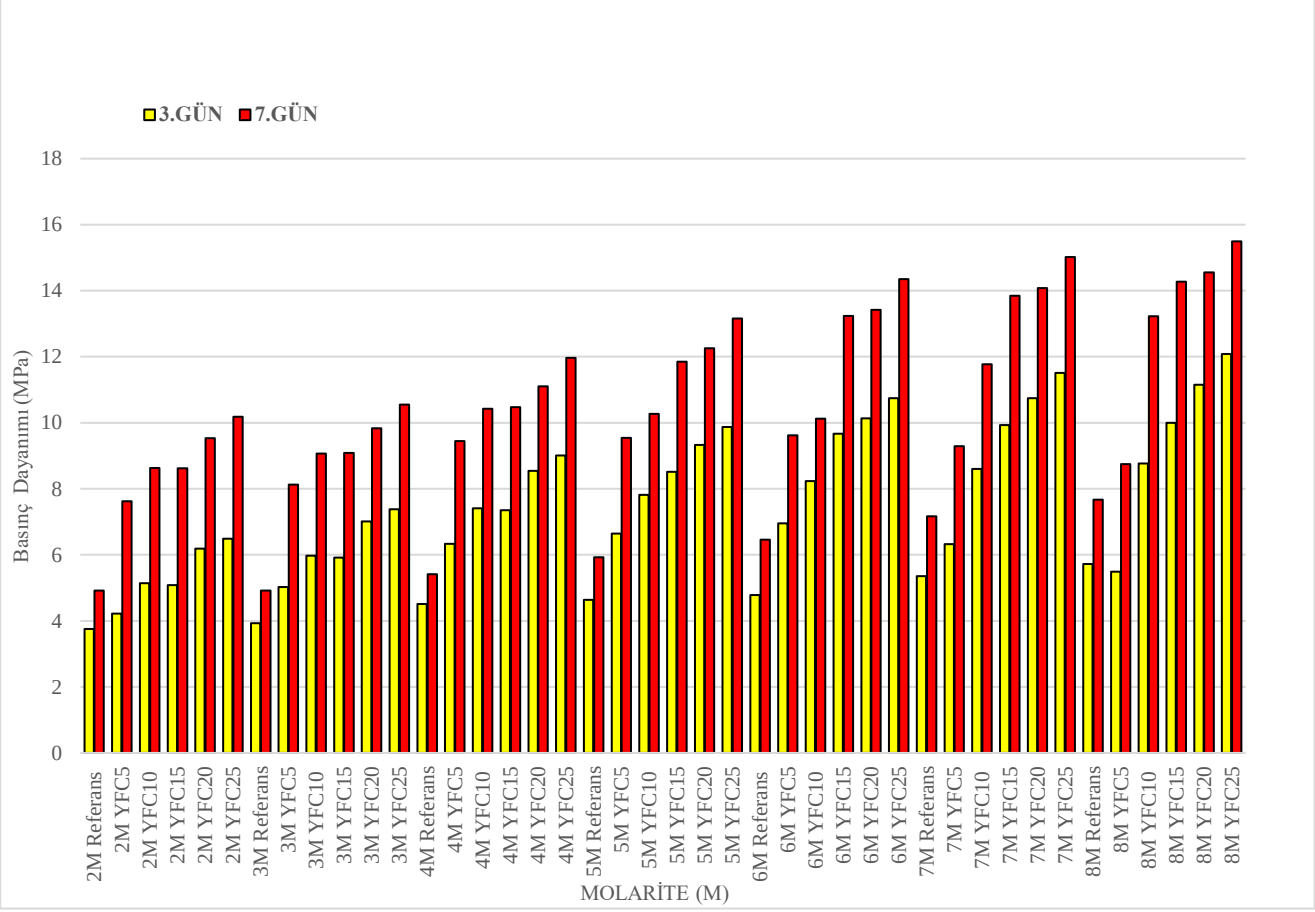
Hazırlanan karışımlar harç kalıpları ile birlikte 3 gün ve 7 gün süresince gün ışığı ve 47°C sıcaklıkta 8 saat kür edilerek, kalıptan çıkarılan numuneler oda sıcaklığına kadar soğuması beklenerek deneylere tabi tutulmuştur. Ayrıca eşdeğer karışımlar 3 gün ve 7 gün süresince gün ışığı ve 47°C sıcaklığında küre tabi tutulduktan sonra kalıptan çıkarılarak toplamda kür süresi 7 güne tamamlanacak şekilde laboratuar ortamında (25±2°C ve bağıl nemi %35±5) havada kür edildikten sonra deneylere tabi tutulmuştur.

Alkali ile aktive edilen uçucu kül harçların üzerinde basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. TS EN 1015-11 doğrultusunda 40x40x160 mm numuneler üzerinde yürütülen dayanım ölçümlerinde, tek noktadan yükleme deneyi altında harç numunenin kırıldığı gerilme değeri, eğilme dayanımı olarak alınmış; eğilme deneyinden çıkan kırılmış numunelerin çimento test presinde 40x40 mm başlık altındaki kırılma değeri ise basınç dayanımı olarak değerlendirilmiştir. Eğilme deneylerinde her bir karışım için 3 adet prizma numune kullanılmış, basınç deneylerinde ise eğilme deneyinden geriye kalan 6 adet yarım prizma teste tabi tutulmuştur.

III. BULGULAR

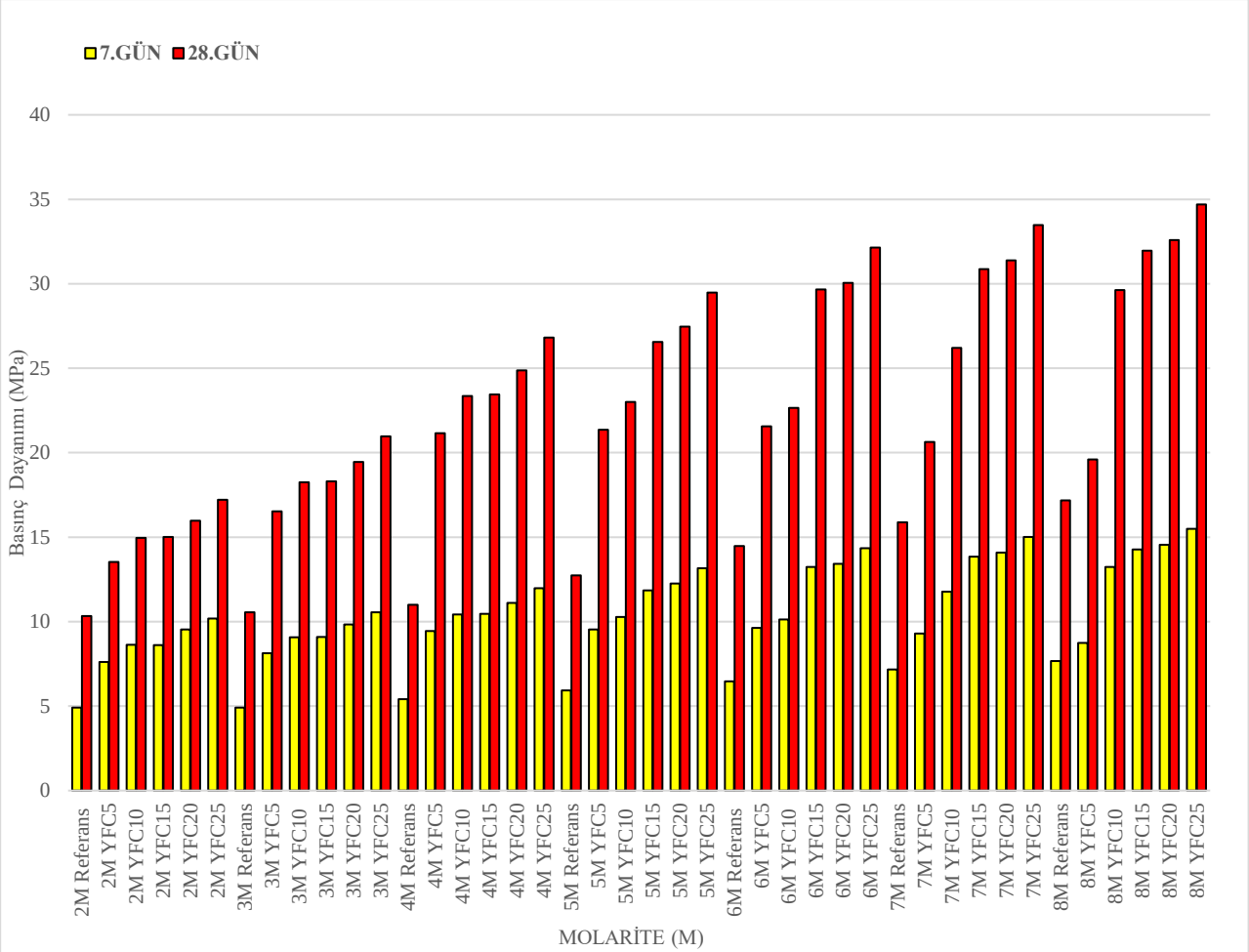
1. Basınç Dayanımı

Çalışmada hazırlanan geopolimer harç numunelerin eğilme dayanımları Şekil 4, 5 ve 6' da sunulmuştur. Tabloların tümünden görüleceği üzere molarite ve ÖYFC katkısı artıkça geopolimer harcın basınç dayanımı önemli ölçüde artmaktadır. 4M,6M ve 8M'lık 8 saat ısıl kür süresinden sonra %25 ÖYFC katkılı harç karışımının harç basınç dayanımı, 3 ve 7 günlük beklemeden sonra sırasıyla en yüksek değerleri , 9.010, 10.736, 12.076 MPa değerlerine ulaşmıştır.



Şekil 1: Molarite,ısıl kür ve öyfc katkısının 3-7 günlük basınç dayanımına etkisi.

Şekil 1'den de görüldüğü üzere 3-7 günlük ortalamalarda yfc katkısı ve molarite arttıkça basınç dayanımların yükseldiği görülmektedir. Bununla birlikte zaman içerisinde bu artışların da önemli ölçüde arttığı anlaşılmaktadır.



Şekil 2: Molarite,ısıl kür ve öyfc katkısının 3-28 günlük basınç dayanımına etkisi.

Şekil 2' de 3-28 günlük geopolimer harçlar incelendiğinde; 28. Gün en düşük basınç dayanımı, 2M %100 UK'lı karışımda yaklaşık 10,336 MPa olarak ölçülmüştür. En yüksek basınç dayanımı, 8M %25 YFC ikameli karışımda yaklaşık 34,70 MPa olarak ölçülmüştür.

IV. SONUÇLAR

Çalışmanın ana sonuçları bu bölümde özetlenmelidir. Uçucu kül ile üretilen geopolimer harcın basınç dayanımlarının molarite ve YFC katkısının artmasıyla genel olarak arttığı görülmüştür. Bunun nedeninin ise geopolimerizasyon reaksiyonlarında YFC nin içerisinde barındırdığı yüksek CaO bileşiği ve reaksiyonda molaritenin reaksiyon sentezini artırmasıyla devam etmesinden kaynaklanması olarak gösterilmektedir. Bununla birlikte test süresi arttıkça bu dayanım artışlarının da önemli ölçüde arttığı ve belli bir zaman sonra durduğu anlaşılmaktadır. Bunun sebebi ise alkali aktivatörlerin jelleri oluşturacak malzemelerinin ortamda kalmaması ile açıklanabilir.C sınıfı uçucu kül bağlayıcısının eksik yönleri olan alüminat ve kalsiyum oksit ayrıca karışıma ikame edilerek daha yüksek basınç dayanımı elde edilebileceği çalışmalarda görülmüştür.

Sonuç olarak, sodyum hidroksit ile uçucu külü aktive ederek elde edilen geopolimer, 47°C'lik 8M %25 YFC ikameli 8 saat ısıl kür ile 28 günlük 34,70 MPa mertebesinde basınç dayanımına ulaşmıştır.

KAYNAKLAR

[1] Al-Akhras, N. M. (2006). Durability of metakaolin concrete to sulfate attack. Cement and concrete research, 36(9), 1727-1734.

[2] Altan, E., & Erdoğan, S. T. (2012). Alkali activation of a slag at ambient and elevated temperatures. Cement and Concrete Composites, 34(2), 131-139.

[3] Collivignarelli, M. C., Abbà, A., Miino, M. C., Cillari, G., & Ricciardi, P. (2021). A review on alternative binders, admixtures and water for the production of sustainable

[4] concrete. Journal of Cleaner Production, 295, 126408.

[5] de Vargas, A. S., Dal Molin, D. C., Masuero, Â. B., Vilela, A. C., Castro-Gomes, J., & de Gutierrez, R. M. (2014). Strength development of alkali-activated fly ash produced with combined NaOH and Ca (OH) 2 activators. Cement and concrete composites, 53, 341-349.

[6] Diaz, E. I., Allouche, E. N., & Eklund, S. (2010). Factors affecting the suitability of fly ash as source material for geopolymers. Fuel, 89(5), 992-996.

[7] Huseien, G. F., Mirza, J., Ismail, M., Ghoshal, S. K., & Hussein, A. A. (2017). Geopolymer mortars as sustainable repair material: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 80, 54-74.

[8] Lai, Y. Y., Yeh, L. H., Chen, P. F., Sung, P. H., & Lee, Y. M. (2016). Management and recycling of construction waste in Taiwan. Procedia Environmental Sciences, 35, 723-730.

[9] Ravikumar, D., & Neithalath, N. (2012). Effects of activator characteristics on the reaction product formation in slag binders activated using alkali silicate powder and NaOH. Cement and Concrete Composites, 34(7), 809-818.

[10] Somna, K., Jaturapitakkul, C., Kajitvichyanukul, P., & Chindaprasirt, P. (2011). NaOHactivated ground fly ash geopolymer cured at ambient temperature. Fuel, 90(6), 2118-2124. Yuan, H., Lu, W., & Hao, J. J. (2013). The evolution of construction waste sorting onsite. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 20, 483-490.

[11] Zhang, Q., Ye, G., & Koenders, E. (2013). Investigation of the structure of heated Portland cement paste by using various techniques. Construction and Building Materials, 38, 1040-1050.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Artificial Intelligence and Blockchain Technologies for Sustainable Development

Nebojša Denić[1*], Anđela Baščarević[2] , Momir Milić[3], Saša Mihajlović[4] and Stefan Milić[5]

[1,2] *Faculty of Sciences and Mathematics, University of Priština, Kosovska Mitrovica, Serbia*
[3,4,5] *Faculty of Mathematics and Computer Sciences, Alfa BK University, Belgrade, Serbia*

[*] *(nebojsa.denic@pr.ac.rs)*

Abstract – This research paper will present the concept and potential of the application of blockchain technologies, chronological development and evolution, then the advantages and disadvantages of using and how these sophisticated blockchain technologies can be developed and implemented in small and medium-sized enterprises in Kosovo and Metohija. Blockchain technology is essentially a public database in which it is not possible to make changes without first agreeing to the entire public that the changes are necessary, correct, and true. Based on a systematic review of the latest literature in this field, it will be researched and evolved what are the future directions and trends of development and how the application of this sophisticated technology will affect environmental protection and sustainable development. The primary purpose of the research is to present the latest innovations in the field of blockchain technology in the context of application in small and medium-sized enterprises with the aim of improving the overall business of the company. The paper will apply the methodology of a combination of qualitative and quantitative methods of scientific research. For the purposes of this paper, research was conducted in small and medium-sized enterprises in the region and the results of the research were presented, which will show the application and functioning of blockchain technology in different types of small and medium-sized enterprises, different in terms of type of activity and ownership structure. Also, the expected results of the research will show the consequences of the use of this technology on the natural environment.

Keywords – Artificial intelligence, blockchain technology, business, environment

I. INTRODUCTION

The term blockchain is made up of two English words: block and chain. Blockchain technology is a revolutionary technology, which is a secure and decentralized digital ledger that records transactions on many computers, making it difficult to modify any single record without changing all subsequent records and gaining consensus within the network itself. The new so-called blockchain technology is gaining more and more importance every day, as it is applied in many areas of business. In essence, blockchain technology is an innovative protocol for exchanging and storing information [8]. Some authors state that although its roots go back a little more than a decade, specifically to 2008, when the first data block was created by Satoshi Nakamoto, it is still a relatively new technology that was first developed and applied in payment systems (Bitcoin). However, this technology promises and will certainly change the established forms of business in the world due to its increasing application in other areas of our lives, not only in finance, and in addition, it is becoming more and more interesting for small and medium-sized enterprises and entrepreneurs [8]. Conceptually, this technology is often used as a synonym for distributed ledger, as it allows transactions between network participants to be recorded. Records in blockchain networks are never deleted or updated, which is made possible by ledger technology. This ensures that information about

changes is only added and that deletion or modification of existing records is disabled[20]. In this regard, it can be said that the blockchain serves as an immutable record book. Blockchain technology is a type of distributed database that uses a blockchain-linking mechanism to store data. Blockchain technology allows for the keeping of so-called digital transaction logs, which can be programmed not only to record financial transactions, but also for almost anything of value. In this sense, the data is stored in chronological order and maintains a consistent state, as blocks cannot be deleted or modified without the consent of the entire network. According to Tapscott (2016), all blocks in a blockchain are cryptographically linked, which prevents data manipulation, which most often occurs when systems are centralized. The results of the research show that blockchain, as a young technology, is gaining momentum in different areas as it provides services, while being serviced by modern software solutions. Eminent authors state that many companies are researching and analyzing the possibilities of applying this technology, and its versatility is confirmed by the fact that it is already used in various industrial sectors [4]. Research shows that these software solutions are based on intelligent mechanisms [8]. However, although there are many promising use cases, more serious systematic research is still in its early stages. It is common knowledge that in this sense, blockchain has already found application in a number of applications. On the other hand, some authors state that there is a significant lack of theoretical knowledge, which is why companies, despite the implementation of this technology, are still not achieving the expected results. Based on their research , blockchain research is currently most prevalent in four areas: financial services, supply chains, the concept of two-way business, and the benefits of blockchain technology in the field of social protection. A more complete picture of the application of this young, and one could say extremely promising technology is seen by well-known authors in the areas [6]: cryptocurrency, healthcare systems, insurance systems, advertising systems, copyright protection, energy, the growing IoT sector, banking, social networks, etc. It is obvious that the effective application of Blockchain technology has its fundamental goal. The primary goal is reflected in increasing the level of satisfaction of users of this system, while users have a greater degree of trust in the software solution. In addition, the literature states that companies face challenges related to common standards and regulations of blockchain technology, which is one of the biggest obstacles to its wider application [12]. Some authors emphasize that this software solution "respects and supports all the privacy of its participants, while respecting the and the relevant legal regulations that are related to the area in which the software is applied [3]. In addition to the above, in practice, blockchain can also be used for land registry, improvement of health services, and even in electoral processes [17]. The results of the research show that companies today are increasingly inclined to use blockchain-based systems [9]. In this regard, the benefits of its application include time and cost efficiency, saving time spent on intermediaries, greater privacy, security, reduced fraud, record-keeping and decentralization. It is obvious that blockchain technology allows for fast and cheap transactions, reducing the need for intermediaries and allowing for the immediate transfer of funds between parties. This is followed by the authors who state that in addition, blockchain brings greater transparency of data in various industries [16]. A Seattle-based startup is using a blockchain platform to combat climate change in order to reduce or eliminate carbon from the atmosphere.

II. MATERIALS AND METHOD

.

This research work is based on many years of scientific research and theoretical knowledge, acquired through studies, studying domestic and, above all, foreign professional literature, as well as practical experience of studying and monitoring the implementation of artificial intelligence in business. The research methods are based on decryption, analysis and perception, compilation method, presentation and evaluation of the theoretical and practical aspects of the analysis of the application of artificial intelligence and blockchain technology in practice. In essence, the paper will apply the methodology of a combination of qualitative and quantitative methods of scientific research.

III. THE CONCEPT OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY

Blockchain enables fast, secure, and transparent transactions without intermediaries, reducing the cost and processing time of the processes themselves. It is common knowledge that the first use of blockchain in

payments and money transfers has already become commonplace. The number of small and medium-sized businesses and business systems developing blockchain-based applications will grow exponentially in the coming years. It is recognizable that blockchain technology is emerging in the public as a technology that is new, revolutionary and is primarily applied in cryptocurrency business. In terms of the concept itself, what makes blockchain special is the chain structure in which each new block is connected to the previous one, creating a sequence that cannot be changed. The following Figure 1 shows the original scheme for the execution of the Blockchains transfer published by Satoshi Nakamoto in 2008.

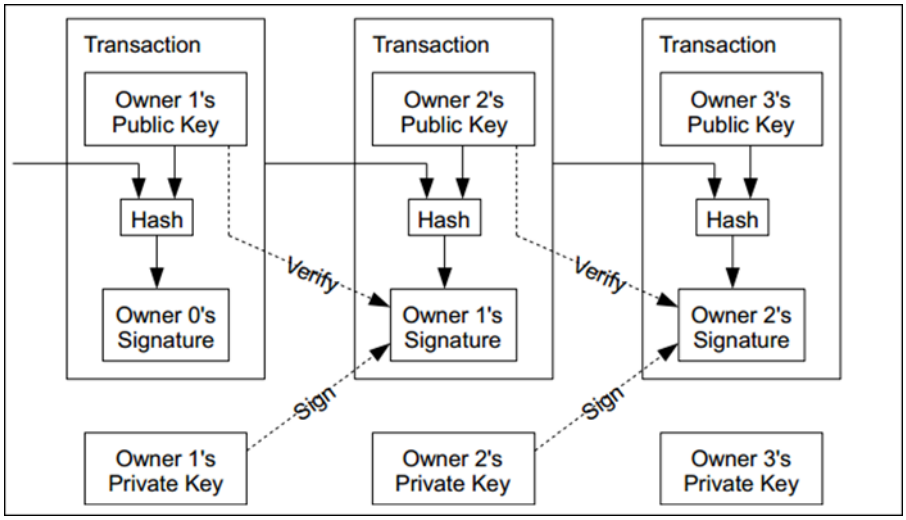


Fig. 1 Illustration of the scheme of execution of Blockchains transfers[15]

Blockchain technology is characterized by the fact that all information is automatically copies. In this sense, the made copies are found on multiple globally distributed computers. Some authors claim that the validity of data can be checked from any computer included in the system, "in this way, any information is checked, which, if it is accurate, safe, reliable, can be entered into the system, i.e. the "chain" [14]. This is followed by the authors who say that each block contains different data, for example, when it came to a certain time Changes in the chain, at the time when the participant user has updated his data, The identity of the miner who adds this block to the Blockchain, information about the transactions that are being made It is in this block, as well as the hash of the previous block, to which a new one is connected, this is how blockchain is formed [24]. Antonucci et al. (2019) state that a blockchain is a distributed database of records in the form of encrypted blocks – smaller data sets or public ledgers of all transactions or digital events that have taken place and can be verified in the future [2]. In terms of concept, the main building block of blockchain technology is a block that contains transactional data, such as information about the transfer of digital currencies or other types of data. It should be noted that each of them also has a unique cryptographic hash, which is a digital signature that ensures the security and integrity of data. One of the drawbacks of blockchain networks is that they can be inefficient and slow, as the requirements required to validate transactions are essentially high computational demands. One important feature of blockchain technology is smart contracts. Smart contracts are one of the key and most important components in blockchain technology, as they help reduce errors and speed up processes throughout the supply chain. One of the important roles of blockchain technology in the banking system is smart contracts. The following figure presents one of the possibilities of applying smart contracts in the supply chain, where they would ensure the automation of the entire process and cooperation between stakeholders [13].

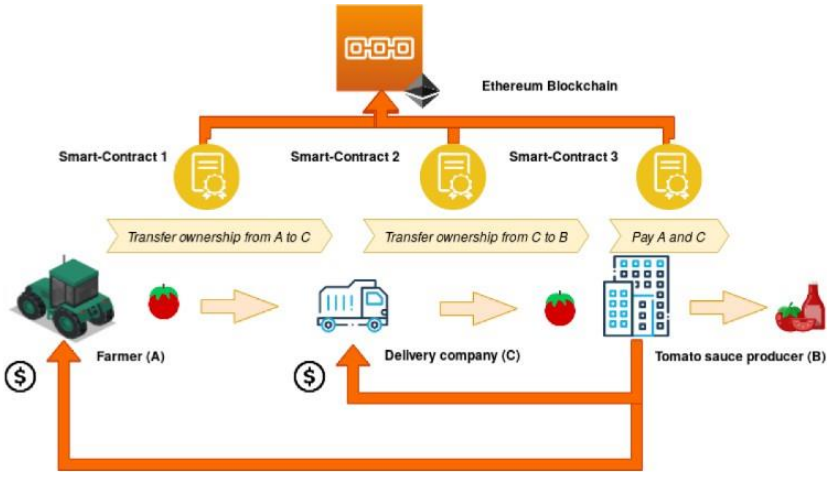


Fig. 2: Use of smart contracts for supply chain tracking[13]

This program enables the transfer of money, real estate, shares, etc. directly without intermediaries, between persons who do not know each other, in a completely safe and verifiable way. The entire system is designed around these standalone digital contracts that are automatically executed when certain conditions are met. However, it is obvious that the effective application of blockchain technology can significantly reduce the operating costs of banks, and in addition, international bank transfers, which usually take a few days, can be processed by blockchain in a few minutes [11]. With all this in mind, the potential applications of this new technology can be found in different sectors of social activities, i.e. in different sectors of social activities, i.e. in different types of activities and ownership structures.

IV. RESULT

The results of expert forecasts show that in the coming years, more and more small and medium-sized enterprises and business systems will implement blockchain technology in their business processes with the aim of optimizing their business. This is followed by data from Deloitte (2020), which highlights that more than 50% of executives in different countries stated that they ranked blockchain technology among the top five priorities in small and medium-sized enterprises and the business systems in which they work. In this context, authors Kandaswamy and Furlonger (2019) optimistically predict that investments in blockchain technology will reach more than $3.1 billion by 2030 [15]. According to the research, the widespread availability and growing adoption of blockchain and distributed ledger technology offer a potential solution to problems such as international payments, data management and protection, supply chain management, and the like. Today, small and medium-sized enterprises account for about 90% of all businesses and 50% of jobs worldwide. In emerging economies, small and medium-sized enterprises contribute up to 40% of national income. Their role in economic growth is crucial [23].

V. DISCUSSION

Blockchain technology was first developed as a technology that enabled cryptocurrency transactions. Blockchain is a technology that essentially changes the way we store and transmit data, without intermediaries and with maximum security. However, this technology has rapidly evolved into a large number of applications: in banking, for government purposes, accounting, for financial markets, for supply chains, voting systems, various government services, and more. Blockchain technology also has the potential to improve identity verification systems in the financial sector. Also, much of the research is focused on the application of blockchain technology in the financial sector, so we are likely to come across a smaller number of sources dealing with the application of this technology in other industries and service sectors. Blockchain is a type of data base that is based on a mathematical algorithm and is used to distribute

cryptographic information. In addition, energy consumption is another significant challenge. PoW-related processes, which require extensive computing power, consume energy intensively, raising environmental concerns due to environmental impact and high energy costs [1]. The President of the Serbian Blockchain Initiative, Ms. Emilija Vukovic, believes that Serbia is extremely competitive, if we take into account that there are companies in Serbia that have achieved global success and that have had their development teams in Serbia, in this context she points out that there are over 50 companies that are in some way engaged in blockchain in Serbia. That companies from Serbia have received large investments, and that experts from Serbia are still recognized throughout the world as excellent experts who achieve fantastic results, and that there is a cumulative extensive experience of working on numerous blockchain projects, and that he believes that in the future more countries from the world will turn to Serbia for solutions that require the application of effective blockchain technology.

VI. CONCLUSION

Today, many Companies are using blockchain to create new financial products and services, which offer better service and lower costs for end users. The benefits of blockchain technology in these industries include increased efficiency, cost reduction, improved security, and greater transparency. Blockchain technology is bringing significant changes to the financial sector, enabling the transparency, security, and efficiency of transactions to be improved Given that Blockchain technology supports the concept of Decentralized Finance (DeFi). Blockchain technology definitely provides its users with this is to put control back in the hands of the individuals who use it, and then (my favorite) the elimination of the institution of trust (elimination of intermediation). DeFi uses blockchain technology to provide traditional Financial Services, such as loans, savings and insurance, without intermediaries. This opens up opportunities for greater financial inclusion and increases market openness. This allows for automation and efficiency in many financial transactions. One of the main benefits of blockchain is its ability to provide immutable records of all transactions. This level of transparency helps to reduce fraud and increase trust among users. By using blockchain for digital identity, banks and other financial institutions can verify the identity of users faster and more securely. Given that blockchain-based applications are large consumers of electricity, we assume that electricity consumption will double in the next five years. The electricity consumption used for blockchain technology will increase in the coming years. We can also assume that the use of this technology will change in the future and that new solutions will emerge that are not covered by this analysis. Bitcoin mining is quite expensive and consumes significant amounts of energy at the same time. Cryptocurrencies also cause problems with CO2 emissions. Although blockchain is a relatively new technology, companies in Serbia are increasingly applying it in their work.

REFERENCES

[1] Antonopoulos, A. (2014). Mastering Bitcoin: unlocking digital cryptocurrencies. O'Reilly Media, Inc.

[2] Antonucci, F., Figorilli, S., Costa, C., Pallottino, F., Raso, L., & Menesatti, P. (2019). A review on blockchain applications in the agri-food sector. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(14), 6129–6138.

[3] Bayon, P, S. (2019). Key Legal Issues Surrounding Smart Contract Applications, *SSRN Electronic Journal 9(1*), pp. 63-91.

[4] Beck, R., C. Müller-Bloch, and J. L. King. 2018. Governance in the Blockchain Economy: A Framework and Research Agenda. Journal of the Association for Information Systems 19 (10):1020-1034.

[5] Cocking, S. (2018). Blockchain innovation remains strong in 2018. Retrieved on June 28, 2024, from *Irish Tech News*: https://irishtechnews.ie/blockchain-innovation-going-strong-in-2018/

[6] Chen W, Xu Z, Shi S, Zhao Y, Zhao J. (2018). A Survey of Blockchain Applications in Different Domains, *International Conference on Blockchain Technology and Applications (ICBTA) 2018*, December 10–12, 2018, Xi'an, China.

[7] Christidis, K., & Devetsikiotis, M. (2016). Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things. IEEE Access, 4, 2292–2303. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2566339

[8] Denić, N., Stojanović,K., Stojanović,J., Milić,M., and Mihajlović, S. (2024). "Artificial intelligence and implications for business". *5th International Conference on Innovative Academic Studies ICIAS 2024.* Octber 10-11, 2024 : Konya, Turkey, pp38-42,edited by All Sciences Academy. ISBN: 978-625-6314-56-6 , https://www.icias.net/

[9] Denić ,N., Milić ,M., Stojanović ,K., Stojanović, J., and Mihajlović,S. (2024). "Artificial intelligence and IT project management" *5th International Conference on Innovative Academic Studies ICIAS 2024.* Octber 10-11, 2024 : Konya, Turkey, pp 43-47 ,edited by All Sciences Academy. ISBN: 978-625-6314-56-6, https://www.icias.net/

[10] Denić, N., Todorov,M., Stojanović ,J., Stojanović, K., Tomić,M., and Mihajlović S. "Application of Artificial Intelligence through Neural Networks and Tensorflows in Business" Proceeding Book of 4th International Conference on Contemporary Academic Research ICCAR 2025, https://as-proceeding.com/index.php/iccar/home ,edited by All Sciences Academy. ISBN: 978-625-5954-79-4

[11] Denić,N., Stojanović,K., Stojanović,J., Milić,M., and Mihajlović, S. (2024). "Business decision making and intelligent systems". *3rd International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2024*. September 11-12, 2024 in Konya, Turke, Proceeding Book of 3rd International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2024, pp: 43-50. https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

[12] Get Smarter. (2023). Fintech and blockchain. Retrieved on December 22, 2024, from *Get Smarter*: https://www.getsmarter.com/subject-matter/fintech-and-blockchain

[13] Grecuccio, J., Giusto, E., Fiori, F., & Rebaudengo, M. (2020). Combining blockchain and IoT: Food- chain traceability and beyond. *Energies (Basel), 13*(15).

[14] Hackius, N., Petersen, M. (2017). Blockchain in logistics and supply chain: trick or treat?" In *Digitalization in Supply Chain Management and Logistics: Smart and Digital Solutions for an Industry 4.0 Environment*. Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL), Vol. 23, p.. 3-18, Berlin: e-pub. Gmbh.

[15] Kandaswamy, R., & Furlonger, D. (2018). Blockchain-based transformation: A Gartner trend insight report. Gartner. Retrieved from https://www.gartner.com/doc/3869696?refval=&pcp=mpe#a-1126710717 Volume 45 10.17705/1CAIS.04525 Paper 25

[16] Koksal, I. (2019). Advantages of applying blockchain technology in any industry.Retrieved on September 22, 2024 from Forbes: https://www.forbes.com/sites/ilkerkoksal/2019/10/23/the-benefits-of-applying-blockchain-technology-in-any-industry/?sh=1f3f8d9149a5

[17] Kriptomat. (2023). Blockchain Center. Retrieved on March 30, 2023 from Kriptomat: https://kriptomat.io/sl/blockchain/

[18] Levy, W. S., Stumpf-Wollersheim, J., & Welpe, I. M. (July 30, 2018). Enabling the disruption of education through blockchain technology in education? Retrieved on September 24, 2024 from SSRN: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3210487

[19] Smentyna., N et al. Entrepreneurship and risks: blockchain-based management, International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, Volume-8 Issue-8, June, 2019, pp. 3176-3179

[20] Sunny, J., Undralla, N., & Madhusudanan Pillai, V. (2020). Supply chain transparency through blockchain-based traceability: An overview with demonstration. *Computers & Industrial Engineering*, *150*.

[21] Tapscott D., Tapscott A. (2016). Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin is Changing Money, Business, and the World. *Penguin Random House. 348.*

[22] Weking, J., Hein, A., Hermes, S., & Mandalenakis, M. (2020). The impact of blockchain technology on business models – taxonomy and archetypal patterns. Retrieved September 21, 2024 from *ResearchGate*: https://www.researchgate.net/publication/338118210_The_impact_of_blockchain_technology_on_business_models_-_a_taxonomy_and_archetypal_patterns

[23] World Economic Forum. (2022). Building a Blockchain System. Retrieved November 4, 2024 from *the World Economic Forum*: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Building-Blockchains.pdf

[24] Zheng, Z, Xie, S., Dai, H.N., Chen, X., Wang, H. (2017). An overview of Blockchain technology: architecture, consensus, and future Trends. In: 978-1-5386-1996-4/17 6th International Congress on Big Data PP557-564 IEEE.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Hibrit Jüt/Cam Fiber Takviyeli Polimer Kompozitlerin Düzlem İçi ve Düzlem Dışı Mekanik Özelliklerine Dizilim ve Katman Sayısının Etkisi

Adem KARA[1] ve Serkan BATI[2]*

[1]*Makine Mühendisliği Anabilim Dalı /Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Batman Üniversitesi, Türkiye*
[2]*Makine Mühendisliği/ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Batman Üniversitesi, Türkiye*

[*]*(serkan.bati4040@gmail.com)*

Özet **–** Bu çalışmada jüt (doğal) ve cam (sentetik) fiber takviyeli epoksi matrisli kompozitlerin farklı dizilimlerde bir araya getirilerek, farklı mekanik gereksinimlere nasıl tepki verdiklerini ve en uyumlu dizilimin ortaya çıkarılmasını amaçlamaktadır. Bu bağlamda 8 farklı hibrit kompozit plaka üretilmiş ve özellikle düzlem dışı kuvvetlere karşı dayanımları test edilmiştir. Düzlem dışı dayanımların tespiti için kompozitlere eğilme ve tabakalar arası kayma mukavemeti testleri uygulanmış olup ayrıca düzlem içi mukavemetin belirlenebilmesi için çekme testi uygulanmıştır.
Test sonuçları dizilim sırasının düzlem içi çekme mukavemeti üzerinde gözle görülür bir etkisinin olmadığını göstermiştir. Düzlem dışı mekanik özelliklerin ise fiber dizilimiyle doğrudan ilişkili olduğunu ve özellikle yüksek mukavemetli sentetik cam fiberin daha dış katmanlarda yer aldığı durumlarda düzlem dışı yüklere karşı daha yüksek direnç sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler – hibrit kompozit, dizilim, doğal fiber, mekanik özellikler, sentetik fiber

I. GİRİŞ

Polimerik malzemeler geleneksel malzemelere kıyasla daha az ağırlığa ve maliyete sahip olmalarından dolayı uzun bir süredir birçok alanda uygulanabilir bir malzeme olarak öne çıkmaktadırlar [1]. Fiber takviyeli polimer matrisli kompozitler çelik gibi geleneksel malzemelere kıyasla daha hafiftirler ve ağırlıkça dayanımları yüksektir. Askeri, denizcilik, havacılık ve yapı sektöründe yaygın olarak kullanılan bu kompozitler hasar gördüklerinde onarılmaları zor malzemelerdir [2]. Kompozit endüstrisinde özellikle karbon, aramid ve cam gibi sentetik lifler üstün mekanik ve fiziksel özelliklerinden dolayı takviye malzemesi olarak öne çıkmaktadırlar. Ancak bu malzemeler sentetik yapılarından dolayı doğada bozunmaları uzun yıllar sürebilmektedir. Bu bağlamda doğada biyolojik olarak parçalanabilen, bolca bulunan, düşük yoğunluklu, ekonomik, toksik olmayan ve ekipman takımlarına aşındırıcı olmayan doğal fiberler artan kirlilik sorunlarına çözüm olarak polimer endüstrisinde öne çıkmaktadırlar. Jüt, kenaf ve sisal gibi doğal lifler, sentetik liflere bir alternatif sunabilmekte ve rekabetçi mekanik özelliklerle performans gösterebilmektedirler. Bu fiberler, yapısal uygulamalar için uygun olan önemli bir sertliğe ve özgül mukavemete sahiptir. Ancak doğal fiberler, sentetik fiberlere kıyasla daha düşük mekanik özelliklere ve hidrofili (suyu çekme) gibi bazı dezavantajlara sahiptirler. Bu nedenle bu malzemelerin doğrudan tek takviye olarak kompozitler içerisinde kullanılmasının yerine sentetik fiberlerle birlikte hibritlenerek kullanılması daha doğru bir yaklaşım olduğu araştırmacılar tarafından düşünülmektedir.

Hibritleme işlemi kompozitlerin özelliklerini belirli gereksinimlere uygun hale getirmek ve özellikler arasında bir denge sağlamak için yapılır. Hibritleşmenin amacı, bileşenlerinin avantajlarını koruyacak ancak dezavantajlarını korumayacak yeni bir malzeme oluşturmaktır. Bu nedenle, hibrit yapılar mühendislerin ikili sistemlerde elde edilemeyen belirli uygulamalar için özel özelliklere sahip yeni malzemeler tasarlamalarına olanak tanır [3]. Doğal liflerden oluşan hibrit laminat malzemeler, özelliklerindeki gelişmeler nedeniyle inşaat malzemeleri, lokomotiflerde bölme duvarları, otomotiv

parçaları, paketleme malzemeleri ve spor malzemeleri üretimi gibi birçok uygulamada artan bir talep görmektedir [4]. Ancak hibritleme işlemi tek başına yeterli olmayıp ayrıca bunların doğru bir şekilde dizilmesi ve doğru oranlarda üretilmesi endüstride kullanılabilirliğini de artırmaktadır. Hibrit kompozitlerin özelliklerini kontrol eden parametreler arasında lif içeriği, lif uzunluğu, oryantasyonu, lif-matris ara yüzü, katman sayısı, bileşen liflerin katmanlama düzeni, katman kalınlığı ve bireysel liflerin kırılma gerinimi yer alır [5-6].

Jüt ve kenaf, yıllık bitkilerden elde edilen ve polimer kompozit uygulamalarında takviye malzemesi olarak kullanılma potansiyeline sahip kabuk grubundan doğal liflerdir. Altın lif olarak da adlandırılan jüt fiber *Corchorus* cinsine ait bitkilerden elde edilir ve yaklaşık 100 tür içerir. Asya'dan gelen beyaz *Corchorus capsularis* (beyaz jüt) ve Afrika'dan gelen *Corchorus olitorius* (Tossa jüt) olmak üzere iki otsu yıllık bitkiden elde edilir. Pamuktan sonra dünyada en çok yetiştirilen doğal lif konumundadır ve ekildikten sonra 4-6 ay içerisinde 2,5-3 metre uzunluğa erişebilmektedir [7]. Bangladeş, Hindistan, Endonezya, Çin, Tayland ve Brezilya jüt bitkisinin büyümesi için en uygun koşulları sağlar [8-9]. Genellikle çuval, çuval bezi, halı, ip, halat ve sicim yapımında kullanılan jüt lifi biyobozunur, çevre dostu, geri dönüştürülebilir ve iyi bir ısı ve elektrik yalıtkanıdır [7]. Jüt lifi, pamuk ve çoğu gıda ürününün yetiştirilemediği nehir düzlüklerine, çöküntülere ve tuzlu alkali topraklara ekilebilir ve jütün büyümesi sırasında hiçbir pestisit veya gübreye ihtiyaç duyulmaz; bu nedenle jüt bir tür 'saf yeşil' tarımsal üründür [8]. Jüt lifi, otomotiv, tüketici ürünleri, ambalaj endüstrileri, düşük maliyetli konutlar ve diğer inşaat yapılarında kullanılır [10-11].

Doğal fiberlerin sentetik fiberlerle hibritleştirilmesi daha önce birçok çalışmaya konu olmuş ve bu konuda araştırmalar devam etmektedir. Tabi bu konuda yapılan çalışmalarda kesin bir kanıya varmak doğru olamayabilir. Örneğin; Assari ve ark [12] keten ve karbon fiber ile ürettikleri hibrit kompozitlerin sönümleme performanslarının ketenin dış katmanda bulunduğu durumda daha iyi olduğunu tespit ederlerken eğilme modülünün ise düştüğünü gözlemişlerdir. Bir başka çalışmada Ahmed ve Vijayarangan [13] jüt ve cam fiber takviyeli kompozitlerin eğilme mukavemetlerinin dış katmanda cam olan kompozitlerde daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Ramesh [14], sisal ve jüt doğal liflerinin cam elyaf ile hibritleşerek oluşturulan kompozit malzemelerin mekanik özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen numunelere çekme ve eğilme testleri uygulanmıştır. Yapılan testlerin sonucunda sisal-cam elyaf numunelerinin çekme özelliklerinin jüt-cam elyaf numunelerinin çekme özelliklerinden daha iyi mukavemet gösterdiği, ancak jüt-cam elyaf numunelerinin eğme özelliklerinin ise sisal-cam elyaf numunelerinin eğme özelliklerinden daha iyi değerler verdiği belirtilmiştir. Jusoh ve ark. [15] yaptıkları çalışmada, bazalt, jüt ve keten liflerinin E-cam takviyeli epoksi ile oluşturduğu hibrit kompozitlerde tabakalama sıralaması ve hibritleşmenin çekme ve eğilme özellikleri üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Çekme mukavemeti üzerinde istiflemenin etkisinin sınırlı olduğunu ancak eğilme özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini vurgulamışlardır. Benzer şekilde, Sanjay ve Yogesha [7], jüt, kenaf ve E-cam lifi takviyelerinden yapılmış hibrit laminaların çeşitli mekanik özellikleri üzerine katman diziliminin etkileriyle ilgili deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Cam/kenaf takviyesi katmanlarının üstte ya da dışta ve jüt takviyesi katmanlarının çekirdek ya da en iç katmanda kullanıldığı hibrit laminaların, diğer hibrit laminalara göre optimum performans sergilediğini tespit etmişlerdir.

Literatür, hibrit kompozitlerin performansını optimize etmede tabakalama sırasının, malzeme seçiminin ve lif-matris etkileşimlerinin kritik olduğunu göstermektedir. Bu çalışmalar, doğal ve sentetik liflerin avantajlarını birleştirerek, çevresel ve ekonomik faydalar sağlayan, hafif ve yüksek performanslı kompozitlerin geliştirilmesin amaçlamaktadır. Özellikle, enerji sönümleme ve hafiflik gibi özelliklerin artırılması, hibrit kompozitlerin taşıma, havacılık ve otomotiv gibi sektörlerde kullanımını genişletmektedir. Ayrıca, doğal liflerin ekolojik avantajları, bu malzemelerin sürdürülebilir tasarım hedefleri için uygun olduğunu vurgulamaktadır. Bu çalışma, hibrit kompozitlerin daha geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılması için malzeme seçimi, lif yerleşimi ve tasarımın optimize edilmesi gerektiğini ortaya koymakta ve literatüre katkı sunmaktadır.

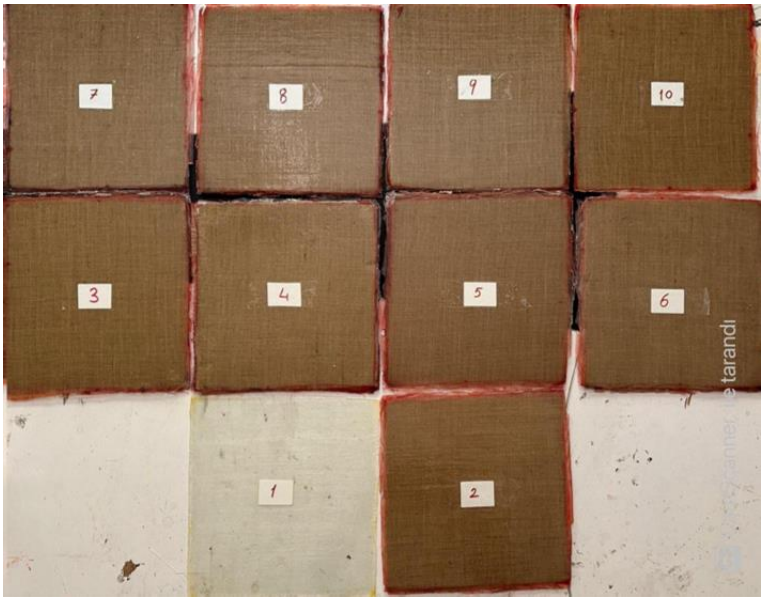
II. MATERYAL VE YÖNTEM

Tezde kullanılan cam fiber 100 gr/m^2 alansal yoğunluğa sahip olup plain (kazayağı) tipi örgüye sahiptir. Ticari olarak temin edilen yine plain örgü tipindeki jüt fiberin alansal yoğunluğu 0,0001g hassasiyetine sahip terazi yardımıyla hesaplanmış ve 236 gr/m^2 olarak belirlenmiştir. ARC marin firmasına ait olan ARC 152 epoksi reçine matris malzemesi olarak seçilmiş olup, reçine ve sertleştirici karışım oranı üreticinin tavsiye ettiği üzere 4:1 oranında hazırlanmıştır. Üretim öncesi kumaşlar 300 mm × 300 mm ebatlarında kesilmiştir. Daha sonrasında kompozitler elle yatırma tekniği ile tabloda gösterilen dizilimlere uygun olacak şekilde 12 katmanlı olarak üretilmiştir. Birinci grup numunelerde (3-6 arası dizilimler) 6 cam ve 6 jüt fiber kullanılırken, ikinci grupta (7-10 arası dizilimler) 8 cam ve 4 jüt fiber kullanılmıştır. Dizilimler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Birinci ve ikinci grup dizilimlerin gösterimi

		Grup 1				**Grup 2**			
		6C-6J Kombinasyonu				**8C-4J Kombinasyonu**			
1.Dizilim	**2.Dizilim**	**3.Dizilim**	**4.Dizilim**	**5.Dizilim**	**6.Dizilim**	**7.Dizilim**	**8.Dizilim**	**9.Dizilim**	**10.Dizilim**
Cam	Jüt	Cam	Cam	Cam	Cam	Cam	Cam	Cam	Cam
Cam	Jüt	Jüt	Jüt	Jüt	Jüt	Cam	Jüt	Cam	Jüt
Cam	Jüt	Cam	Jüt	Jüt	Cam	Cam	Cam	Jüt	Cam
Cam	Jüt	Jüt	Cam	Cam	Jüt	Jüt	Cam	Cam	Cam
Cam	Jüt	Cam	Cam	Jüt	Jüt	Cam	Cam	Jüt	Jüt
Cam	Jüt	Jüt	Jüt	Cam	Cam	Jüt	Jüt	Cam	Cam
Cam	Jüt	Jüt	Jüt	Cam	Cam	Jüt	Jüt	Cam	Cam
Cam	Jüt	Cam	Cam	Jüt	Jüt	Cam	Cam	Jüt	Jüt
Cam	Jüt	Jüt	Cam	Cam	Jüt	Jüt	Cam	Cam	Cam
Cam	Jüt	Cam	Jüt	Jüt	Cam	Cam	Cam	Jüt	Cam
Cam	Jüt	Jüt	Jüt	Jüt	Jüt	Cam	Jüt	Cam	Jüt
Cam	Jüt	Cam	Cam	Cam	Cam	Cam	Cam	Cam	Cam

Kompozitler Şekil 1'de görülmekte olup 1 ve 2 nolu dizilimler sırasıyla 12 cam ve 12 jüt fiber tabakasından meydana gelmiş olup cam ve jüt sade kompozitlerin özelliklerinin belirlenebilmesi için üretilmişlerdir.



Şekil 1. Cam ve jüt hibrit kompozitler

Üretimi yapılan kompozit plakalar mekanik testlerin yapılabilmesi için CNC router cihazı ile çekme testi, eğme testi ve kısa kiriş kayma (SBS) testleri standartlarına uygun bir şekilde kesilmiştir. Kesim öncesi, kesim işlemi ve hazırlanan numuneler Şekil 2'de görülmektedir.



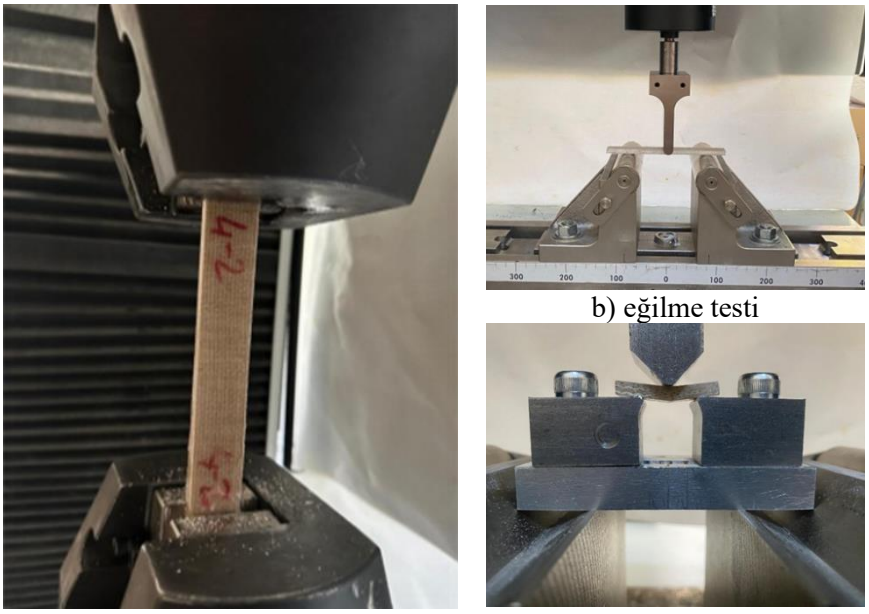
Şekil 2. Kompozit tabakaların kesme işleminin yapıldığı CNC Router cihazı

Testler Shimadzu marka üniversal test cihazında yapılmıştır. Çekme testleri için 250 kN yük hücresi kullanılırken SBS ve eğilme testlerinde hassasiyetin öneminden dolayı 5 kN yük hücresi kullanılmıştır. Çekme testi her ne kadar malzemelerin mekanik özelliklerini değerlendirmek için yaygın kullanılan bir test olsa da özellikle yükleme yönünün kritik olduğu durumlarda genel performansı değerlendirmek için yetersizdir. Özellikle dizilime daha duyarlı olduğu için eğilme testinin yapılması önemlidir. Ayrıca fiber-matris arası etkileşimin ya da başka bir deyişle fiber-matris arasındaki yapışma dayanımın ölçülmesi önemlidir. Bu test daha çok matrisin mukavemetiyle alakalı olsa da yapılan çalışmada farklı türdeki fiberler ile matris arasındaki etkileşimden ya da uyumdan etkilenebilir ve bu durum testi gerekli kılmıştır. SBS testi sonucunda tabakalar arası kayma mukavemetinin (ILSS) tespiti için denklem 1'deki formül kullanılmıştır.

$$ILSS = 0,75\frac{P_m}{tW} \tag{1}$$

Burada;

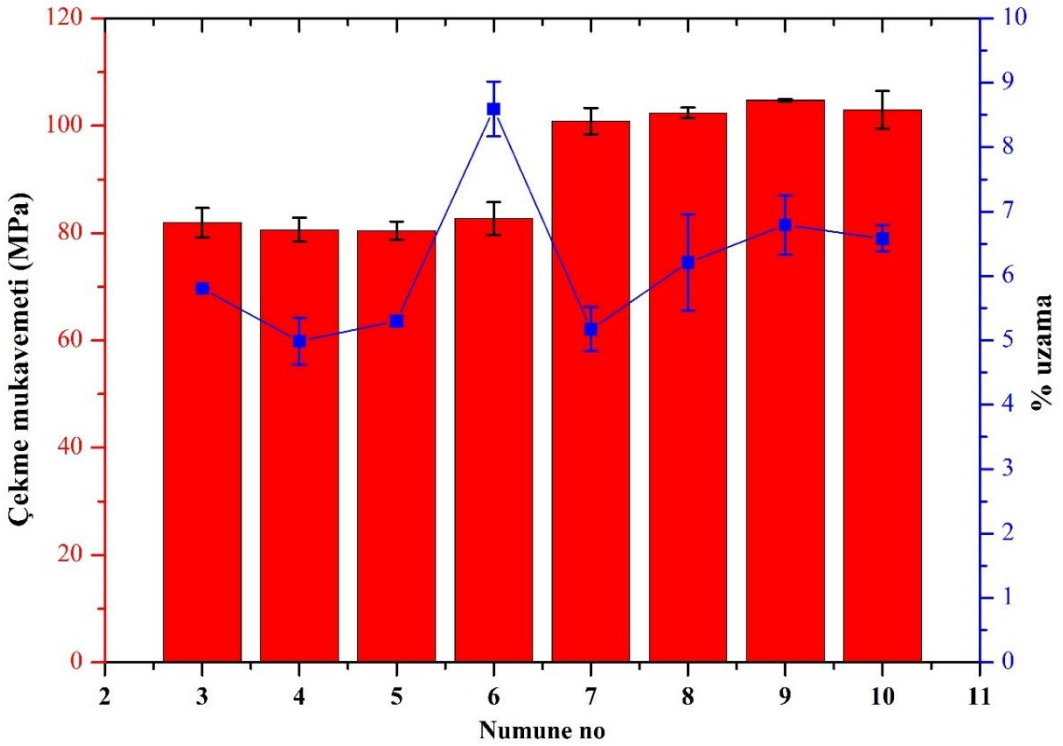
$ILSS$: Tabakalar arası kayma mukavemeti (MPa),
P_m : Elde edilen en yüksek kuvvet (N),
t : Numune kalınlığı (mm) ve
W : Numune genişliğidir (mm).



Şekil 3. Hibrit kompozitlere yapılan mekanik testlere ait görüntüler

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. *Çekme testi sonuçları*



Şekil 4. Hibrit kompozitlerin ortalama çekme mukavemeti ve ortalama uzama değerleri

Hibrit kompozitler değerlendirilirken 6 katman cam fiber ve 6 katman jüt fibere sahip olan 3, 4, 5 ve 6 numaralı numeneler kendi arasında değerlendirilirken, 8 katman cam ve 4 katman jüt fiberden oluşan 7, 8, 9 ve 10 numaralı numuneler yine kendi aralarında değerlendirilecektir. Öncelikle referans olması için sadece cam ve sadece jüt fiberden üretilen 12 katmanlı kompozitlerin çekme mukavemetleri belirlenmiş ve sırasıyla 416,76 ± 3,46 MPa ve 50,77 ± 1,02 MPa olarak ölçülmüştür. Aynı şekilde % uzama değerleri de

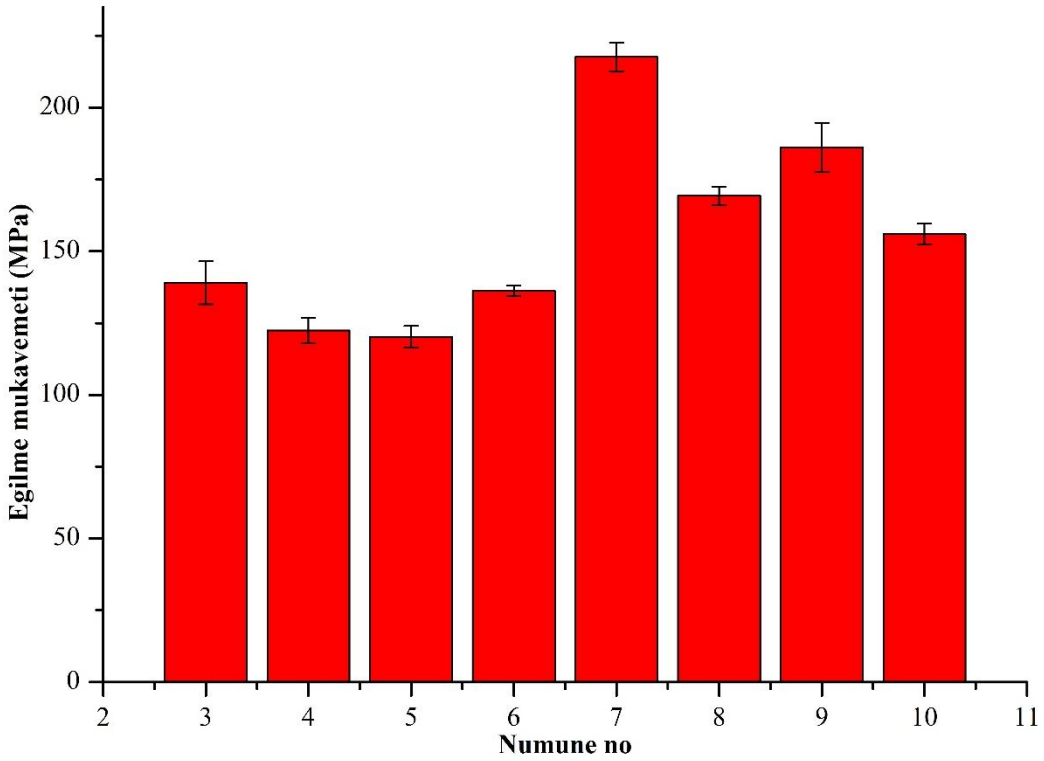
cam ve jüt kompozitler için sırasıyla %7,91 ± 0,25 ve %2,90 ± 0,22 şeklinde olmuştur. Hibrit kompozitlerin ortalama çekme mukavemeti ve %uzama değerleri Şekil 4'te verilmiştir.

Şekil 4'teki değerler incelendiğinde 3, 4, 5 ve 6 numaralı numunelerin çekme mukavemetlerinde belirgin bir değişim olmadığı görülmüştür. 80,46 ve 82,72 MPa arasında değişen çekme mukavemetine sahip olan hibrit kompozitlerde testin fiber doğrultusunda olması ve aynı sayıda jüt ve cam fibere sahip olmaları nedeniyle belirgin bir değişim olmadığı görülmüştür. Aynı şekilde 7, 8, 9 ve 10 numaralı numunelerde de 100,86 ile 104,75 MPa arasında değişen çekme mukavemetinde belirgin bir değişim söz konusu değildir. Bu bulgular, literatürde yer alan bazı çalışmalarla da örtüşmektedir [16-17].

Çekme mukavemetinden farklı olarak % uzama değerlerinde belirgin farklar gözlemlenirken bu durum kompozitlerin uzama değerleri üzerinde dizilim sırasının etkisi olduğunu söylenebilir. Farklı dizilimler fiberler arası yapışma (adherans) seviyesini değiştirmiş ve dolayısıyla yük transferini ve deformasyon karakteristiğini değiştirmiş olabilir. Eğer ara yüzey zayıfsa yük aktarımı bozulabilir ve bu da bazı katmanları adeta boştaymış gibi davranmasına sebep olabilir. Benzer şekilde katman sayısının da çekme mukavemeti üzerinde etkili olduğu görülmüştür 6 cam ve 6 jüt fiberden oluşan hibrit kompozitlerin çekme mukavemeti 80 MPa civarındayken 8 cam ve 4 jütten oluşan kompozitlerde bu değer 100 MPa civarında olmuştur. Cam fiberlerin daha yüksek mukavemete sahip olmasından dolayı daha çok cam fiber tabakasına sahip olan hibrit kompozitler daha yüksek çekme mukavemeti göstermişlerdir.

B. *Eğilme testi sonuçları*

Çekme testinde olduğu gibi eğilme testinde de sade jüt ve sade cam fiber kompozitlerin eğilme gerilmelerinin tespiti için 1 ve 2 diye adlandırılan bu numunelere eğilme testleri uygulanmış olup, eğilme gerilmeleri cam ve jüt için sırasıyla 550,21 ± 7,39 ve 77,13 ± 2,96 MPa şeklinde olmuştur. Hibrit kompozitlerin eğilme mukavemetleri ise Şekil 5'teki grafikte görülmektedir.



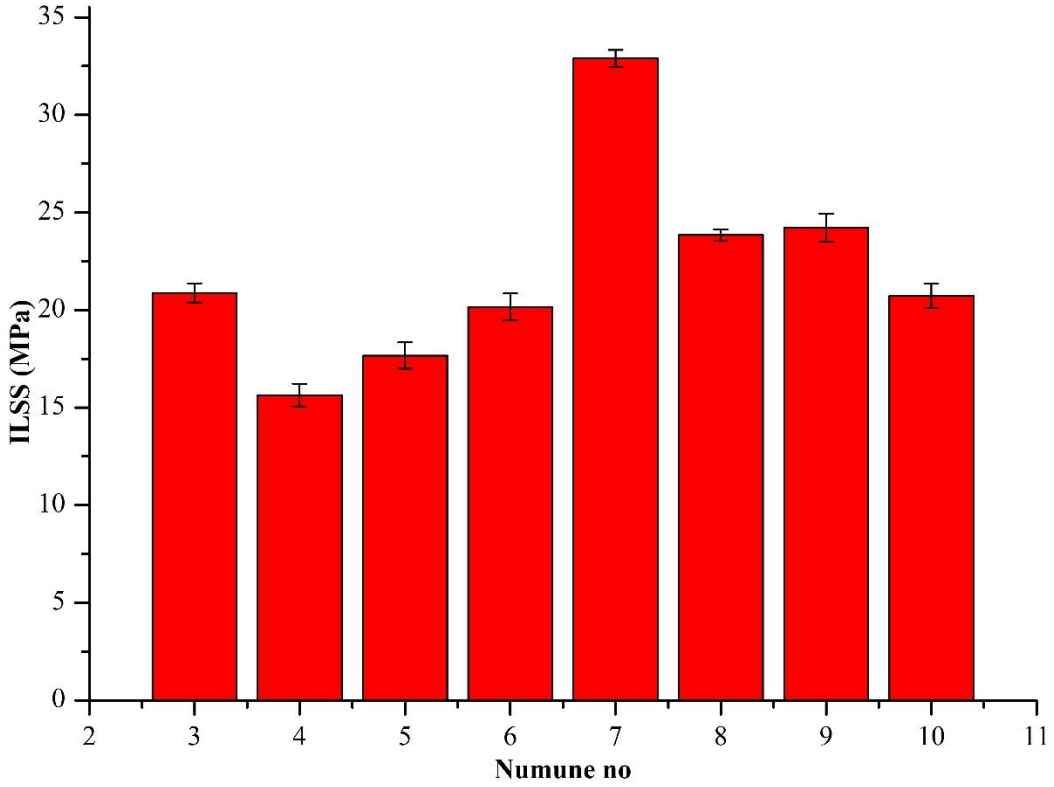
Şekil 5. Hibrit kompozitlere uygulanan eğilme testi sonuçları

Hibrit kompozitlerin eğilme gerilmeleri incelendiğinde 3, 4, 5 ve 6 numaralı numunelerde 3 ve 6 numaralı numunelerin gerilmeleri birbirine yakın ve sırasıyla 139,02 ± 7,51 ve 136,24 ± 1,83 MPa olarak belirlenirken, 4 ve 5 numaralı numunelerde bu değer sırasıyla 122,44 ± 4,40 ve 120,20 ± 3,78 MPa olarak ölçülmüştür. 3 ve 6 numaralı numunelerde cam katmanlarının daha dış kısımda bulunması eğilme

mukavemetlerini doğrudan etkilemiş ve daha yüksek gerilme değerleri sergilemelerine sebep olmuştur. Diğer grupta ise yani 7, 8, 9 ve 10 numaralı numunelerde cam fiber katmanının fazla olması sebebiyle eğilme gerilmesi çok değişken olmuş ve en dış katmanda 3 tane cam fiber bulunan 7 numaralı numunede en yüksek eğilme gerilmesi elde edilmiştir. Eğilme testinde en dış katmanda kalan katmanlar üstte basma gerilmesine maruz kalırlarken altta ise çekme gerilmesine maruz kalmalarından dolayı en büyük gerilmeler bu katmanlarda meydana gelmekte ve bu katmanların yüksek dirençli cam fiber katmanlarından oluşması eğilme gerilmesin yüksek olmasını sağlamaktadır. Bu bulgular, dış katmanda daha dirençli fiberlerin olduğu literatürde yer alan diğer çalışmalarla da örtüşmektedir [7,15, 17-18].

C. SBS testi sonuçları

Kısa kiriş kayma (SBS) testi esasında tabakalar arasında bulunan matris malzemesinin fiberlerle etkileşiminin mukavemetini belirleyen bir test olup tabakalar arası kayma mukavemeti (ILSS) olarak tanımlanmaktadır. Şekil 6'da hibrit kompozitlere ait ILSS değerleri görülmektedir.



Şekil 6. Hibrit kompozitlere ait tabakalar arası kayma gerilmesi değerleri

Şekil 6'daki veriler incelendiğinde doğrudan matris malzemesiyle alakalı olan bu testte beklenti fiber diziliminden bağımsız olarak benzer sonuçlar elde edilmesidir. Ancak sonuçlara bakıldığında 6 katman cam ve 6 katman jüt fiberden oluşan ve en dış katmanlarda bir cam bir jüt bulunan 3 ve 6 numaralı numunelerin matris ile daha uyumlu bir yapışma özelliği gösterdiğini görebiliriz. 8 cam 4 jüt katmanı bulunan 7, 8, 9 ve 10 numaralı numunelerde de 7 numaralı numuneyi göz ardı edersek daha dengeli bir dizilime sahip olan 9 numaralı numunede daha iyi bir ILSS değerine ulaşılmıştır. En iyi gerilme değeri 32,89 ± 0,44 MPa ile 7 numaralı numunede gerçekleşmiştir, en düşük gerilme ise 15,65 ± 0,58 MPa ile 4 numaralı numunede olmuştur. 3, 6, 8, 9 ve 10 numaralı numunelerin tabakalar arası kayma gerilmeleri 20,17 ile 24,23 MPa arasında değişmiştir. Kumar ve ark. [19] yaptıkları çalışmada kenaf ve karbon fiber takviyeli hibrit kompozitleri incelemişler ve merkezde karbon fiber katmanların olduğu kompozitlerde düzgün yüzeyleri ve yüksek rijitlikleri sayesinde etkili yük transferi sağladıklarını ve delaminasyon önlediklerini belirtmişlerdir. Ancak bizim çalışmamızda merkezde cam fiber katmanların olduğu 5, 6, 9 ve 10 numaralı numunelerde belirgin bir iyileşme görülmemiştir. Aksine, cam ve jüt fiber katmanlarının sıralı olarak (bir cam bir jüt şeklinde) yerleştirildiği hibrit kompozitlerde daha yüksek dayanım elde edilmiştir. Bu farklılık,

cam ve jüt gibi yapısal ve yüzey özellikleri bakımından oldukça farklı iki fiber türünün matrise olan bağlanma davranışlarının dizilimden önemli ölçüde etkilendiğini göstermektedir. Bu nedenle, tabakalar arası kayma mukavemeti yalnızca kullanılan fiber türlerine değil, bu fiberlerin katmanlar içindeki konumlarına ve sıralanma şekillerine de bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

IV. SONUÇLAR

Çalışmada, doğal bir fiber olan jüt ve sentetik bir fiber olan cam takviyeli epoksi kompozitlerin farklı dizilimlerde birleştirilerek farklı mekanik gereksinimlere nasıl tepki verdiklerini ve en uyumlu dizilimin ortaya çıkarılmasını amaçlanmıştır. Bu bağlamda 8 farklı hibrit kompozit plaka üretilmiş ve özellikle düzlem dışı kuvvetlere karşı dayanımları eğilme ve SBS testi ile analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular şu şekilde özetlenebilir:

Fiber diziliminin çekme mukavemeti ile doğrudan ilişkili olmadığı ancak hibrit kompozitlerdeki cam fiber oranı arttıkça çekme dayanımının yükseldiği görülmüştür. Ayrıca uzama değerlerinin dizilimden fazlaca etkili olduğu bunun da fiberler arası yapışma karakteristiğinden dolayı deformasyon davranışını değiştirdiği anlaşılmıştır.

Eğilme testlerinde dış katmanlarda daha yüksek dayanıma sahip olan cam fiberlerin konumlandırılmasının eğilme performansını artırdığını ortaya koymuştur. Bu durumun temel sebebi test esnasında maksimum gerilmelerin en dış katmanlarda oluşması olarak açıklanabilir.

Kısa kiriş kayma (SBS) testi sonuçları ise tabakalar arası kayma mukavemetinin sadece kullanılan fiber türüne değil aynı zamanda bu fiberlerin dizilimine ve katmanlar içindeki konumlarına da bağlı olduğunu göstermiştir. Özellikle cam ve jüt fiberlerin sıralı şekilde yer aldığı numunelerde daha dengeli ve yüksek ILSS değerleri elde edilmiştir. Bu durum, fiber-matris ara yüzey etkileşiminin, fiberlerin yerleşim düzeninden önemli ölçüde etkilendiğini ortaya koymuştur.

Genel olarak, farklı dizilimlere sahip hibrit kompozitlerde düzlem dışı yükler altındaki performansın, sadece kullanılan fiber türlerine değil, bu fiberlerin dağılımına ve yerleşim stratejisine bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan çalışmada en iyi mekanik özellikler 7 numaralı numuneden elde edilmiş olup, bu numune optimum dizilim olarak belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

[1] Sarikaya, E., Çallioğlu, H., & Demirel, H. (2019). Production of epoxy composites reinforced by different natural fibers and their mechanical properties. Composites Part B: Engineering, 167, 461-466.

[2] Premnath, K., Arunprasath, K., Sanjeevi, R., Elilvanan, R., & Ramesh, M. (2024). Natural/synthetic fiber reinforced hybrid composites on their mechanical behaviors–a review. Interactions, 245(1), 111.

[3] Onal, L., & Adanur, S. (2002). Effect of stacking sequence on the mechanical properties of glass–carbon hybrid composites before and after impact. Journal of industrial textiles, 31(4), 255-271.

[4] Sathyaseelan, P., Sellamuthu, P., & Palanimuthu, L. (2020). Influence of stacking sequence on mechanical properties of areca-kenaf fiber-reinforced polymer hybrid composite. J. Nat. Fibers, 19, 369-381.

[5] Shahzad, A. (2011). Impact and fatigue properties of hemp–glass fiber hybrid biocomposites. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 30(16), 1389-1398.

[6] Shahzad, A., & Nasir, S. U. (2017). Mechanical properties of natural fiber/synthetic fiber reinforced polymer hybrid composites. Green Biocomposites: Manufacturing and Properties, 355-396.

[7] Sanjay, M. R., & Yogesha, B. (2017). Studies on hybridization effect of jute/kenaf/E-glass woven fabric epoxy composites for potential applications: Effect of laminate stacking sequences. Journal of industrial textiles, 47(7), 1830-1848.

[8] Bavan, D. S., & Kumar, G. M. (2010). Potential use of natural fiber composite materials in India. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 29(24), 3600-3613.

[9] Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H.-P., & Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. Progress in polymer science, 37(11), 1552-1596.

[10] Sanjay, M., Arpitha, G., Naik, L. L., Gopalakrishna, K., & Yogesha, B. (2016). Applications of natural fibers and its composites: an overview. Natural resources, 7(3), 108-114.

[11] Satyanarayana, K. G., Arizaga, G. G., & Wypych, F. (2009). Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers—An overview. Progress in polymer science, 34(9), 982-1021.

[12] Assarar, M., Zouari, W., Sabhi, H., Ayad, R., & Berthelot, J.-M. (2015). Evaluation of the damping of hybrid carbon–flax reinforced composites. Composite Structures, 132, 148-154.

[13] Ahmed, K. S., & Vijayarangan, S. (2008). Tensile, flexural and interlaminar shear properties of woven jute and jute-glass fabric reinforced polyester composites. Journal of Materials Processing Technology, 207(1), 330-335.

[14] Ramesh, M., Palanikumar, K., & Reddy, K. H. (2013). Mechanical property evaluation of sisal–jute–glass fiber reinforced polyester composites. Composites Part B: Engineering, 48, 1-9.
[15] Jusoh, M., Santulli, C., Yazid, M., Hussein, N., & Ahmad, H. (2016). Effect of stacking sequence on the tensile and flexural properties of glass fibre epoxy composites hybridized with basalt, flax or jute fibres. Material Science and Engineering with Advanced Research, 1(4), 19-25.
[16] Sağir, H. O. (2016). Jüt ve keten takviyeli karma kompozitlerin mekanik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye.
[17] Selver, E., Ucar, N., & Gulmez, T. (2018). Effect of stacking sequence on tensile, flexural and thermomechanical properties of hybrid flax/glass and jute/glass thermoset composites. Journal of Industrial Textiles, 48(2), 494-520.
[18] Zhao, Y., Wang, F., Wang, J., Wang, B., Duan, Y., & Liang, J. (2024). Improving bending and interlayer properties of hybrid-fiber-reinforced composites through functionally graded hybrid strategy by 3D-printing manufacturing process. Journal of Manufacturing Processes, 127, 724-735.
[19] Kumar, V. M., Madhu, P., Sharath, B. N., Raharjo, R., & Gapsari, F. (2025). Enhancing Mechanical and Tribological Properties of Hybrid Kenaf–Carbon Fiber Vinyl Ester Composites for Advanced Applications. Journal of Materials Engineering and Performance, 1-14.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

A Survey on Evolution of Bill Splitting and Expense Management Applications

Bushra Shaikh*, Ayesha Shaikh[2], Neha Yadav[3], Arshi Khan[4]

[1]*Student- M.H. Saboo Siddik College of Engineering, University of Mumbai, India*

[2,3]*Student- M.H. Saboo Siddik College of Engineering, University of Mumbai,India*

[4]*Guide- M.H. Saboo Siddik College of Engineering, University of Mumbai, India*

*(*bushra.211738.cs@mhssce.ac.in) Email of the corresponding author*

***Abstract*—**The explosive expansion of mobile applications has led to increased efficiency in managing individual and group expenses. Even though there are many expense-sharing apps already existing, many of them are unreliable or poorly designed. This survey looks at the main features, methodologies used, and unique functionalities in existing Android-based expense-splitting applications. Applications such as Snap and Split, Separate Bills, and Android-Based Expense Split Applications are thoroughly examined to identify their advantages and disadvantages. Also, we evaluate user requirements, data consistency issues, and the integration of Optical Character Recognition (OCR) for automated bill input. Findings highlight the key features for effective expense management applications and point to potential areas for development, like predictive analytics or payment gateways.

Keywords—Bill splitting, expense management, mobile applications, OCR, payment gateways, data consistency, user privacy, predictive analytics.

I. INTRODUCTION

The huge spread of mobile applications has transformed everyday financial management, making tasks like expense tracking and bill splitting more accessible and efficient. Managing expenses in shared social or domestic contexts, often becomes challenging, especially when several individuals contribute to various shared costs like for travel, meals or residential utilities[1]. Time-consuming and error-prone methods like spreadsheets, notes, or ledgers were used traditionally to track expenses but the development of various mobile applications has alleviated these issues by simplifying the process of expense tracking, splitting, and management. By automating computations of shared expenses, keeping a track of them and integrating with payment gateways to speed up settlements, mobile-based bill-splitting applications seek to improve user experience.

These applications provide flexible splitting choices, including equal and customizable splits, in order to accommodate a variety of group situations. Also, features like Optical Character Recognition for automation of bill scanning, in-app chat, and real-time notifications help improve user convenience and lower the probability of errors. But even though these apps are convenient, they often have issues with security, data quality, and user experience, especially when they include sensitive financial data.

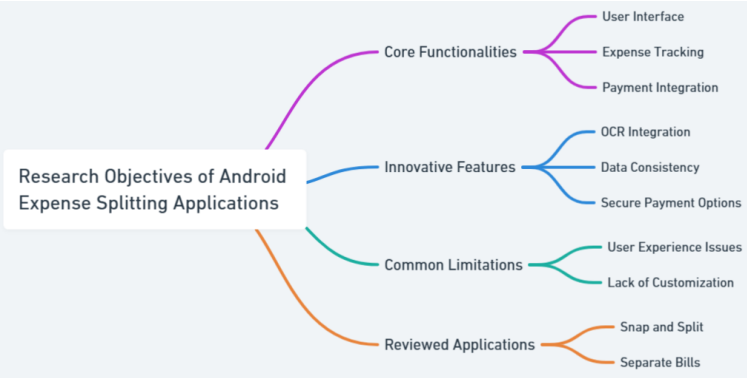


Fig. 1. Research Objectives of Android Expense Splitting Applications

Existing Android-based applications such as Snap and Split, Separate Bills, and Android-Based Expense Split Application are examined in this survey. Through an analysis of these applications, we find core functionalities and novel features while highlighting some of the common limitations.

Key insights clarify important details that improve user experience, like data consistency, integration of OCR, and safe payment methods. We also examine the challenges faced by these systems such as issues with data accuracy and privacy. Along with potential future development paths and emphasizing the need for a reliable, user-friendly, and secure solution for mobile expense management, we also highlight advanced functionalities and emerging market trends.

II. Background and Related Work

Mobile applications have transformed the way of handling shared expenses, especially in social and cooperative settings. Emerging of several noteworthy applications has helped with addressing distinct challenges in expense splitting:

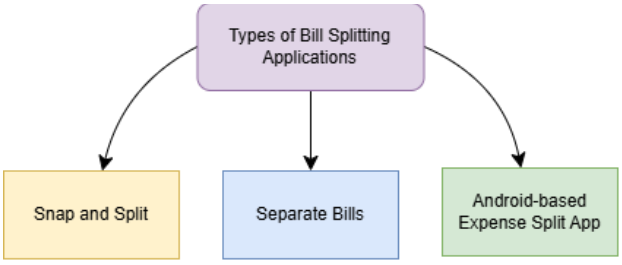


Fig. 2. Types of Bill Splitting Applications

A. *Snap and Split*

This program uses Tesseract, a type of optical character recognition (OCR) technology[6], to automate the bill recognition process. The program allows users to take pictures of their receipts and then analyzes them to extract pertinent spending data. It makes communication easier and increases user involvement by tagging peers for shared costs. Users may swiftly settle bills thanks to the real-time notifications and rapid payment features, which greatly lessen the hassle that comes with using more conventional expense tracking techniques[2]. Examples include Snap & Split applications.

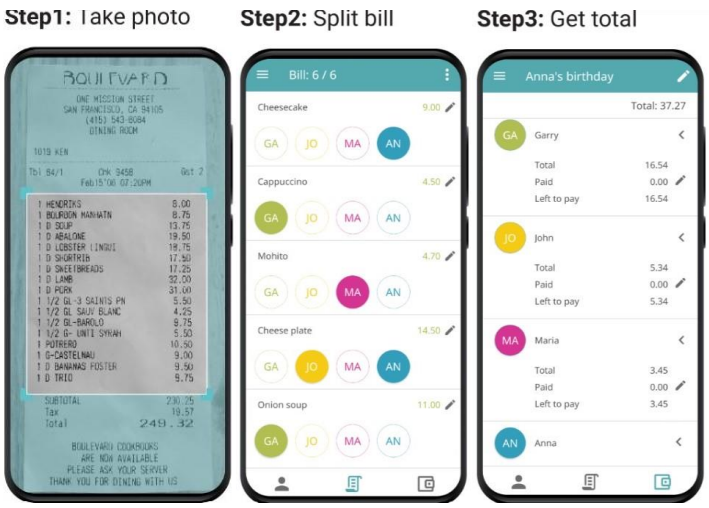


Fig. 3. Steps 1,2 & 3 of Snapping and Splitting Bill

B. *Separate Bills*

This app's design is user-centric since it views shared costs as "events." Users can start distinct chats for discussions and select various splitting arrangements (e.g., shares or percentage-based) because each event might contain a sequence of transactions. In addition to making managing several expenses easier, this model encourages user transparency by making sure that everyone is aware of their contributions. The unified view of outstanding bills facilitates efficient financial planning and budgeting. Splitwise, for instance.

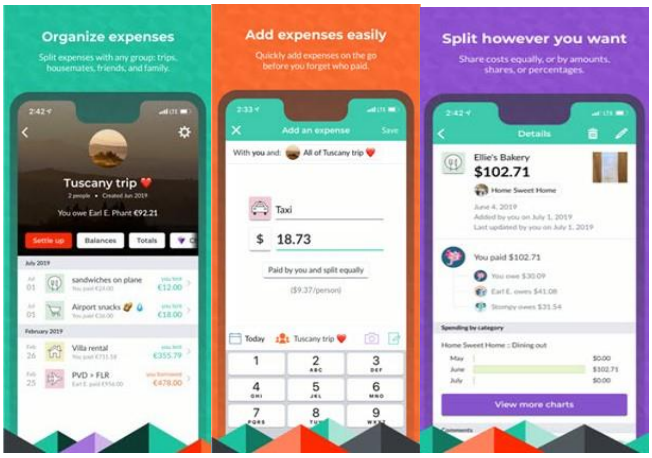


Fig. 4. Splitwise Group & Transaction Detail Screenshot

C. *Android-based Expense Split Application*

Putting an emphasis on core functions, this application lets users add, edit, and view group spending. It aims to replace conventional techniques like spreadsheets or handwritten notes by including notification systems for pending payments[8]. By automating these operations, it decreases human errors and boosts the accuracy of spending tracking. such as Paypal, Venmo, etc.

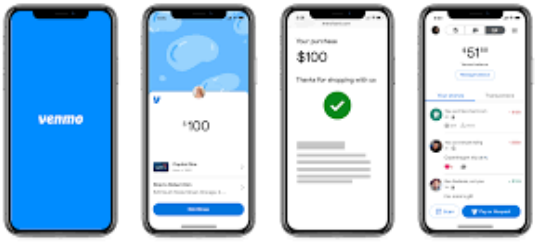


Fig. 5. Venmo Transaction Screenshot

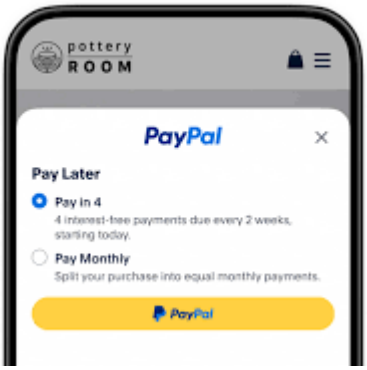


Fig. 6. Paypal Screenshot

III. Features and Method

This section examines the key characteristics and techniques that set apart distinct bill-splitting apps, highlighting their technological advancements and user-centered strategies.

A. OCR Integration

OCR Integration Optical Character Recognition (OCR) technology plays a crucial role in minimizing manual work and enhancing accuracy in bill-splitting applications[7]. Text from receipts is frequently extracted using sophisticated OCR technologies like Tesseract. The procedure entails:

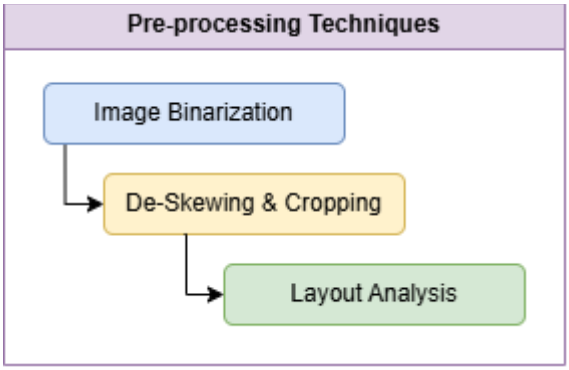


Fig. 7. Pre-processing Techniques in OCR

- Image Binarization: Simplifies text extraction by converting receipts into black-and-white formats.
- De-Skewing and Cropping: Fixes scanned picture alignment problems for more precise data capture.
- Layout Analysis: Separates the receipt's several components, including the totals, prices, and item names.

Post-OCR Processing: Maps extracted data to predetermined spending categories (e.g., food, utilities) and uses machine learning models to detect and fix recognition problems.

OCR is efficiently used by apps like Snap and Split to scan receipts, providing automated parsing and requiring less user input.

B. Event-based Expense Management

Structures for event-based management divided costs into distinct groups or "events." This method makes tracking across several activities or events easier and offers clarity. Important techniques consist of:

- Expense Categorization: Users can create events (e.g., "Dinner Out" or "Weekend Trip") and assign associated bills to them.
- Real-Time Collaboration: Members of an event can contribute expenses, view balances, and settle payments collectively.

- Visual Dashboards: Intuitive dashboards present summaries of individual and group-level expenses, enhancing transparency and ease of use.

This methodology is prevalent in Separate Bills, enabling users to manage expenses effectively for diverse group activities.

C. *Flexible Splitting Options*

Bill-splitting flexibility is crucial for user satisfaction. Modern applications provide several advanced options:

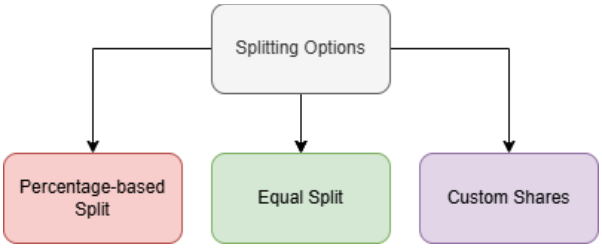


Fig. 8. Splitting options

- Equal Splits: Default functionality that divides expenses equally among group members.
- Percentage-Based Splits: Allows users to allocate costs proportionally based on individual contributions.
- Custom Shares: Enables users to manually specify how much each member owes, catering to scenarios where individuals share different portions of the expense.

By offering multiple splitting methods, applications like Separate Bills cater to a broad range of use cases.

Applications that provide end-to-end payment solutions for group spending management, such as Separate Bills, are excellent in this area.

D. *Real-Time Notifications and Communication*

Enhancing coordination among group members, real-time updates and communication tools are increasingly common:

- Push Notifications: Inform users about pending payments, shared updates, or settled expenses.
- In-App Chat: Allows users to discuss expenses directly within the app, facilitating coordination and reducing misunderstandings.
- Activity Tracking: Logs of past activities help members verify transactions and resolve disputes.

This feature, seen in both Separate Bills and Snap and Split, ensures a collaborative and transparent expense management experience.

E. *Security and Privacy Measures*

As bill-splitting applications handle sensitive financial data, robust security measures are essential:

- Data Encryption: Ensures that user data is stored and transmitted securely.
- Role-Based Access Control (RBAC): Restricts access to specific features and data based on user roles.
- User Anonymity in Payments: Some applications anonymize user identities during transactions, enhancing privacy.

Applications that prioritize security, such as Separate Bills, gain user trust by addressing these concerns effectively.

IV. Challenges in Existing System

Despite the rise in popularity of mobile-based bill-splitting and expenditure management apps, there are still a number of issues with their usability, design, and design. An examination of the main problems these systems confront is provided below.

A. Data Inconsistency and Input Errors

Data entry errors and inconsistencies are among the biggest problems with current systems.

- Manual Data Entry: Users must manually enter expense details in systems lacking strong OCR integration, which might result in inaccurate or partial inputs.
- OCR Limitations: Complex bill layouts, badly scanned receipts, or unreadable handwriting can all lead to errors, even with OCR-enabled programs.
- Duplicate Entries: Inadequate validation procedures could lead to redundant costs, which would complicate group computations.

Impact: These discrepancies frequently cause arguments between users and erode confidence in the application's reliability.

B. Limited Flexibility in Splitting Options

Many applications fail to offer sufficient flexibility in how expenses are split among group members[4].

- Basic Equal Splits Only: Applications with fixed equal-split functionality cannot accommodate diverse scenarios such as shared meals where individuals contribute differently.
- No Custom Adjustments: Absence of features like custom percentages or exact share adjustments restricts usability in real-world scenarios.

Impact: Users seeking advanced options often resort to manual calculations or alternative tools, undermining the app's value.

Impact: Low adoption and high dropout rates are caused by a bad first impression.

C. Payment Integration Challenges

While integrating payment systems enhances functionality, it also introduces complications:

- Limited Gateway Options: Some applications support only a narrow range of payment providers, leaving users without their preferred methods.
- High Transaction Fees: Payment gateways may impose fees that discourage in-app transactions.
- Settlement Delays: Processing times for payments can result in delays, especially in international transactions.

Impact: Users may opt for external payment methods, reducing the app's appeal and convenience.

D. Inadequate Support for Offline or Low Connectivity Scenarios

Many applications depend heavily on internet connectivity for operations, which can be a drawback in certain conditions:

- No Offline Mode: Users cannot record or view expenses without an active connection.
- Data Synchronization Issues: Inconsistent syncing between devices leads to outdated or incomplete records.

Impact: This limitation affects usability in areas with poor connectivity, reducing the app's accessibility.

E. Lack of Group Transparency and Accountability

Group expense management relies on clear communication and accountability among members:

- No Activity Logs: Applications without detailed transaction histories or audit trails make it difficult to verify past entries.
- Conflict Resolution Tools: Few apps provide mechanisms to handle disputes, such as an option to flag incorrect entries or propose edits.

Impact: Ambiguity in expense records creates misunderstandings and affects user trust.

V. *Trends and Features in Bill-Splitting Application*

A. Predictive Analytics and AI Integration

- High-Accuracy Scanning: By ensuring accurate data extraction from receipts, even in intricate layouts or dimly lit environments, modern OCR technology—like Google Vision API—minimizes user error.
- Contextual Analysis: By comprehending the extracted text in its context, NLP approaches enhance OCR. For instance, they can recognize totals, taxes, and itemized lists to improve automation.
- Multilingual and Regional Adaptability: These apps can reach a wider audience by supporting several languages and localized formatting, which increases their usefulness and appeal.

B. Real-Time Collaboration and Payment Security

Group Transparency: Tools like in-app messaging, comprehensive activity logs, and real-time notifications enhance group members' communication and help them avoid miscommunications regarding costs[5].

- Blockchain Technology:Applications that employ blockchain guarantee tamper-proof records of every transaction, increasing user confidence and transparency.
- Secure Payment Gateways: Support for multi-currency transactions and encrypted payment methods make financial settlements easier and safer, especially in situations involving cross-border groups.

C. Localization, Sustainability, and Fraud Detection

- Localized Features: To increase accessibility, applications feature real-time currency conversion for multinational groups, local payment mechanisms (like UPI in India), and interfaces in localized languages.
- Eco-Friendly Options: Users that care about the environment are drawn to features like digital receipts and spending monitoring connected to sustainability measures (like carbon footprint tracking).
- AI-Powered Fraud Prevention:By identifying irregularities like duplicate entries or exaggerated amounts, sophisticated algorithms alert users for verification, minimizing conflicts and promoting system confidence.

VI. Future Trends

A. Enhanced OCR with AI and Deep Learning

Advanced AI and deep learning models will be used in future applications to increase OCR accuracy even more, enhancing the dependability of bill data extraction and lowering errors in manual entry.

B. Blockchain Integration for Transparent Transactions:

More widespread integration of blockchain technology will provide confidence and accountability in financial transactions by offering safe, transparent, and unchangeable records for group spending.

C. Expansion of Predictive Analytics and Financial Insights

As predictive analytics develops, it will provide increasingly complex financial insights, like proactive savings advice and spending forecasts based on user behavior.

D. *AI-Powered Personal Finance Management*

Cutting-edge AI will enable more intelligent, individualized expense tracking and budgeting, providing customers with more specialized financial guidance and real-time modifications to spending trends.

VII. *CONCLUSION*

Applications that divide expenses have become essential for handling joint finances in both personal and business contexts. The main advantages are highlighted in this poll, including various dividing possibilities, real-time cooperation, and OCR technology for automated bill entries. But there are also problems like inconsistent data, privacy concerns, and a lack of tool integration.

These apps have the potential to develop into complete financial management solutions thanks to emerging trends like blockchain for safe transactions, AI-driven customisation, and predictive analytics. Future advancements will concentrate on gamification, eco-friendly features, and support for several currencies.

These apps have the potential to further streamline financial administration while encouraging openness and cooperation with sustained innovation and an emphasis on user demands.

REFERENCES

[1] Mahindre, Swaraj et al. "Secure Splitting of Bills and Managing Expenditure Using Blockchain." 2023 IEEE 3rd International Conference on Technology, Engineering, Management for Societal impact using Marketing, Entrepreneurship and Talent (TEMSMET) (2023): 1-7.

[2] Agrawal, R. (2019). BILL SPLITTING AND EXPENSE MANAGING ASSISTANT. In INTERNATIONAL JOURNAL OF CURRENT ENGINEERING AND SCIENTIFIC RESEARCH (IJCESR) (Vol. 6, Issue 10, pp. 16–17).

[3] Naaman, N., & Inc, E. (2010, December 22). US20120166332A1 - Bill splitting system - Google Patents. https://patents.google.com/patent/US20120166332A1/en

[4] Guo, R. (n.d.). Designing an Android Application for Bills Segregation. https://github.com/ma2808203259/SplitBill

[5] Kata, S., Pabboju, S., Babu, V., & Medishetti, A. (2018). Snap and split: an android application for bill payment using tesseract OCR. International Journal of Engineering & Technology, 7(4.5), 634. https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.5.21175

[6] Srivastava, S., Verma, A., & Sharma, S. (2022). Optical Character Recognition Techniques: A Review. 2022 IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS), 1-6.

[7] Bhatia, N.S., & Kumar, D. (2014). Recognizing Cursive Number Handwritten Character Paper.

[8] Maulian, R.F., & Juwono, R. (2023). ANDROID-BASED MOBILE APPLICATION DEVELOPMENT EXPENSIFY: PERSONAL EXPENSE MANAGER. IT for Society.

[9] SplitAbility™, "Point of sale - Bill splitting," [Online]. Available: https://www.splitability.com/pos-split-bills/

[10] T. Weatherby, "Why do some restaurants or cafes refuse to split bills?, .https://www.quora.com/ Why-do-some-restaurants-or-cafes-refuse-to-split bills

[11] K.Jagota,"Medium,"2019.[Online].Available: https://medium.com/@karan.02031993/7-programming-concepts-everyone-should know-with-code-99066039e800.

[12] Google, "Fragments," 2020. . Available: https://developer.android.com/guide/fragments

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

ICSIS

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

EĞİTİM KURUMLARI ATÖLYELERİNDE İSG KÜLTÜRÜNÜN OLUŞTURULMASI: FIRAT ÜNİVERSİTESİ TBMYO ÖRNEĞİ

Figen YİĞİT[1*], Heval GÜLTEKİN [1] ve Serhat ŞENGÜR [1]

[1]*İş Sağlığı ve Güvenliği / Teknik Bilimler MYO, Fırat Üniversitesi, Türkiye*

[*]*(figenyigit2344@icloud.com)*

Özet – İş sağlığı ve güvenliği konusu, hem insanların önemli bir sağlık sorunu yaşamamasını sağlayarak toplumun genel sağlık durumunu iyileştirirken, hem de iş kazalarının ve meslek hastalıklarının azaltılmasıyla ülke ekonomisine olumlu etkiler sağlamaktadır. İş kazaları ve meslek hastalıkları sonucu çalışanların iş gücü kaybı yaşaması işletmelerin üretim ve hizmet kalitesini düşürürken, işverenlere de maddi kayıplar yaşatmaktadır. Ayrıca, bu kazalar sonucu iş günü kaybı yaşanması, üretim sürecinde aksamalara ve gecikmelere yol açabilmektedir. Bu durum da işletmelerin ekonomik olarak zarar görmesine ve rekabet gücünün azalmasına yol açmaktadır. İş kazaları ve meslek hastalıkları aynı zamanda çalışanların sağlığını ve yaşam kalitesini etkileyerek, toplumsal yapıda onarılmaz yaralar açmaktadır. İş kazaları sonucu yaşanan can ve uzuv kayıpları, çalışanların ve ailelerinin hem duygusal hem de ekonomik olarak zor durumda kalmasına neden olmaktadır. Bu durum, toplumun genel psikolojik ve sosyal yapısının bozulmasına yol açabilmekte ve toplumsal bir sorun olarak kabul edilmektedir.
Bu nedenlerle, iş sağlığı ve güvenliği konusunun sosyal boyutu oldukça önemlidir. İş kazalarının azaltılması ve meslek hastalıklarının önlenmesi için alınacak tedbirler, hem çalışanların sağlığını korurken hem de ülke ekonomisine olumlu katkılar sağlayacaktır.
Bu çalışma okulumuzdaki genel alanlar ile Makine, Otomotiv, İç Mekân Tasarımı ve Kaynak atölyelerinde ortama ve makinelere yönelik tehlike uyarı işaretleri ve makinelerin kullanma talimatlarını hazırlayarak hem öğretim elemanlarında hem de öğrencilerde pozitif güvenlik kültürü oluşturmayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: İş Sağlığı ve Güvenliği, İş Kazaları, Güvenlik Kültürü, Güvenlik İşaretleri, Makine Kullanma Talimatları

I. GİRİŞ

Negatif güvenlik kültürü, bireylerin güvenlik risklerini yeterince değerlendirmediği veya önemsemediği bir ortamda gelişmektedir. Bu kültür, risklerin göz ardı edilmesine, aşırı özgüven sergilenmesine ve güvenlik önlemlerinin ihmal edilmesine yol açarak bireysel ve toplumsal düzeyde ciddi güvenlik tehditleri oluşturmaktadır. Sürekli tehlike altında bulunma, sorumluluk duygusunun zayıf olması ve yetersiz kaynaklar gibi unsurlar, bu kültürün yaygınlaşmasına katkıda bulunmaktadır. İş sağlığı ve güvenliği açısından algı, güvenli bir çalışma ortamının oluşturulmasında kritik bir faktördür. Çalışanların ve yöneticilerin çevresel riskleri doğru algılaması, etkili sağlık ve güvenlik işaretleri ile makine kullanım talimatlarının uygulanması, güvenlik farkındalığını artırarak iş kazalarının önlenmesine katkı sağlamaktadır.

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'na göre, işverenler iş yerlerindeki risklerin ortadan kaldırılamadığı durumlarda sağlık ve güvenlik işaretlerini kullanmakla yükümlüdür [1]. Ayrıca, makine kullanım talimatlarının Türkçe olarak hazırlanması zorunlu tutulmaktadır [2]. Literatürde, iş sağlığı ve güvenliği farkındalığının artırılmasına yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Kalıntaş, üniversite öğrencilerinin iş sağlığı ve güvenliği farkındalığını ölçen anket çalışmasında, uyarı levhalarının

anlamlarının bilinme düzeyini incelemiştir [3]. Yar, zorunlu eğitimlerin ötesinde teşvik edici uygulamalar ile güvenlik kültürünün benimsetilmesinin önemini vurgulamıştır [4]. Yavuz ve Gür, güvenlik kültürünün kurumsal bir değer olarak benimsenmesinin kazaların azalmasına önemli katkı sağlayacağını belirtmişlerdir [5]. Şahmaran vd., ön lisans ve lisans öğrencilerinin İSG farkındalığını değerlendirmiş, öğrencilerin eğitim süreçleri ilerledikçe bu bilincin arttığını tespit etmişlerdir [6]. Kelleci vd., meslek yüksekokulu öğrencileri arasında yapılan çalışmada, tehlikeli iş kollarında eğitim alan öğrencilerin güvenlik önlemleri konusundaki algılarının daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur [7].

İSG eğitimleri, güvenlik kültürünün oluşturulmasında temel bir araç olup, çalışanların güvenli davranışları içselleştirmesine yardımcı olarak iş kazalarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Yavuz vd., Osmancık Ömer Derindere MYO'da yaptıkları bir araştırmada, İSG işaret ve levhalarının farkındalık oluşturmada yeterli olup olmadığı değerlendirilmiş ve katılımcıların bilinç düzeyinin orta seviyede olduğu tespit edilmiştir [8]. Ordu ve Bilir. laboratuvarlarda güvenlik kültürünün sürdürülebilirliğinin sağlanmasının kritik önem taşıdığını belirtmişlerdir [9]. Türkiye, iş kazalarının büyük ölçüde önlenebilir olduğu bilinmesine rağmen, ölümlü iş kazalarında Avrupa'da birinci, dünyada üçüncü sırada yer almaktadır [10]. Bu durum, İSG kültürünün yeterince oluşturulamaması ve çalışanların risklere duyarsız kalmasıyla ilişkilendirilmektedir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmanın temel amacı, Meslek Yüksekokulu bünyesindeki dört farklı atölye ve genel alanlarda iş sağlığı ve güvenliği bilincini geliştirmektir. Bu doğrultuda, atölye ortamlarına ve kullanılan makinelere özgü sağlık ve güvenlik işaretleri ile kullanım talimatları oluşturularak, risk farkındalığının artırılması ve olası iş kazalarının önlenmesi hedeflenmektedir. Çalışma kapsamında uygulanacak önlemler ve eğitimler ile atölye düzeyinde güvenlik ikliminin, Meslek Yüksekokulu genelinde ise iş güvenliği kültürünün oluşturulması amaçlanmaktadır. Ayrıca, düzenlenecek seminerler, etkinlikler ve uygulamalı eğitimler aracılığıyla katılımcıların güvenlik bilinci güçlendirilerek sürdürülebilir bir güvenlik anlayışı kazandırılması hedeflenmektedir.

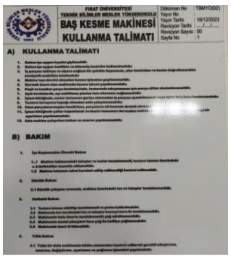
Meslek yüksekokulları, teknik bilgi ve beceriye sahip nitelikli iş gücünün yetiştirilmesinde önemli bir rol üstlenmektedir. Uygulamalı eğitim süreçleri, iş sağlığı ve güvenliği (İSG) açısından çeşitli riskleri beraberinde getirdiğinden, öğrencilerin mezuniyet öncesinde bu alanda bilinçlendirilmesi gerekmektedir. Tehlikeli iş kollarında çalışacak bireyler için İSG farkındalığının erken aşamada kazandırılması, güvenli çalışma ortamlarının oluşturulmasında kritik bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, sağlık ve güvenlik işaretleri ile makine kullanım talimatlarının etkin kullanımı, iş yerlerinde tehlikelerin algılanmasını ve önlenmesini sağlamaktadır. İş kazalarının azaltılması ve güvenlik kültürünün yaygınlaştırılması adına bu unsurların eğitim süreçlerine entegrasyonu büyük önem taşımaktadır.

Çalışma kapsamında, öncelikle genel ve atölye ortamlarında gözlem yapılarak mevcut tehlike ve riskler belirlenmiş; özellikle Atölyelerde öğrenci, teknisyen ve öğretim elemanlarından makineler hakkında detaylı bilgiler toplanmıştır. Ardından, 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu çerçevesinde ilgili mevzuat incelenmiş, makine ve ekipmanlara yönelik kullanım talimatları hazırlanmış ve atölyelerdeki fiziki koşullara uygun sağlık ve güvenlik işaretleri belirlenmiştir. Son aşamada, oluşturulan talimatlar ve işaretler ilgili alanlara yerleştirilerek güvenli bir çalışma ortamının sağlanmasına katkıda bulunulmuştur. Bulgular kısmında, bu çalışmalara ilişkin görseller ve ilgili tablolar sunulmaktadır.

III. BULGULAR

Tablo 1'de, Fırat Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu'nda yer alan ortak kullanım alanları ile Makine, Otomotiv, İç Mekan Tasarımı ve Kaynak atölyelerinde çevresel faktörler ve makinelerle ilgili olarak hazırlanan tehlike uyarı işaretleri ile makine kullanım talimatlarından örnekler sunulmuştur.

Tablo 1: Kullanılan Sağlık ve Güvenlik İşaretleri ile Makine Kullanma Talimatları

No:	İşaret Tipi	Uygulanan sağlık ve güvenlik İşareti/kullanma talimatı	Uygulama Bölgesi
1	Yasaklayıcı		 Asansör Girişi
2	Yasaklayıcı		 Trafo Binası
3	Kaydırmaz bant		 Merdivenler
4	Uyarı		 Lavabolar
5	Yangın talimatı		 Yangın Dolabı
6	Kullanma Talimatı		 Baş Kesme Makinesi

7	Kullanma Talimatı		 Torna Tezgahı
8	Uyarı/Yasaklayıcı		 Torna/Freze/Matkap Tezgahı
9	Uyarı/Yasaklayıcı		 Torna/Freze/Matkap Tezgahı
10	Yasaklayıcı/Uyarı		 Takım Dolabı/ Benzin-Mazot Deposu
11	Uyarı/Yasaklayıcı		 Araç Lift'i
12	Uyarı/Yasaklayıcı		 Balans/Lastik sökme-takma

13	Kullanma Talimatı		 *Taşlama Tezgahı*
14	Uyarı/Yasaklayıcı		 Daire Testere Makinesi
16	Yasaklayıcı/Emredici		 Kaynak Atölyesi Genel Görünüm
17	Uyarı/Yasaklayıcı Emredici		 Gaz Altı Kaynak Makinesi
18	Uyarı/Yasaklayıcı		 Elektrikli Ark Kaynağı
19	Eğitim ve Bilgilendirme		 

IV. TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında, eğitim kurumlarına bağlı atölye ortamlarında iş sağlığı ve güvenliği kültürünün oluşturulmasına yönelik gerçekleştirilen uygulamaların, öğretim elemanları ve öğrenciler üzerinde olumlu bir farkındalık yarattığı gözlemlenmiştir. Literatürde de benzer şekilde, iş sağlığı ve güvenliği işaretlerinin ve makine kullanım talimatlarının görünür, anlaşılır ve erişilebilir biçimde sunulmasının, bireylerin risk algısının gelişimine katkı sağladığı ifade edilmektedir [5], [7]. Bu doğrultuda, çalışmada yürütülen uygulamaların, literatür [4]'te vurgulanan şekilde, teorik bilginin somut ve görsel uyarıcılarla desteklenmesi gerekliliğine ilişkin bulgularla örtüştüğü değerlendirilmiştir.

Ayrıca, gerçekleştirilen işaretleme ve bilgilendirme faaliyetlerinin, atölye ortamlarında güvenli davranışların benimsenmesine katkı sunduğu belirlenmiştir. Bu durum, literatür [6]'da ifade edilen, güvenlik kültürünün kurumsal düzeyde benimsenmesinin önemi ile paralellik göstermektedir. Bununla birlikte, literatür [9]'da üniversite laboratuvarlarında gerçekleştirilen benzer çalışmalarla uyumlu olarak, bu araştırma da iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının sürdürülebilirliğinin sağlanmasının, güvenli eğitim ortamlarının sürekliliği açısından kritik bir unsur olduğunu ortaya koymuştur.

Elde edilen bulgular, meslek yüksekokullarında güvenli öğrenme ortamlarının oluşturulmasına yönelik olarak atılan somut adımların, öğrencilerin ileriki meslek yaşamlarında güvenli çalışma alışkanlıkları geliştirmelerine katkı sağlayacağını göstermektedir. Bu bağlamda, söz konusu uygulamaların diğer eğitim kurumlarında da model alınarak yaygınlaştırılması, iş sağlığı ve güvenliği alanında kalıcı, kurumsallaşmış ve sürdürülebilir bir güvenlik kültürünün oluşmasına olanak tanıyacaktır.

V. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar, Meslek Yüksekokulu bünyesindeki atölyelerde iş sağlığı ve güvenliği farkındalığını artırarak güvenli çalışma ortamlarının oluşturulmasına önemli katkılar sağlamıştır. Atölyelerde kullanılan makineler için sağlık ve güvenlik işaretleri ile kullanım talimatlarının hazırlanması, hem öğrencilerin hem de öğretim elemanlarının İSG kurallarına uyumunu artırmış ve güvenlik bilincinin gelişimine katkıda bulunmuştur.

Çalışma sürecinde yürütülen bilgilendirme faaliyetleri sonucunda, katılımcılardan olumlu geri dönüşler alınmış ve İSG uygulamalarının etkili olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, çalışma süresince herhangi bir iş kazası veya ramak kala olaya rastlanmaması, gerçekleştirilen farkındalık çalışmalarının başarısını destekleyen önemli bir gösterge olarak değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, iş sağlığı ve güvenliği kültürünün sürdürülebilirliğini sağlamak adına benzer çalışmaların devam ettirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda, oluşturulan işaret ve talimatların düzenli olarak güncellenmesi ve İSG eğitimlerinin sürekli hale getirilmesi önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) tarafından yürütülen 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı 2023 yılı 2. dönem kapsamında desteklenmiştir. 1919B012327532 numaralı proje başvurusunun destek almaya hak kazanması, çalışmanın planlanması ve uygulanması sürecine önemli katkılar sağlamıştır.

"Fırat Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Genel Alanlar ile Atölyelerinde İSG Kültürü Oluşturmak Adına Sağlık ve Güvenlik İşaretleri ve Makine Kullanım Talimatlarının Hazırlanması" başlıklı bu projeye sağladığı değerli destek için TÜBİTAK'a içten teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

[1] https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=18829&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5 (Erişim tarihi: 13 Kasım 2023)

[2] https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2009/03/20090303-4.htm (Erişim tarihi: 13 Kasım 2023)

[3] Kalıntaş, D. Ç. (2022). İş sağlığı ve güvenliğinde eğitimin önemi: Üniversite öğrencilerinin iş sağlığı ve güvenliği farkındalığı üzerine bir çalışma (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi).
[4] Yar, N. S. (2018). İş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının çalışanların iş sağlığı ve güvenliği farkındalığı üzerine etkilerinin incelenmesi (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
[5] Yavuz, Ş. Gür, B. (2019). Ön lisans ve lisans öğrencilerinde iş sağlığı ve güvenliği bilinci düzeylerinin incelenmesi. International Journal of Labour Life and Social Policy, 2(1), 19–29.
[6] Şahmaran, T. Kar, H. Arısal, İ. (2019). İş sağlığı ve güvenliği ön lisans programında verilen eğitim ve öğretimin iş sağlığı ve güvenliği algısı üzerine etkisi. OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi, 11(18), 1797–1827.
[7] Kelleci, S. Ç. Akalp, H. G. Saklangıç, U. & Taşcı, H. (2022). Meslek yüksekokulu öğrencilerinin temel İSG eğitimlerinin İSG algısı oluşturulmasına etkisi: Bir üniversite örneği. Ergonomi, 5(3), 178–185.
[8] Yavuz, Ş. Bülter, A. E. Köse, D. A. (2018). Osmancık Ömer Derindere Meslek Yüksekokulu'nda iş sağlığı ve güvenliği kültürünün incelenmesi. International Journal of Labour Life and Social Policy, 1(2), 24–36.
[9] Ordu, K. M. Bilir, G. Ç. (2017). Restructuring of university laboratories within the scope of occupational health and safety. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (Özel Sayı-Special Issue), 34–37.
[10] Ceylan, H. (2011). Türkiye'deki iş kazalarının genel görünümü ve gelişmiş ülkelerle kıyaslanması. International Journal of Engineering Research and Development, 3(2), 18–24.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Importance and Advantages of Preserving Fruits with Freezing Method

Hüseyin ÖZÇELİK[1], Ayşen Melda ÇOLAK [1] and Fatma ALAN [2*]

[1]*Department of Horticulture / Usak University, Türkiye*
[2]*Department of Plant and Animal Production / Ankara University, Türkiye*

[*]*(falan@ankara.edu.tr)*

Abstract – Fruits play an important role in human nutrition due to their rich biochemical components. However, their high water content, continuous respiration, internal ethylene effect and changes against microbial spoilage do not shorten their post-harvest life. Therefore, freezing of fruits is an effective method for long-term storage by minimizing the loss of quantity and quality. The freezing process prevents microbial spoilage by restricting microorganism activities in fruits. In addition, the spoilage process is delayed by minimizing the metabolic processes that provide respiration and the transformation of macromolecules into micromolecules. The freezing process provides the opportunity to consume quality fruits outside the season, as it helps the fruits to survive and preserve their quality characteristics, and also to store chemical contents such as vitamins, minerals and antioxidants. Developing technological and logistic opportunities show that this situation has become both widespread and important in terms of personality. This method, which preserves quantity, quality and freshness, also increases the export potential. Cooling technology provides various positive contributions to the economy in the country, which operates in different employment areas. The post-harvest sensitivities of fruits, starting with the definition of preservation, are important for the producer and the consumer. In order to prevent the negative results that may be caused by these sensitivities, the characteristics of cryopreservation have begun to be explained with some metabolic cycles, together with the knowledge of them. Thus, in addition to the positive effects, negative effects such as storage area temperature, loss of taste and smell have also been taken into consideration.

Keywords – Preservation, food, shelf life, respiration, spoilage

I. INTRODUCTION

In order to reach quality products with minimum loss after harvest, prevent metabolic capacity, reduce biochemical and characteristic changes and thus extend the marketing period, the immediate activation of freezing features and the waiting process are defined as "preservation" [1]. The main purpose of preserving foods is not to deteriorate microbiological and waste processes that cause spoilage or to break down enzymes. Preserving foods also includes goals such as expanding the regions where they are produced, ensuring food storage, increasing variety by making the desired changes in some foods and providing the opportunity for consumption outside the season [1]. Microorganisms in foods can multiply rapidly [2]. While these microorganisms take the nutrients they are in, they leave their waste. At the same time, they continue the activities of the enzymes in the structure of foods. As a result, sensory, physical and chemical changes occur in foods and these changes lead to the food becoming inconsumable by humans, which is called "spoilage". It is possible to collect the changes that cause spoilage under control and to eliminate them partially or completely. Microorganisms are controlled by high temperature, cold storage, freezing, drying, irradiation, and addition of additives. High temperature kills active microorganisms and stops enzyme activities. Other particles eliminate the lives of microorganisms; for example, the drying process

prevents microorganisms from operating by separating the amount of water. This performance, which is applied to prevent spoilage in food storage, should ensure that the sensory properties of the food's nutritional value, color, aroma and physical structure are affected to a minimum. Storing the pests, seeds or fruits obtained from agriculture for a certain period of time without spoiling is one of the most important determinants of today's food [3]. Keeping foods fresh for a long time and preserving their nutritional value is of great importance for the sustainability of healthy food. The appropriate consumption period of foods is expressed by the concept of "shelf life". Packaging and wrapping, ensuring the natural protection of food are considered as a part of agricultural geography. In traditional agriculture, the period of pest storage and consumption is usually determined as 12 months. Appropriate storage conditions are required for fruits, vegetables and seasons stored as food and seeds to be stored without spoiling for the longest possible time during the vegetation period [4]. The agricultural ecosystem represents the interaction with the society and this affects the provision of sustainable food. Food has a structure intertwined with the agricultural system, waste management and input supply system. Sustainable food is a critical assessment in terms of providing food prices in the future by considering human health and taking food production and consumption points. Sustainable food provides nutritional opportunities for future generations and provides high nutritional food production targets for all humanity. The development of sustainable food requires a holistic solution and should produce positive values in economic, social and positive ways. The sustainability of a food system is affected by the interaction of natural and human-induced factors. Providing suitable conditions for the transition to more sustainable food systems requires being system-based by considering the diversity and complexity of the speeds in food production, distribution and consumption [5].

There have been many important developments in food preservation throughout history. Preservation methods are an open field for technological innovations, and various innovations have emerged in the past. Cold storage practices have developed along with human history, for example, there are seed intervals dating back 10,000 years BC. The first storage containers emerged as baskets made of plant and animal material in 7000 BC. Primitive preservation methods include storage with pottery under the snow, in wells, caves and underground wells. Water and wine cooling systems were used because salt and other chemicals reduce the spoilage of water when it freezes. In 1803, Thomas Moore invented the first refrigerator using a cabinet insulated with ice. Until 1920, ice cubes were used for preservation during the winter months. In 1823, Michael Faraday developed an artificial cooling method by liquidizing gases such as NH_4Cl and CO_2. In 1834, Jacob Perkins received the first refrigerator patent. In 1851, the first refrigerated highway was carried out between New York and Boston by icing freight cars. In 1857, Australian James Harrison produced refrigerator molds that worked with ether. In 1860, an absorption machine that worked with ammonia was developed. In 1876, the first cold storage cooled with ice barrels for fruit preservation was built in Chicago. Frenchman Jacques Berard carried out the first studies on the preservation of garden plants with different gas compositions in 1819. In the 1860s, Benjamin Nyce built the first modified atmosphere storage in Cleveland, Ohio, but these storages did not attract much attention at the time. In 1927, Franklin Kidd and Cyril West discovered that high CO_2 levels delayed the ripening of apples [1].

There are various places used naturally for food preservation. For example, there are areas where stones can be used in Karaman Taşkale and tuffs are carved in the Nevşehir region. Another common preservation method is soil wells. Aboveground storage is a method generally preferred in cold climates where the temperature does not fall below zero. These storages are rooms constructed with methods such as mud, clay, and timber. They are positioned near these structures, on their floors or next to them. The products to be stored are stored facing up for preservation. Another preservation technique is the conical storages. This method is designed by considering variables such as temperature, ground level, and air circulation, and is generally used for tuberous plants. There is also a method of storing a large number of grapes in soil containers to keep them fresh without spoiling. Variables such as location selection of soil wells, topographic features, soil structure, temperature, humidity, rainfall, wind conditions, and sunlight are recorded. Calculations have been made for the external durability of soil wells and their ability to withstand various temperatures. In order to protect stored food from moisture and water, thick boards, clay soil and nylon with natural features such as dry grass are used, and recently covers have also been preferred. These wells can be built in cooler northern directions where rainfall does not work or rainwater flows at high

levels at long distances. The location selection, appearance, slope and wind conditions of the wells are important, and attention is paid to their being open to the north and wind. Wells are built on a slope near houses, under haylofts or in fields. Wells are created immediately after harvest and vegetables are placed in these areas without waiting. This entrance provides long-term preservation from the use of additives. For longer-term preservation, products that are not rotten are selected and stored without washing. In order to prevent the products from touching each other, they are placed dry between them. After the wells are filled, they are covered with dry grass, thin and dry soil is sprinkled on them and the top is covered with boards. Vegetables and fruits are among the products that spoil quickly. These packages, together with the marketing period and methods of the product, meet the needs of a family for 4-5 months [4].

II. FREEZING STORAGE

The basic budget of the food sector is high quality, reliable, healthy and long-term preservation products by processing appropriate products. In this process, preservation methods with minimum loss and minimum quality deterioration are preferred (Figure 1). Among these processes, the freezing preservation method, which causes the least loss, is to be highlighted [6]. The freezing process shows a performance that helps the water particles to turn into ice and thus the chemical and enzymatic deterioration reactions to proceed more slowly by allowing the problem-free water in the food to turn into ice. Therefore, deterioration in texture, color loss and undesirable flavor loss during storage are significantly reduced. Due to the limited shelf life of fresh products, fruits and vegetables are usually stored in the refrigerator or preserved by freezing [7]. During freezing, the product is subjected to a temperature below -18◦C. This results in a decrease in the deterioration rate of fruits and vegetables [8]. The physical, textural and nutritional qualities of frozen products depend on the size and distribution of ice crystals, and rapid or quick freezing results in a large number of fine-sized ice crystals evenly distributed outside and inside the cells [9]. Thus, it preserves the quality parameters of food products by causing minimum damage to the tissue [2]. However, slow freezing forms large ice crystals that are unevenly distributed throughout the cells and tissues, significantly damaging the texture and quality of the product [10]. Thus, it can cause dislocation, perforation and deformation of cell walls in fruits and vegetables, which leads to high drip loss during thawing [11]. Due to the cellular structure of fruits and vegetables, fine ice crystals that are evenly distributed in both intracellular and extracellular regions are desired, as it causes minimum damage to the cells and preserves the overall product quality during thawing [12]. Various factors affecting the quality of fruits and vegetables during freezing are summarized in Figure 1.

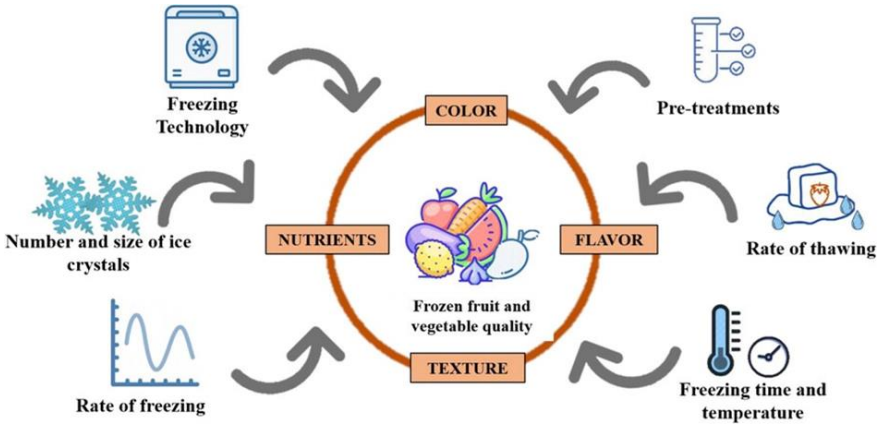


Figure 1. Factors affecting quality of frozen fruits and vegetables.

The amount of ice formed in a food product during freezing is affected by the degree of supercooling, and with an increase in the degree of supercooling, the amount of ice produced during nucleation also increases [13]. The formation of ice crystals during freezing of fruits and vegetables is associated with an expansion in product volume, which affects the texture of frozen products. This situation, which is characterized by the expansion in volume, cell membrane damage and the formation of empty spaces at the microstructure level, leads to damage to product integrity, resulting in excessive drip losses from the

product during thawing [14]. Therefore, the properties of ice crystals formed during freezing play a critical role in determining the textural properties of frozen fruits and vegetables. These ice crystals vary in size, location and shape [15]. During freezing, the even distribution of a large number of small ice crystals in the extracellular and intracellular environments leads to very little fragmentation and damage to plant cells, and the formation of a small number of large-sized ice crystals in the extracellular environment is responsible for cell fragmentation and collapse [16]. The tissue structure is well preserved during rapid freezing, thus resulting in less drip losses during thawing. Therefore, the quality and microstructure of fruits and vegetables subjected to freezing are affected by the process of ice formation (Figure 2) and therefore the freezing process needs to be controlled to obtain small and evenly distributed ice crystals, which is desired for preserving cell wall integrity in fruits and vegetables.

In the frozen fruit production process, some pre-processes such as washing, pitting and slicing are carried out first. In addition, the product properties are reduced to a level below the freezing point by selecting the appropriate freezing method [5]. The quality of frozen foods varies depending on many factors. The quality of the raw material, the maturity of the product at the time of harvest, the freezing speed and duration are among these factors. The packaging process is also very important and losses may occur in products that are left open for a long time during packaging and packaging under proper weather conditions. In addition, storage conditions require a suitable storage temperature and duration. It should not be forgotten that no freezing method increases the quality of the product; the existing product is preserved in the best way as it is original [17]. The freezing speed of the product is a critical step in terms of not damaging the product surface and not causing damage after thawing. For this reason, the rapid freezing process (IQF) creates positive effects on quality by ensuring the production of smaller ice crystals. For this reason, the IQF method is widely used for commercial production today [19]. Frozen fruits should not have any foreign tastes and odors. In addition, up to a certain limit, stains, color loss, cutting errors, operating errors or errors caused by mechanical tools and equipment can be tolerated. Frozen fruits must be separated from distant plants due to some microbiological deterioration and similarities. In addition to pathogenic microorganisms such as *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli*, total aerobic live microorganisms, total coliform bacteria and yeast-mold counts are also important. These pathogens can be soil-based or vegetal, but due to unhygienic and unsuitable storage conditions, the risk of microorganism contamination of products can be high [2].

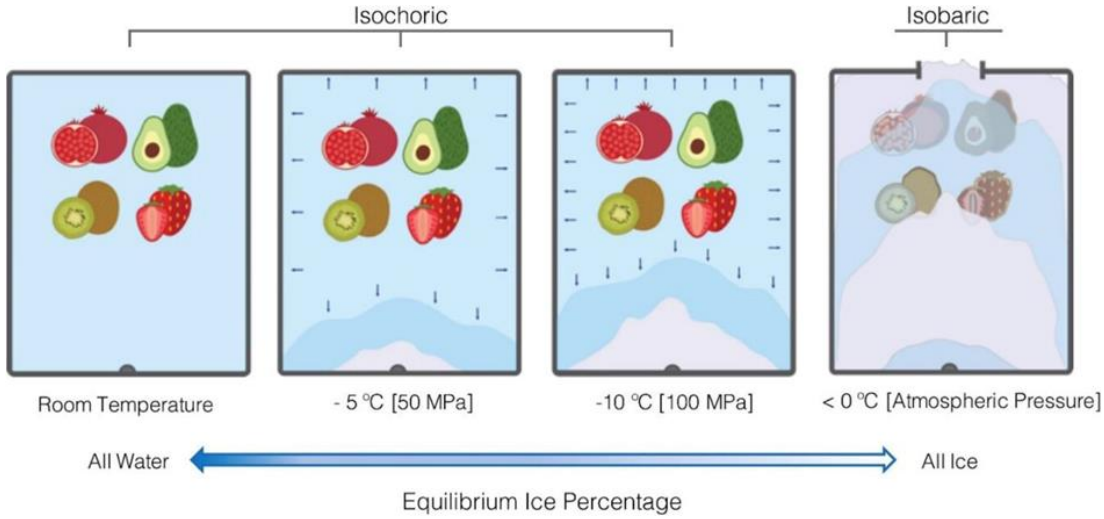


Figure 2. Typical isochoric freezing models at various temperatures and their variation from isobaric freezing. Source: Reproduced from Powell-Palm and Rubinsky (2019) with permission [18].

Freezing damage to fruits and vegetables is caused directly or indirectly by ice formation. Tissue losses in fruits and vegetables are caused by the perforation of cell membranes by growing ice crystals, leading to loss of cell turgor and cell wall rupture, thus leading to tissue damage and release of degradative enzymes [14]. Thawing of fruits and vegetables may contribute to the collapse of the cell wall and, moreover, may

cause deleterious changes in odor, taste, color and nutritional value due to the release of degradative enzymes. Another irreversible and critical change with frozen fruits and vegetables is freeze cracking. The simultaneous development of both tensile and compressive stresses makes the food more prone to microcracks on its surface, and these cracks are usually seen in foods frozen using cryogenic freezing, where freezing rates are quite high [14]. The degree of freeze damage to which fruits and vegetables are subjected during frozen storage is affected by several factors (Figure 3).

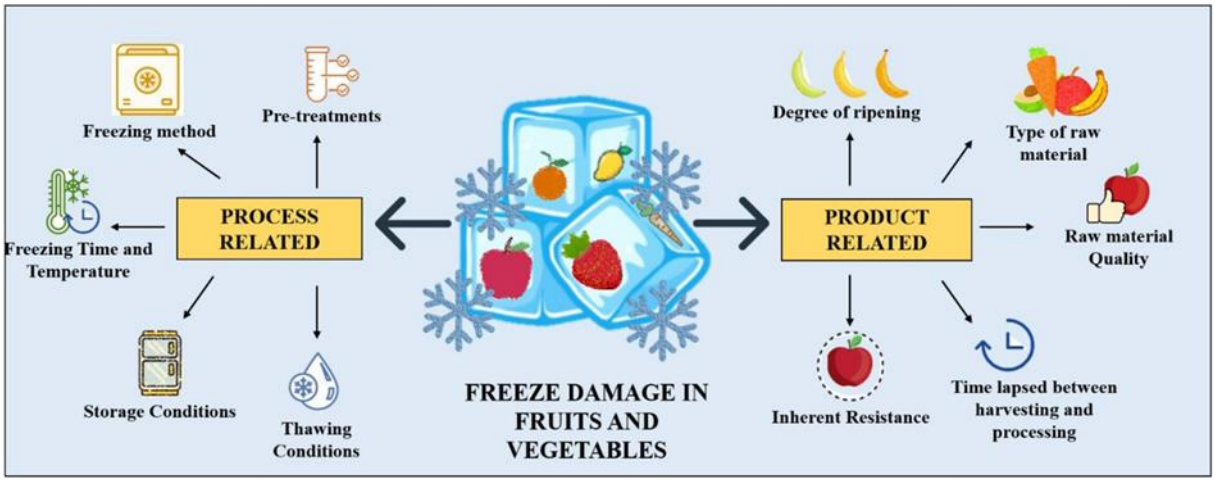


Figure 3. Factors affecting freeze damage in fruits and vegetables.

Advantages and Disadvantages of Freezing

The freezing process is usually at -18 0C and this temperature is one of the most important problems that prevents the formation of microorganisms. Although the freezing preservation method does not create a significant change in the natural flavors of foods, other preservation methods, such as cooling, drying and smoking, may have a higher probability of food safety problems due to the maintenance features of foods that allow microbial growth [2]. In this preservation method, the reproduction of pathogenic microorganisms in foods is stopped and there is no loss of nutritional value in foods preserved by freezing. By providing product supply with the freezing method, it offers long-term storage thanks to its long shelf life and no external chemical or preservative substances are added to the products during the freezing process [19].

The freezing preservation method has some disadvantages as well as some advantages. However, these disadvantages can be easily controlled when appropriate precautions are taken and do not pose a serious risk. During storage with this method, a significant decrease in the number of living microorganisms is observed, but these organisms are not completely eliminated. The freezing process, which has no effect on toxins, allows them to continue their existence without being affected [2]. Therefore, the freezing process does not aim to sterilize. The main goal is not to kill microorganisms, but to inactivate them by stopping their metabolic activities. A decrease in microbial load can occur both during the freezing process and during storage [2].

III. RESULTS

In addition to traditional food storage methods, increasing demands for monitoring product quality and extending shelf life have brought the freezing preservation method to the forefront. This method has the potential to provide consumers with higher quality products in terms of ensuring food safety and preserving nutritional value.

The suitable climate and agricultural production conditions of Turkey provide a significant advantage in terms of raw material supply for the frozen fruit and vegetable sector. The products in question are processed in modern facilities and with appropriate technological applications, frozen and offered to the market.

Today, consumers have easier access to frozen fruit and vegetable products, which creates positive effects both in the domestic market and for export. It is expected that the demand for frozen fruit and vegetables in the international market will continue to increase in the coming years.

REFERENCES

[1] Türk, R., Güneş, N. T., Erkan, M., & Koyuncu, M. A. (2017). Bahçe ürünlerinin muhafazası ve pazara hazırlanması. Somtad yayınları ders kitabı, (1), 542.

[2] Zhao, L., Wang, Y., Dhanasekaran, S., Guo, Z., Chen, S., Zhang, X., & Zhang, H. (2021). Efficacy of Wickerhamomycesanomalusyeast in thebiocontrol of bluemolddecay in applesandinvestigation of themechanismsinvolved. BioControl, 66(4), 547-558.

[3] Alinovi, M., Paciulli, M., Rinaldi, M., Falsafi, S. R., & Chiavaro, E. (2024). Freezing of fruits and vegetables. In Low-Temperature Processing of Food Products (pp. 199-224). Woodhead Publishing.

[4] Yılmaz, C. & Albayrak, L. (2021). Gıda Muhafazasında Coğrafi Çevreden Faydalanma ve Toprak Kuyular/Use of The Geographıcal Envıronmentand Soıl Wells in Food Conservatıon, II. Uluslararası Coğrafya Kongresi, vol.1, İstanbul, Turkey, pp.46-50

[5] Neri, L., Faieta, M., Di Mattia, C., Sacchetti, G., Mastrocola, D., & Pittia, P. (2020). Dondurulmuş bitkisel besinlerde antioksidan aktivite: Kriyoprotektanların, dondurma işleminin ve dondurarak saklamanın etkisi. Yiyecekler , 9 (12)

[6] Kiurchev, S., Verkholantseva, V., Yeremenko, O., & Al-Nadzhar, F. (2020). Depolama sırasında dondurma teknolojisini kullanarak meyvelerde araştırma ve değişiklikler.

[7] Çubukçu, H. C., Kılıçaslan, N. S. D., & Durak, I. (2019). Different effects of heating and freezing treatments on the antioxidant properties of broccoli, cauliflower, garlic and onion. An experimental in vitro study. Sao Paulo Medical Journal, 137(05), 407–413. https://doi.org/10.1590/1516-3180.2019.004406082019

[8] Jha, P., Xanthakis, E., Jury, V., & Le-Bail, A. (2017). An overview on magnetic field and electric field interactions with ice crystallization: Application in the case of frozen food. Crystals, 7(10), 299. https://doi.org/10.3390/cryst7100299

[9] Petzold, G., & Aguilera, J. M. (2009). Ice morphology: Fundamentals and technological applications in foods. Food Biophysics, 4(4), 378–396. https://doi.org/10.1007/s11483-009-9136-5

[10] Kobayashi, R., & Suzuki, T. (2019). Effect of supercooling accompanying the freezing process on ice crystals and the quality of frozen strawberry tissue. International Journal of Refrigeration, 99, 94–100. https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2018.11.045

[11] Sorica, C., Vintilă, M., Pirnă, I., Grigore, I., Cristea, M., Vladuţoiu, L., Sorica, E., Neacşu Bălănescu, I., Grosu, C., Raischi, M., & Grădilă, M. (2019). Researches on the freezing of blueberries and green bean pods using an experimental model of a fast freezing equipment. E3S Web of Conferences, 112, 03033 https://doi.org/10.1051/ e3sconf/201911203033

[12] Islam, M. N., Zhang, M., & Adhikari, B. (2017). Ultrasound-assisted freezing of fruits and vegetables: Design, development and applications. In G. V. Barbosa-Cánovas, G. M. Pastore, K. Candoğan, I. G. M. Meza, S. Caetan da Silva Lannes, K. Buckle, R. Y. Yada, & A. Rosenthal (Eds.), Global food security and wellness (pp. 457–487). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6496-3_22

[13] Kaur, M., & Kumar, M. (2020). An innovation in magnetic field assisted freezing of perishable fruits and vegetables: A review. Food Reviews International, 36(8), 761–780. https://doi.org/10. 1080/87559129.2019.1683746

[14] Dalvi-Isfahan, M., Jha, P. K., Tavakoli, J., Daraei-Garmakhany, A., Xanthakis, E., & Le-Bail, A. (2019). Review on identification, underlying mechanisms and evaluation of freeze damage. Journal of Food Engineering, 255, 50–60. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng. 2019.03.011

[15] Bonat Celli, G., Ghanem, A., & Su-Ling Brooks, M. (2016). Influence of freezing process and frozen storage on the quality of fruits and fruit products. Food Reviews International, 32(3), 280–304. https:// doi.org/10.1080/87559129.2015.1075212

[16] Alabi, K. P., Zhu, Z., & Sun, D.-W. (2020). Transport phenomena and their effect on microstructure of frozen fruits and vegetables. Trends in Food Science and Technology, 101, 63–72. https://doi.org/ 10.1016/j.tifs.2020.04.016

[17] Giannakourou, M. C., & Tsironi, T. N. (2021). Application of processing and packaging hurdles for fresh-cut fruits and vegetables preservation. Foods, 10(4), 830.

[18] Powell-Palm, M. J., & Rubinsky, B. (2019). A shift from the isobaric to the isochoric thermodynamic state can reduce energy consumption and augment temperature stability in frozen food storage. Journal of Food Engineering, 251, 1–10. https://doi.org/10.1016/j. jfoodeng.2019.02.001

[19] Liang, D., Lin, F., Yang, G., Yue, X., Zhang, Q., Zhang, Z. & Chen, H. (2015). Dondurulmuş depolama sırasında liçi meyvesinin kaliteli korunması için daldırmalı dondurmanın avantajları. LWT-Gıda Bilimi ve Teknolojisi , 60 (2), 948-956.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

ICSIS

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

MİLLİ KÜLTÜRÜMÜZLE GEÇMİŞTEN GELECEĞE: GELENEKSEL DEĞERLERİN DRAMA İLE AKTARIMI

Eda ŞENGÜR[1*] ve Tuncay Yavuz ÖZDEMİR [2]

[1]*Eğitim Yönetimi / Eğitim Bilimleri, Fırat Üniversitesi, Türkiye*
[2]*Eğitim Yönetimi / Eğitim Bilimleri, Fırat Üniversitesi, Türkiye*

[*]*(edasengur_2384@gmail.com)*

Özet **-** Bu araştırma, Elazığ ili Yenice İlkokulu 2. sınıf öğrencilerinin milli kültür ve değerlerini yaratıcı drama yöntemiyle öğrenmelerini incelemektedir. Araştırmada büyüklerinden hikâye dinleme, video izleme ve yaratıcı drama aktiviteleri gibi etkileşimli yöntemler kullanılarak öğrencilerin milli kültüre dair farkındalık düzeylerinin artırılması hedeflenmiştir. Zayıf deneysel desenle yapılan çalışmada, öğrencilerin kültürel kavramlar hakkındaki bilgi düzeyleri ön test ve son testle ölçülmüştür. Sonuçlar, öğrencilerin milli kültürle ilgili bilgi ve farkındalık düzeylerinde önemli bir artış olduğunu göstermektedir. Yaratıcı drama, öğrencilerin kültürel değerleri somut ve duygusal düzeyde anlamalarını sağlamış, bu süreçte yapılan görsel çalışmalar ise öğrenmeyi pekiştirmiştir. Araştırma, yaratıcı drama yönteminin milli kültürün içselleştirilmesinde etkili bir öğretim aracı olduğunu ve eğitim süreçlerinde daha fazla kullanılmasını önermektedir.

Anahtar Kelimeler: Milli kültür, kültürel miras, toplumsal değerler, yaratıcı drama, değer edinimi

I. GİRİŞ

Kültür, toplumların tarihsel ve toplumsal gelişim süreçlerinde oluşturduğu maddi ve manevi değerlerin bütünüdür. Türk Dil Kurumu [15] kültürü, "tarihsel, toplumsal gelişme süreci içinde yaratılan bütün maddi ve manevi değerler ile bunları yaratmada, sonraki nesillere iletmede kullanılan, insanın doğal ve toplumsal çevresine egemenliğinin ölçüsünü gösteren araçların bütünü; hars, ekin" olarak tanımlamaktadır. Kültür, bireyleri birleştiren en güçlü bağdır ve "bütün bir yaşam biçimi" olarak tanımlanmaktadır [16], [3]. Bu nedenle kültürel değerlerin geleceğe aktarılması, toplumların kimlik ve karakter oluşumunda merkezi bir rol oynadığı söylenebilir.

Kültürel miras, geçmişten devralınan ve gelecek kuşaklara aktarılması hedeflenen fiziksel eserler ile topluma özgü değerler bütünü olarak tanımlanmaktadır [10]. Bu miras, toplumsal birlikteliği pekiştiren unsurların temelini oluşturur ve somut ve somut olmayan iki ana kategoriye ayrılır. Somut kültürel miras, fiziksel olarak gözlemlenebilen unsurları içerirken, somut olmayan kültürel miras ise UNESCO tarafından tanımlanmış bir kavramdır [11] ve [9]' a göre somut olmayan kültürel miras; sözlü gelenekler ve anlatımlar, gösteri sanatları, toplumsal uygulamalar ve ritüeller, doğa ve evrenle ilgili uygulamalar, el sanatları geleneği şeklinde değerlendirilmektedir.

Bir toplumun paylaştığı ortak değerlerin, toplumsal anlayış ve sürekliliği sağladığı söylenebilir. Ortak yaşanmışlıklar, milletleri bir arada tutan ülkü birliğini oluşturur ve eğitim kurumları, millî kimlik gelişimini destekleyerek, millî kültürün içselleştirilmesini sağlamak, toplumsal dayanışmayı artırmak ve bu değerleri

genç nesillere aktararak toplumsal gücü güçlendirmek için önemli bir rol oynar [7]. Kültürel mirasın çocuklara erken yaşlardan itibaren tanıtılması, geçmiş ile gelecek arasında güçlü bir bağ kurulması gerekmektedir. Küreselleşme, medya etkisi ve teknolojik gelişmeler kültürel değerlerin kaybolma riskini artırırken, halk kültürü unsurlarının bu değişimlere uyum sağlaması ve sürdürülebilirliğinin korunması için etkili öğretim yöntemlerinin kullanılması büyük önem taşıdığı ifade edilebilir. Bu bağlamda yaratıcı dramanın, kültürel değerlerin çocuklara erken yaşlardan itibaren kazandırılması için güçlü bir araç olduğu vurgulanabilir.

Yaratıcı drama, katılımcıların özgün düşünce ve bilgilerini kullanarak, önceden belirlenmiş bir metin olmadan, doğaçlama ve canlandırmalarla gerçekleştirdikleri eylem durumları olarak tanımlanır [13]. Doğaçlama ve rol yapma gibi yöntemlere dayalı bu yaklaşım, her yaş ve mekânda uygulanabilir olup, özel bir donanım veya yazılı metin gerektirmez [1]. Heathcote ve Bolton'un geliştirdiği yaklaşımda ise drama, öğretmenin bilgilerini aktarırken sınıfta kullanabileceği etkili bir yöntem olarak tanımlanmıştır [2]. Yaratıcı drama, gerçek yaşam durumlarının dramatize edilmesi, eleştirel düşünme, empati ve toplumsal duyarlılığı artırırken, pedagojik becerilerin gelişimine de önemli katkılar sağlar [8]. Ayrıca, grup temelli etkileşimle sosyal becerilerin güçlenmesine imkân tanır [16].

Yaratıcı drama, öğrenci merkezli bir öğretim yöntemidir ve katılımcıların aktif öğrenmelerini sağlar, öğrencilerin gerçek yaşam durumlarını keşfetmelerine olanak tanır ve öğretmene ise rehberlik rolü verir [4]. Bu yöntem, milli kültür ve değerler edinimi açısından da önemli olduğu düşünülmektedir, çünkü öğrencilerin kültürel mirası içselleştirmelerine ve toplumsal değerleri etkili bir şekilde öğrenebilmelerine yardımcı olacaktır.

Türk kültüründeki gelenekler ve uygulamaların, milli kültürün ve toplumsal değerlerin nesilden nesile aktarılması ve içselleştirilmesinde belirleyici bir rol oynadığı söylenebilir. Bu bağlamda, çalışma kapsamında ***Türk kahvesi, dini bayramlar, misafirperverlik, çeyiz ve evlilik, taziye evi ve yemeği, nevruz ve hıdırellez*** gibi milli unsurların eğitim sürecinde öğrenciler tarafından kavranması hedeflenmektedir. Türk kahvesi, misafirperverlik ve hoşgörü gibi toplumsal değerleri simgeliyor ve bu değerlerin uygulamada somutlaştırılması, kültürel kimliğin sürekliliğini sağlamak açısından önemli işlevler üstlenmektedir. Benzer şekilde, taziye yemekleri toplumsal dayanışma ve empatiyi teşvik etmekte, cenaze sonrası sunulan yemekler ise toplumun acılı ailelere olan desteğini ve birlikte olma anlayışını yansıtmaktadır. Misafirperverlik, saygı ve cömertlik gibi değerlerle iç içe geçmiş bir gelenek olarak, toplumsal bağların güçlenmesine katkı sağlamaktadır. Ramazan ve Kurban Bayramı gibi dini bayramlar ise, kardeşlik, yardımlaşma, sevgi ve hoşgörü gibi toplumsal değerleri pekiştirerek toplumsal birlikteliği desteklemektedir. Çeyiz hazırlığı, sabır, emek ve özveri gibi değerlerin yanı sıra, aileler arası bağların güçlendirilmesine ve kültürel mirasın aktarılmasına imkân tanımaktadır. Nevruz ve Hıdırellez gibi bayramlar, doğa sevgisi, yenilenme ve toplumsal dayanışma gibi değerlere vurgu yaparak toplumsal bağları pekiştirmektedir. Bu geleneksel kutlamalar, milli kültürün öğrenilmesi ve toplumsal değerlerin içselleştirilmesi açısından önemli bir pedagojik araç işlevi görmektedir. Öğrenciler, bu etkinlikler aracılığıyla kültürel kimliklerini pekiştirirken, toplumsal dayanışma duygusunu da güçlendirmektedirler.

II. YÖNTEM

Bu çalışma, Elazığ ili merkezdeki Yenice İlkokulu 2. sınıf düzeyindeki 16 öğrenci ile gerçekleştirilmiş olup, milli kültür ve değer edinimi üzerine odaklanmaktadır. Araştırma kapsamında çalışmaya katılım için öğrenci velilerinden yazılı izin alınmış ve okul idaresinden onay alınmıştır. Öğrenciler ve velilere yapılan bilgilendirmelerde, katılımın gönüllülük esasına dayandığı ve verilerin yalnızca eğitimsel amaçlar için kullanılacağı belirtilmiştir.

Araştırmada, öğrencilerin milli kültürle ilgili kavramları öğrenme süreci, yaratıcı drama gibi etkileşimli öğretim yöntemleri kullanılarak desteklenmiştir. Çalışmanın amacı, öğrencilere milli kültürün çeşitli unsurlarını öğretmek ve bu kültürel değerleri içselleştirmelerine yardımcı olmaktır. Ayrıca, öğrencilerin milli kültürle ilgili farkındalık düzeylerini artırmak da bu sürecin önemli bir parçasını oluşturmuştur. Bu bağlamda, öğrencilerin aktif katılımı sağlanmış ve onların öğrenme süreçlerine doğrudan dâhil olmaları teşvik edilmiştir. Çalışma, dört hafta süresince devam etmiştir.

Araştırma, zayıf deneysel desen kapsamında **tek gruplu ön test-son test deseni** kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tek grup ön test-son test deseni, deneysel işlemin etkisinin yalnızca bir grup üzerinde değerlendirildiği zayıf deneysel desen türüdür. Bu desende, aynı gruba deney öncesinde ön test ve deney sonrasında son test olmak üzere aynı ölçme aracı uygulanır [5]. Ön test ve son test puan ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunması durumunda, bu farkın uygulanan müdahaleden kaynaklandığı varsayılır [12]. Sürecin başında, öğrencilerin millî kültürle ilgili bilgi düzeyleri ve farkındalıkları ön test ile ölçülmüştür. Ardından yaratıcı drama ve diğer etkileşimli yöntemler kullanılarak çalışmalar yürütülmüş, sürecin sonunda ise son test uygulanarak bilgi düzeylerindeki değişim ve farkındalık seviyelerindeki gelişim değerlendirilmiştir. Bu yöntem, öğrencilerin millî kültür ve değerler hakkında bilgi edinmelerini, farkındalık kazanmalarını ve bu değerleri daha derinlemesine anlamalarını sağlamıştır.

III. BULGULAR

Çalışmanın ilk aşamasında, öğrencilere kültürel kavramlarla ilgili bilgi edinmeleri amacıyla büyüklerinden anı ve hikâyeler dinlemeleri istenmiştir. Ardından, öğrenciler, dinledikleri hikâyeleri sınıf ortamında arkadaşlarına anlatmışlardır. Daha sonra öğretmen tarafından milli kültür ve değer edinimine yönelik bilgi aktarımı yapılmış ve öğrencilere videolar izletilmiştir. Sonraki aşamada, yaratıcı drama aktiviteleri uygulanmıştır. Öğrenciler, öğretmen rehberliğinde doğaçlama, rol yapma ve canlandırma gibi etkinliklere katılarak, kültürel değerleri aktif olarak deneyimlemişlerdir. Yaratıcı drama, öğrencilerin kültürel kavramları duygusal ve davranışsal düzeyde anlamalarını mümkün kılacak bir etkileşim sunmuştur. Bu aşamanın ardından, öğrenciler öğrendiklerini resmetmişlerdir, böylece yaratıcı drama ve diğer etkinliklerle kazandıkları bilgileri görsel olarak ifade etme fırsatı bulmuşlardır.

Aşağıdaki tabloda, öğrencilere sorulan sorulara verdikleri cevaplar üzerinden, ön test ve son test arasındaki farklar gösterilmektedir. Tabloda, her soruya "Evet" ve "Hayır" yanıtları yüzdesel olarak verilmiştir:

Tablo 1: Ön Test ve Son Test Sonuçları

	ÖN TEST		SON TEST	
SORULAR	**EVET (%)**	**HAYIR (%)**	**EVET (%)**	**HAYIR (%)**
Soru 1	**46.67**	**53.33**	**100.00**	**0.00**
Soru 2	**33.33**	**66.67**	**87.50**	**12.50**
Soru 3	**33.33**	**66.67**	**87.50**	**12.50**
Soru 4	**33.33**	**66.67**	**100.00**	**0.00**
Soru 5	**50.00**	**50.00**	**100.00**	**0.00**
Soru 6	**58.33**	**41.67**	**100.00**	**0.00**
Soru 7	**33.33**	**66.67**	**100.00**	**0.00**
Soru 8	**41.67**	**58.33**	**100.00**	**0.00**
Soru 9	**50.00**	**50.00**	**100.00**	**0.00**
Soru 10	**41.67**	**58.33**	**87.50**	**12.50**

Soru 11	**58.33**	**41.67**	**100.00**	**0.00**
Soru 12	**66.67**	**33.33**	**100.00**	**0.00**
Soru 13	**33.33**	**66.67**	**93.75**	**6.25**
Soru 14	**50.00**	**50.00**	**100.00**	**0.00**
Soru 15	**41.67**	**58.33**	**100.00**	**0.00**
Soru 16	**50.00**	**50.00**	**81.25**	**18.75**
Soru 17	**50.00**	**50.00**	**100.00**	**0.00**
Soru 18	**58.33**	**41.67**	**100.00**	**0.00**
Soru 19	**50.00**	**50.00**	**100.00**	**0.00**

IV. TARTIŞMA

Araştırma, öğrencilerin millî kültür ve değerler hakkında farkındalık kazanmalarını ve bilgi düzeylerini artırmayı hedeflemiştir. Ön test sonuçları, öğrencilerin kültürel değerlere ilişkin bilgi seviyelerinin başlangıçta yetersiz olduğunu ortaya koymuş, özellikle Türk kahvesi, taziye evi, yemek kültürü, çeyiz ve evlilik hazırlıkları, bayram gelenekleri, Hıdrellez ve Nevruz kutlamaları gibi konularda önemli bilgi eksiklikleri belirlenmiştir. Bu, öğrencilerin kültürel geleneklerin kökenleri ve toplumsal işlevleri hakkında daha fazla bilgi edinmeleri gerektiğini göstermektedir.

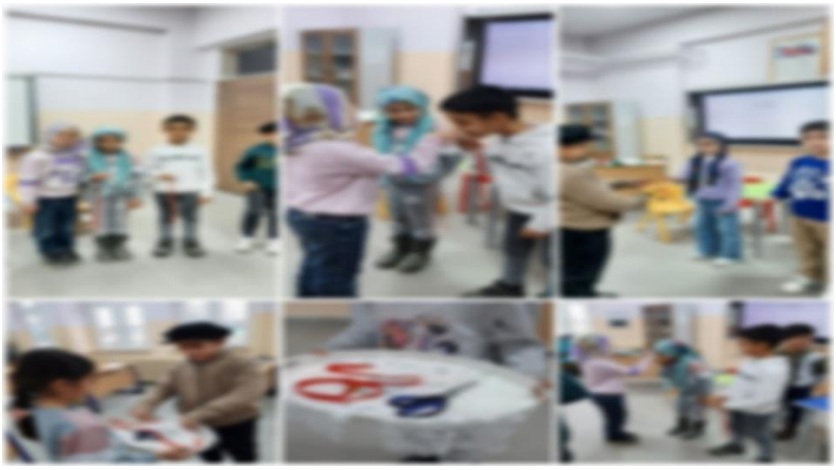
Araştırma sürecinde, öğrencilerin büyüklerinden hikâyeler dinlemesiyle başlayan süreç, onların kültürel kavramlarla duygusal bir bağ kurmasını sağlamış ve nesiller arası bilgi aktarımına katkıda bulunmuştur. Hikâyelerin sınıf ortamında anlatılması ise, öğrencilerin sözel ifade yeteneklerini geliştirirken kültürel bilgilerin paylaşımına olanak tanımıştır. Bu süreç, öğrencilerin dinleme ve anlatma becerilerini kültürel bir bağlamda geliştirmiştir. Öğretmen rehberliğinde gerçekleştirilen yaratıcı drama etkinlikleri, öğrencilerin kültürel kavramları daha somut bir şekilde anlamalarına olanak tanımıştır. Bu bulgular, [6] tarafından vurgulanan, soyut kavramların somutlaştırılmasının önemini ve öğrencilerin ilgisini artırmadaki rolünü desteklemekte ve öğrencilerin hem kültürel değerleri anlamalarını hem de bu değerleri içselleştirmelerini sağlamaktadır [14]. Süreçte kullanılan videolar, görsel bağlamda bilgilerin pekişmesine katkı sağlamış; doğaçlama, rol yapma ve canlandırma etkinlikleri, öğrencilerin bu kavramları aktif olarak deneyimlemelerine fırsat vermiştir. Yaratıcı drama yöntemi, öğrencilerin kültürel değerleri hem teorik düzeyde anlamalarını hem de duygusal ve davranışsal düzeyde içselleştirmelerini sağlamıştır. Ayrıca öğrencilerin kendilerini ifade etme şansını ve iletişim becerilerini artırmıştır [1]. Öğrenciler tarafından gerçekleştirilen görsel çalışmalar, çeyiz sergisine ve drama etkinliğine ilişkin görseller aşağıda sunulmuştur.



Şekil 1. Öğrencilere ait resimle



Şekil 2. Çeyiz sergisi



Şekil 3. Drama etkinliği

V. SONUÇLAR

Araştırmanın son test sonuçları, öğrencilerin bilgi düzeylerinde belirgin bir artış olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle Türk kahvesi ve bayram gelenekleri gibi konularda öğrencilerin %100 doğru yanıtlar verdiği gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, çalışma sonunda öğrencilerden öğrendiklerini resmetmeleri istenmiş, bu da onların öğrendiklerini yaratıcı bir şekilde ifade etmelerini sağlamıştır. Bu görsel çalışmalar, öğrencilerin öğrenmelerini pekiştirmiştir.

Sonuç olarak yaratıcı drama yöntemi; hikâye anlatımı, video ile destekleme ve öğrencilerin öğrendiklerini resmetmeleriyle pekiştirilerek, öğrencilerin millî kültür ve değerlere ilişkin bilgi ve farkındalık düzeylerini artırmada etkili bir yaklaşım olarak öne çıkmıştır. Özellikle yaratıcı drama, kültürel kavramların somutlaştırılmasını sağlayarak bu değerlerin öğrenciler tarafından içselleştirilmesine önemli katkılar sunmuştur.

ÖNERİLER

Millî kültür ve değerlerin içselleştirilmesi için yaratıcı drama yöntemine eğitim süreçlerinde daha fazla yer verilmelidir. Yaratıcı drama, öğrencilerin kültürel değerleri hem bilgi hem de duygusal ve davranışsal düzeyde anlamalarını sağlamaktadır. Ayrıca, öğrencilerin büyüklerinden hikâye dinleme ve paylaşma süreçleri, nesiller arası bilgi aktarımını desteklediği gibi, kültürel bağların güçlenmesine de katkı

sunmaktadır. Görsel ve yaratıcı faaliyetlerin eğitim programlarına dâhil edilmesi, öğrenmeyi pekiştirirken öğrencilerin yaratıcılıklarını geliştirmektedir. Kültürel değerlerin etkili bir şekilde kazandırılabilmesi için ise süreç odaklı yaklaşımlar benimsenmeli, tematik haftalar ve yerel projeler gibi uzun vadeli etkinliklerle desteklenmelidir.

KAYNAKLAR

[1] Adıgüzel, Ö. (2018). *Eğitimde yaratıcı drama* (1. baskı). Yapı Kredi Kültür Sanat Yayıncılık.
[2] Aslan, N. (Ed.). (2009). *Eğitimde drama*. Oluşum Yayınları.
[3] Baykara, T. (2001). *Türk kültür tarihine bakışlar*. Atatürk Kültür Merkezi Yayınları.
[4] Bertiz, H. (2017). Drama. T. Erdoğan (Ed.), *Okul öncesinden ilköğretime kuramdan uygulamaya drama* (s. 295–341). Eğiten Kitap.
[5] Büyüköztürk, Ş., Çakmak, E. K., Akgün, Ö. E., Karadeniz, Ş. ve Demirel, F. (2016). *Bilimsel araştırma yöntemleri*. Pegem Akademi Yayınları.
[6] Dolmaz, M. (2021). Eğitimde mizahi bir materyal: Karikatür. Ş. Oruç ve G. O. İlhan (Ed.), *Eğitim ve mizah* (s. 331–350). Nobel.
[7] Gurbuz, O. (2017). Dil-kültür ilişkisi, etnik dilsel canlılık ve dil ölümü bağlamında Fransa'da yaşayan Türklerde ana dil olarak Türkçenin durumu. *Asos Journal (Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi)*, *5*(61), 271–288.
[8] Horasan-Doğan, S. ve Cephe, P. T. (2020). The effects of creative drama on student teachers' creative pedagogy and identity. *Thinking Skills and Creativity, 38,* 100736. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2020.100736
[9] Karabaşa, S. (2009). Somut olmayan kültürel miras envanteri. *Türkiye Bilimler Akademisi Kültür Envanteri Dergisi*, *(7),* 179–182.
[10] Köroğlu, Ö., Ulusoy, Y. H. ve Avcıkurt, C. (2018). Kültürel miras kavramına ilişkin algıların metafor analizi yoluyla incelenmesi. *Turizm Akademik Dergisi, 5*(1), 98–113.
[11] Öcal, O. (2013). Terim olarak somut olmayan kültürel miras. *Milli Folklor Dergisi, 25*(100), 5–13.
[12] Özmen, H. (2015). Deneysel araştırma yöntemi. M. Metin (Ed.), *Kuramdan uygulamaya eğitimde bilimsel araştırma yöntemleri* (s. 48–76).
[13] San, İ. (1998). Yaratıcı drama çalışmalarının dünü ve bugünü. B. Onur (Ed.), *2. Ulusal Çocuk Kültürü Kongresi Bildirileri*. Ankara.
[14] Sarısoy, B. ve Alcı, B. (2021). Hizmet içi eğitimde yaratıcı drama temelli aktif öğrenme uygulaması. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, *53,* 205–233. https://doi.org/10.9779/pauefd.732952
[15] Türk Dil Kurumu. (2023). *Büyük Türkçe sözlük*. https://sozluk.gov.tr/
[16] Williams, R. (1993). *Kültür* (S. Aydın, Çev.). İmge Kitabevi Yayınları.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Lecturers' Perceptions of Online Learning Through the Home-Based Teaching and Learning (PdPR) Approach

Ahmad Muzri Bin Mohammad Najib[1], Amir Afuan Bin Nordin[2], Wan Siti Rodziah Binti Mohd Nasir[3]

[1]*Politeknik Jeli Kelantan*

[2]*Politeknik Jeli Kelantan*

[3]*Politeknik Kota Bharu*

[*]*muzri@pjk.edu.my*

Abstract **-** Online learning is not an entirely new concept within institutions of higher learning, as it had been previously employed as a complementary approach to conventional face-to-face instruction. However, with the increasing emphasis on digitalisation and flexible education delivery, the Home-Based Teaching and Learning (PdPR) approach has evolved into a critical mode of instruction to ensure the continuity of educational processes. Consequently, educators have been required to transition fully to online platforms, adapting their teaching methods to suit virtual environments.

The primary aim of this study is to explore lecturers' perceptions of online learning through the PdPR approach and to examine whether there exists a significant relationship between gender and those perceptions. This study employed a survey research design using a quantitative approach, involving 78 lecturers from Politeknik Jeli Kelantan. Data were collected through an online questionnaire distributed via Google Forms and subsequently analysed using the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) version 24.

The results revealed that there was no statistically significant relationship between gender and lecturers' perceptions of online learning through PdPR. Furthermore, the study reported an overall mean score of 3.3065, indicating that the lecturers' perceptions were at a moderate level. These findings may provide valuable insights for the Ministry of High Education Malaysia (MOHE) in its efforts to further enhance the implementation and effectiveness of PdPR, in alignment with the demands of the Fourth Industrial Revolution (IR 4.0).

Keywords: Online learning, teaching and learning from home, Polytechnic Education

1.0 Introduction

Online learning is not a new concept in the field of education, as it has long been used to complement traditional face-to-face learning methods in higher education institutions. However, the increasing integration of digital technology in recent years has made online learning more relevant and necessary as an alternative approach in the teaching and learning process.

Educators are now required to adapt and embrace the Teaching and Learning from Home (PdPR) approach using various digital platforms to ensure the continuity and effectiveness of education. Although online learning has been introduced for some time, its implementation had not been emphasized extensively, which led many educators to feel more comfortable with traditional teaching methods.

Therefore, this study aims to explore in greater depth lecturers' perceptions of online learning through the PdPR approach in normal educational settings. In addition, the study also seeks to identify the relationship between gender and lecturers' perceptions of online learning via the PdPR approach. The research questions of this study are:

1. What are lecturers' perceptions of online learning through the PdPR approach in regular teaching contexts?
2. What preparatory steps have lecturers taken to implement online learning through the PdPR approach in everyday teaching?

2.0 Literature Review

Online learning has become an integral part of the education system and continues to evolve in response to technological advancements and changing educational needs. According to Muhammad et al. (2016), online learning refers to the use of various web-based tools and platforms to deliver educational content and facilitate interaction between instructors and learners. In recent years, this approach has gained more attention as institutions increasingly move towards blended and flexible learning models.

A study by Hashim & Ahmad (2022) highlighted that the integration of digital tools such as Google Classroom, Microsoft Teams, and Moodle has significantly improved students' engagement and allowed for a more personalised learning experience. Lecturers who adopted these tools reported improved interaction with students and greater efficiency in content delivery.

In addition, the findings from Noor & Salleh (2023) indicated that lecturers' perceptions towards online learning are influenced by their digital competencies and institutional support. Lecturers with prior experience using digital platforms expressed higher confidence and adaptability in delivering lessons remotely. This finding is supported by international studies such as Wang et al. (2021), who found that professional development and continuous training play a key role in enhancing educators' readiness for online teaching.

Meanwhile, a study by Tan & Ismail (2024) involving polytechnic lecturers in Malaysia found that although many lecturers acknowledge the benefits of online learning, some still prefer face-to-face instruction due to concerns about student participation and assessment integrity. This aligns with the research of Li & Chen (2022), who observed that asynchronous learning tools can sometimes lead to reduced student motivation if not accompanied by active instructor feedback and interaction.

Furthermore, according to Rahman et al. (2025), the effectiveness of online learning also depends on the learning environment's flexibility and inclusivity. Their study suggested that institutions should adopt a learner-centred approach that considers students' diverse needs, such as internet accessibility, learning styles, and personal responsibilities.

In conclusion, the literature shows that while online learning offers many advantages, its success depends heavily on educators' preparedness, technological infrastructure, student engagement, and institutional

support. The PdPR approach, as a method of structured online learning, must continue to evolve to ensure quality, accessibility, and effectiveness in line with the demands of the 21st-century education landscape.

3.0 Methodology

This study employed a survey design with a quantitative approach. An online questionnaire, developed using Google Forms, was used as the primary instrument to collect data from respondents. A total of 78 lecturers from Politeknik Jeli Kelantan participated in this study. The online questionnaire consisted of two sections: Section A and Section B.

Section A gathered demographic information about the lecturers, while Section B focused on lecturers' perceptions of online learning through the Teaching and Learning from Home (PdPR) approach in a regular educational setting. The questionnaire used a five-point Likert scale with the following response options: Strongly Disagree, Disagree, Slightly Agree, Agree, and Strongly Agree.

A pilot study was conducted to test the reliability of the instrument, and the collected data were used to measure its internal consistency. The Cronbach's Alpha reliability coefficient obtained was 0.84, indicating that the questionnaire was suitable and reliable for this research.

The Pearson correlation coefficient obtained in this study was interpreted using the updated framework proposed by Zaki and Ahmad (2017), which offers a more detailed and contemporary scale for analyzing the strength of relationships between variables. As shown in Table 1, this updated interpretation scale divides the correlation values into five distinct categories: from "Very Low" to "Very High" relationships. This approach provides a clearer and more nuanced understanding of the relationship between gender and lecturers' perceptions of online learning through the Teaching and Learning from Home (PdPR) approach, allowing the study to capture even subtle variations in the data.

Table 1: Interpretation of Pearson Correlation (Zaki & Ahmad, 2017)

Correlation Coefficient (r)	**Interpretation**
< 0.2	Very Low Relationship
0.2 – 0.4	Low Relationship
0.4 – 0.6	Moderate Relationship
0.6 – 0.8	High Relationship
> 0.8	Very High Relationship

The mean scores obtained in this study were interpreted using the classification proposed by **Zaki and Ahmad (2017)**, which provides a more detailed and comprehensive scale for analyzing respondents' perceptions. This five-level scale ranging from "Very Low" to "Very High" offers a clearer and more nuanced understanding of the varying degrees of agreement or perception levels among respondents. As shown in **Table 2**, this interpretation was applied to evaluate the lecturers' perceptions of online learning through the Teaching and Learning from Home (PdPR) approach in a typical educational setting, allowing the researchers to identify specific patterns and intensities of perception with greater accuracy.

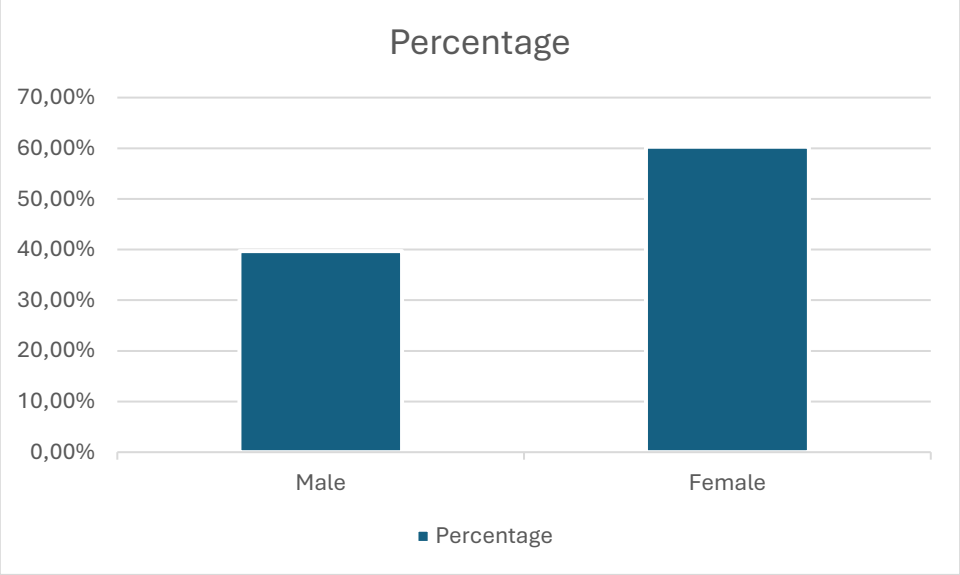
Table 2: Interpretation of Mean Scores (Zaki & Ahmad, 2017)

Mean Score	Interpretation
1.00 – 1.89	Very Low
1.90 – 2.69	Low
2.70 – 3.49	Moderate
3.50 – 4.29	High
4.30 – 5.00	Very High

4.0 Research Findings

Based on Section A, which encompasses demographic information, data on the respondents' profiles as study subjects and their teaching experience were gathered. Table 3 illustrates that, out of the total 78 lecturers who participated in this study, 31 were male (39.7%) and 47 were female (60.3%). These respondents provided valuable cooperation by answering the questionnaire instrument distributed for the purpose of this study. This demographic distribution allows for a balanced representation of both male and female lecturers, which is crucial for analyzing any potential differences in perceptions of online learning through the Teaching and Learning from Home (PdPR) approach. The data collected also helps in understanding the general profile and teaching experience of the respondents, providing a comprehensive context for interpreting the results of the study.

Table 3: Respondent Profile



As shown in Figure 1, the majority of respondents, accounting for 96.2%, have teaching experience of 11 years or more, while 3.8% have teaching experience of 6 to 10 years. Furthermore, the findings of this study indicate that there are no respondents with teaching experience of 1 to 5 years.

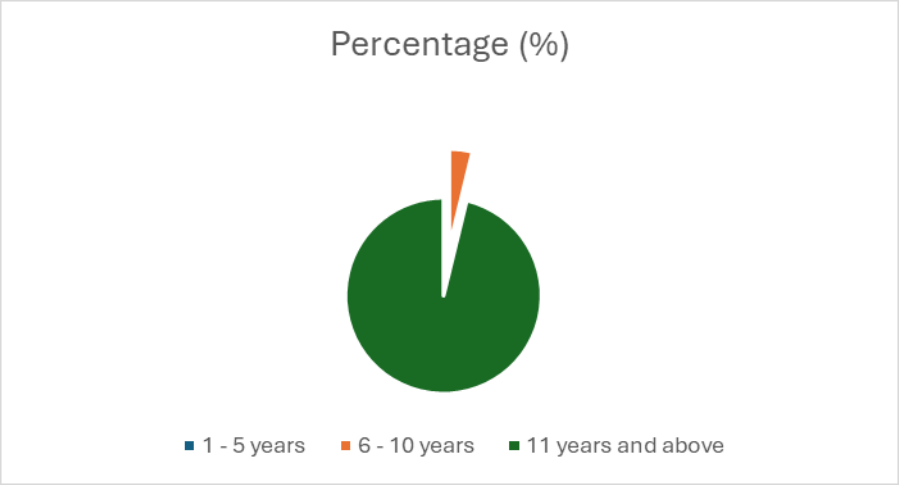


Figure 1: Teaching Experience of Respondents

Table 4: Correlation Analysis Between Gender and Lecturers' Perception of Online Learning through the PdPR Approach

	Gender	Lecturers' Perception
Correlation Coefficient	1	-0.036
Sig. (2-tailed)		0.752
Correlation Coefficient	-0.036	1
Sig. (2-tailed)	0.752	

Table 4 shows the Pearson correlation between gender and lecturers' perceptions of online learning through the PdPR approach. The Pearson correlation analysis conducted to examine the relationship between gender and lecturers' perceptions of online learning through the Home-Based Teaching and Learning (PdPR) approach indicated that there was no significant relationship between the two variables. The Pearson correlation coefficient obtained was -0.036 with a significance value (p) of 0.752. The coefficient value, which is close to zero, indicates that the relationship between gender and lecturers' perceptions is very weak and not statistically significant. Therefore, it can be concluded that gender does not have a significant influence on lecturers' perceptions regarding the implementation of PdPR.

Table 5: Lecturers' Readiness

Lecturers' Readiness Statement	Mean (M)	Standard Deviation (SD)	Interpretation
I am ready to use printed modules as teaching materials at home.	3.21	1.085	Moderate
I am ready to use online learning materials available on the internet, such as YouTube, for teaching from home.	3.67	0.976	high
I am ready to use learning management systems such as Google Classroom, Google Meet, and CIDOS as platforms for online learning.	4.03	0.868	high

The findings related to lecturers' readiness for online learning through the PdPR approach are presented in Table 5. This study also evaluated the preparatory measures and overall readiness of lecturers in implementing PdPR. Several questionnaire items assessed readiness in terms of the use of materials and platforms. The findings revealed varying levels of readiness depending on the type of method or learning resources used. Based on the data, the readiness of lecturers to use printed modules as teaching materials at home recorded a mean value of M = 3.21; SD = 1.085, which is considered a moderate level.

The readiness to use online learning resources such as YouTube for teaching from home showed a higher mean value of M = 3.67; SD = 0.976, indicating a high level of readiness. Furthermore, the readiness to use learning management systems such as Google Classroom, Google Meet, and CIDOS as platforms for online learning demonstrated a mean value of M = 4.03; SD = 0.868, also reflecting a high level of readiness.

In terms of teaching materials, the majority of lecturers showed greater readiness to conduct online learning using internet-based resources like YouTube compared to using printed modules.

In conclusion, the findings indicate that lecturers are well-prepared to implement online learning through the PdPR approach. Overall, the findings indicate that lecturers at Politeknik Jeli Kelantan demonstrate a high level of readiness to implement PdPR, particularly in terms of utilizing technology and digital resources. However, their readiness to use conventional materials, such as printed modules, is relatively moderate.

Table 6: Lecturer's perception

Lecturers' Readiness Statement	Mean (M)	Standard Deviation (SD)	Interpretation
I believe that it is easier to teach with online learning	3.26	1.098	Moderate
Online learning makes it easier for me to prepare teaching materials.	3.59	1.062	Moderate
Online learning makes it easier for me to send assignments to students.	3.82	0.908	High
The lack of stable internet access is a challenge for me.	3.42	1.391	Moderate
I believe that online learning creates difficulties in communication.	3.21	1.283	Moderate
I think that I am not proficient in the use of social media, email and online educational platforms.	2.49	1.192	Moderate
I think that online learning can improve student performance.	2.82	1.148	Moderate
I think that online learning is more interesting than face-to-face learning.	2.87	1.121	Moderate
total	3.3065	0.69034	Moderate

Based on Table 6, a descriptive analysis conducted using SPSS software revealed that lecturers overall exhibited a moderate level of perception toward online learning via PdPR, with a mean value of 3.31 and a standard deviation of 0.690."

The item with the highest mean value was “Online learning makes it easier for me to send assignments to students” (M = 3.82, SD = 0.908), interpreted as a high level of perception. This finding indicates that most lecturers agreed that PdPR facilitated the process of submitting assignments to students. This reflects their readiness to use digital platforms to support online teaching and learning.

Additionally, several other items recorded moderate mean values, such as “Online learning makes it easier for me to prepare teaching materials” (M = 3.59), “The lack of stable internet access is a challenge for me” (M = 3.42), and “I believe that it is easier to teach with online learning” (M = 3.26). These results show that while certain aspects of PdPR eased lecturers' tasks, they still faced constraints such as unstable internet access and challenges in adapting to teaching methods that differ from conventional practices.

At the same time, other items showed moderate-to-low perceptions, such as “I believe that online learning creates difficulties in communication” (M = 3.21), “I think that online learning can improve student performance” (M = 2.82), and “I think that online learning is more interesting than face-to-face learning” (M = 2.87). This suggests lingering skepticism among lecturers about the effectiveness of online learning in terms of communication and student achievement.

The item with the lowest mean value was “I think that I am not proficient in the use of social media, email, and online educational platforms” (M = 2.49, SD = 1.192). Although still categorized as moderate, this value implies that some lecturers perceived themselves as lacking proficiency in digital technology, which may impact the effectiveness of PdPR implementation.

Overall, this study reveals that the majority of lecturers had a moderate level of readiness and perception toward online learning via the PdPR approach. While acknowledged advantages included ease of assignment submission and teaching material preparation, lecturers also faced challenges such as internet access constraints, communication barriers, and technological skill gaps among some individuals. Therefore, ongoing support in the form of professional training, improved digital infrastructure, and technological guidance is essential to strengthen PdPR implementation among lecturers.

5.0 Discussion

Based on the analysis conducted on lecturers' perceptions of online learning through the home-based teaching and learning approach (PdPR), it was found that there was no significant correlation between gender and lecturers' perceptions of online learning through the PdPR approach. This is because the correlation value was lower than 0.2. These findings differ from the study by Mohammad Ziaul Haq (2020), which stated that male educators had a higher perception of online learning during this period.

Furthermore, the results showed that lecturers were willing to implement online learning using platforms such as YouTube, videos, and learning management systems like Google Classroom, Google Meet, and CIDOS. These findings align with studies conducted by Lapada et al. (2020) and Rasmitadila et al. (2020). However, a study by Trust & Whalen (2020) showed differing results, where most educators were unprepared for online learning and required substantial support. A high level of preparedness is crucial among lecturers to enhance teaching practices and create engaging learning experiences for students.

Additionally, the study findings indicate that online learning facilitates lecturers in assigning tasks to students. This is consistent with the study by Muhammad Ziaul Hoq (2020), which stated that online learning makes it easier for lecturers to update assignments for students over time. These findings are also

in line with those of Melor and Mohd Zairey (2020), who stated that online learning can improve student performance and is more engaging than face-to-face learning.

Overall, the results of this study found that lecturers' perceptions of online learning through the PdPR approach were at a moderate level. This finding does not align with the study by Bernice et al. (2020), which indicated that lecturers had a high perception of online learning, believing that it had a positive impact on students.

However, this study is limited to lecturers at Politeknik Kota Bharu. The data and information gathered are specific to lecturers' perceptions of online learning through the home-based teaching and learning approach (PdPR). Therefore, much of the information in this study was obtained through survey findings. Additionally, this data may not represent the perceptions of lecturers at other polytechnics regarding online learning.

6.0 Conclusion

This study focuses on the level of lecturers' perceptions of online learning through the PdPR approach. The findings of the study indicate that lecturers' perceptions of online learning through the PdPR approach are at a moderate level. Due to the sudden shift to online learning, educators and students were required to adapt to this new method without prior preparation. Understanding lecturers' perceptions of online learning is crucial for the purpose of integrating the PdPR process effectively. Therefore, the findings of this study can be extended to the Ministry of Education Malaysia (KPM) to improve the quality of the PdPR delivery process, in line with the advancements of the Industry 4.0 revolution. Furthermore, it is hoped that a more in-depth study can be conducted to reach a comprehensive and robust conclusion.

References

[1] Hashim, M., & Ahmad, R. (2022). *Digital Learning Tools and Student Engagement in Higher Education*. Journal of Online Education, 14(2), 55–64.

[2] Noor, H., & Salleh, S. (2023). *Lecturer Readiness and Perception Towards Online Teaching in Malaysian Tertiary Institutions*. Malaysian Journal of Educational Technology, 12(1), 21–30.

[3] Rahman, N. A., Yusof, M. R., & Tan, C. H. (2025). *Towards Inclusive and Flexible Online Learning: Challenges and Solutions*. International Journal of e-Learning, 18(1), 44–58.

[4] Tan, Z. A., & Ismail, N. H. (2024). *A Study on Polytechnics Lecturers' Acceptance of Online Teaching Platforms*. Journal of TVET and Lifelong Learning, 9(3), 88–99.

[5] Wang, J., Lee, K., & Chen, M. (2021). *Teachers' Digital Competence and Online Teaching Effectiveness During the Transition to Hybrid Learning*. Journal of Educational Innovation, 33(4), 112–127.

[6] Li, H., & Chen, Y. (2022). *Exploring the Role of Feedback in Online Learning Environments*. Journal of e-Teaching and Learning, 11(2), 75–85.

[7] Bernice, K., Low, J. Y., & Lim, C. T. (2020). *Positive impacts of online learning on teaching and student performance*. *Southeast Asian Journal of Educational Studies,8*(1), 67–79.

[8] Hashim, M., & Ahmad, R. (2022). *Digital learning tools and student engagement in higher education*. *Journal of Online Education, 14*(2), 55–64.

[9] Lapada, A. A., Miguel, F. F., Robledo, D. A., & Alam, Z. F. (2020). *Teachers' COVID19 awareness, distance learning education experiences and perceptions towards institutional readiness and challenges*. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research, 19*(6), 127–144.

[10] Li, H., & Chen, Y. (2022). *Exploring the role of feedback in online learning environments*. *Journal of e-Teaching and Learning, 11*(2), 75–85.

[11] Melor, M. Y., & Mohd Zairey, M. R. (2020). *Digital tools in teaching: Perspectives of Malaysian educators during pandemic*. *Asian Journal of University Education, 16*(3),1–10.

[12] Mohammad Ziaul Haq. (2020). *Male educators' perceptions of online teaching during pandemic lockdown*. *International Journal of Modern Education, 2*(1), 45–55.Noor, H., & Salleh, S. (2023). *Lecturer readiness and perception towards online teaching in Malaysian tertiary institutions*. *Malaysian Journal of Educational Technology, 12*(1), 21–30.

[13] Zaki, R., & Ahmad, N. (2017). *Modern interpretation of correlation and mean score in educational research*. *Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities, 6*(2), 101–109.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

ZnO Glucose Sensor Types and Current Working Areas

Beytullah Diyar SÜRGİT[1], Mehmet Hakan ÇOLPAN[2], Murat YILDIRIM[1,*]

[1]*Department of Biotechnology, Faculty of Science, Selcuk University, 42130, Konya, Türkiye*
[2]*Deparment of Property Protectıon and Securıty, Kadınhanı Faik İçil Vocatıonal School Selcuk University, 42800, Konya, Türkiye*

[*]*muratyildirim@selcuk.edu.tr (Corresponding author)*

Abstract – In this study, we provide a comprehensive review of recent advances in glucose biosensors developed using zinc oxide (ZnO) nanostructures. Accurate and rapid measurement of glucose levels is crucial for the effective management of diabetes. In this context, ZnO's high surface area, chemical stability, biocompatibility and semiconductor properties offer an ideal platform to improve the performance of glucose sensors. Post-2023 studies in the literature reveal that by synthesizing ZnO in various morphologies such as nanorods, nanotubes, nanofibers, etc., sensors are significantly improved in terms of sensitivity, selectivity and long-term stability. Moreover, combining ZnO with other nanomaterials such as carbon nanotubes, graphene and metal nanoparticles has enhanced the electrochemical performance of the sensors. Thanks to these developments, the accuracy of both enzymatic and non-enzymatic glucose sensors has increased, low detection limits have been achieved, and real-time measurements have become possible. This paper aims to provide a comprehensive overview of the technological advances in this field by detailing the structural designs, fabrication methods and application areas of ZnO-based glucose sensors.

Keywords – Biosensor, Glucose, ZnO, Nanoparticle, Diabetes

I. INTRODUCTION

Diabetes is a metabolic disease that affects millions of people worldwide and requires long-term monitoring and intervention. Accurate and continuous monitoring of blood glucose levels is critical for treatment success. In this context, glucose biosensors stand out with their fast, accurate and reliable measurement [1]. Especially with the advances in nanotechnology, the integration of metal oxide nanostructures such as ZnO into sensor technologies has significantly improved the performance of these systems [2].

-Properties And Advantages Of Zno Nanostructures:

ZnO is used as an ideal material in glucose biosensors due to its wide band gap (3.37 eV), high isoelectric point (~9.5), biocompatibility and chemical stability [3]. It offers a high surface area with various morphological forms such as nanorod, nanotube, nanosphere, nanowire. This allows more biomolecules to bind and creates a more effective sensor surface. In addition, ZnO's sensitivity to UV light allows it to be used in optical sensors [4].

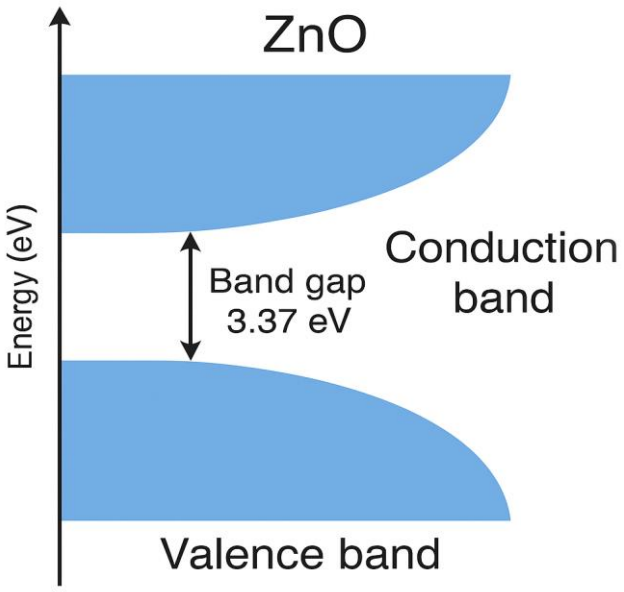


Fig. 1 Schematic ZnO band gap

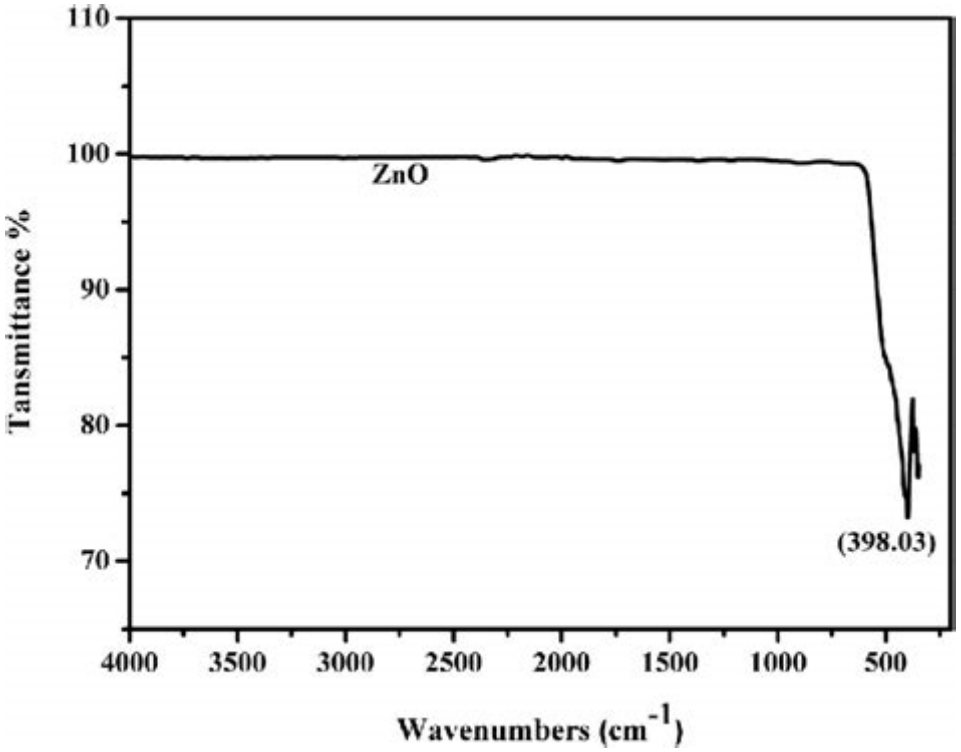


Fig.2 ZnO nanopattern FTIR spectrum [5].

II. Materials and Method

A. ENZYMATIC ZNO-BASED GLUCOSE SENSORS:

Enzymatic sensors are usually based on the principle of immobilization of glucose oxidase (GOx) enzyme on the ZnO surface. The high isoelectric point of ZnO allows it to interact effectively with the GOx enzyme. This increases the sensitivity and stability of the sensor. In addition, the crystal structure of ZnO facilitates electron transfer and accelerates the sensor reaction [6].

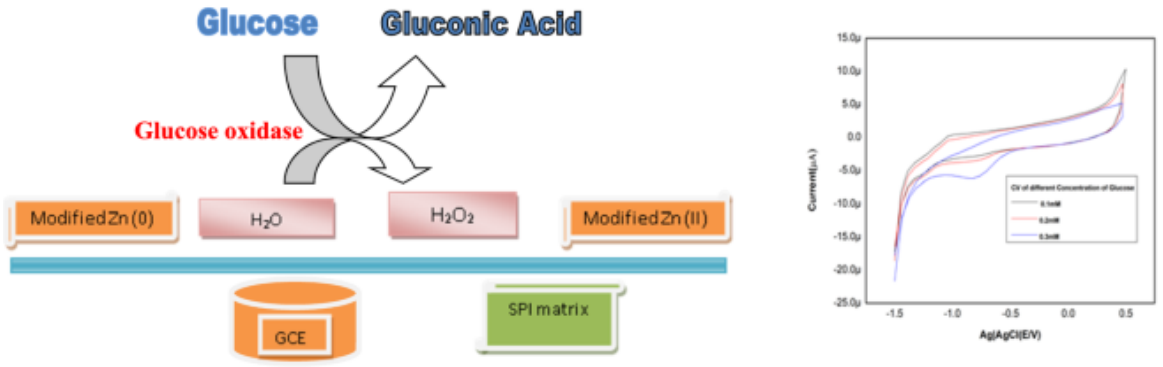


Fig. 3 Glucose biosensor mechanism. This biosensor was developed using ZnO nanoparticles and SPIF. The enzyme glucose oxidase (GOx) was immobilized on the SPIF. Glucose is oxidized by GOx to produce gluconolactone and hydrogen peroxide (H_2O_2). The formed H_2O_2 is electrochemically reduced on ZnO nanoparticles, which generates a measurable current signal. This signal is used to determine the glucose concentration [7].

ZnO Nanorod Utilization:

ZnO nanorods optimize electron transfer due to their highly oriented structure. It offers lower detection limits and a wider linear range by providing a surface suitable for GOx immobilization. In post-2023 studies, it is seen that the controllability of the production of ZnO nanorods by hydrothermal methods provides flexibility in sensor design [8][9].

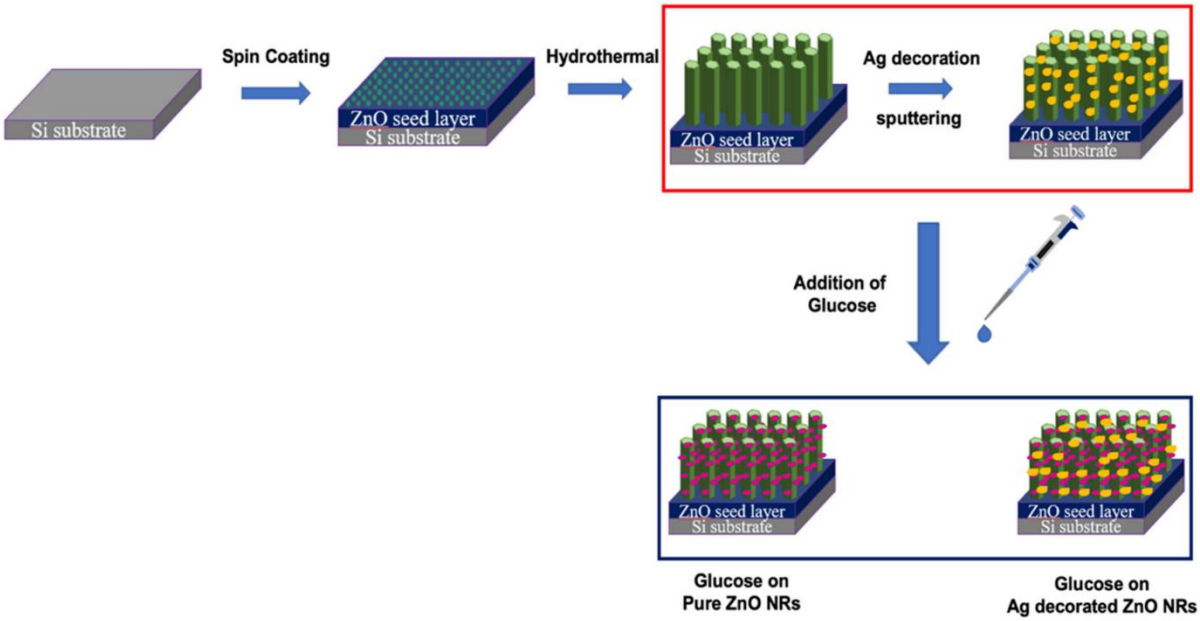


Fig. 4 Schematic diagram of the synthesis of ZnO NRs and Ag-decorated ZnO NRs and fabrication of electrodes for CV measurement with glucose on ZnO/Ag-decorated ZnO NRs grown on Si substrates [10].

B. NON-ENZYMATIC ZNO-BASED GLUCOSE SENSORS:

Non-enzymatic sensors are based on the direct electrochemical oxidation of glucose on the ZnO surface. This structure eliminates enzyme-induced instability and offers longer-lasting, lower-cost sensor systems [11][12].

ZnO/Co_3O_4/Rgo Nanocomposites:

Nanocomposites of ZnO with Co_3O_4 and reduced graphene oxide (rGO) have synergistic properties that enhance sensor performance. The conductivity of rGO, the redox properties of Co_3O_4 and the surface chemistry of ZnO combine to develop highly sensitive, fast-responding and low detection limit sensor systems [13].

Ag Decorated ZnO Structures:

ZnO structures modified with silver nanoparticles catalyze the oxidation of glucose by forming active sites on the sensor surface. Such structures have been reported to give very good results, especially in terms of selectivity and are not affected by interferences [14].

C. THE USE OF ZNO IN OPTICAL GLUCOSE SENSORS:

The photoluminescence properties of ZnO are modified by the oxidation of glucose on the ZnO surface under UV light. This enables optical detection of glucose concentration. This type of sensor offers significant advantages for non-invasive applications and is being investigated for use in wearable devices [15][16].

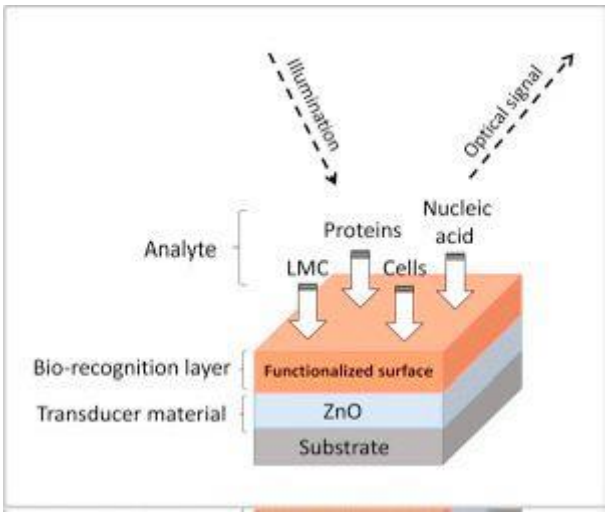


Fig.5 ZnO-based optical biosensor scheme [17].

D. FUTURE DIRECTIONS AND APPLICATIONS:

Wearable Sensors: The ability to integrate ZnO into flexible substrates enables the development of sensors that allow glucose measurement from sweat or saliva [18].

Non-invasive Detection Systems: Studies on systems that can measure glucose without subcutaneous placement are increasing [19].

Energy Generating Sensors: The piezoelectric properties of ZnO offer the opportunity for sensor systems that can generate their own energy needs [20][21].

III. RESULTS

With nanotechnological advances in ZnO-based glucose sensors, sensitivity, selectivity and durability have increased significantly.

IV. DISCUSSION

The integration of ZnO into multicomponent nanocomposites strengthens the potential of sensor technology for everyday use and supports the expansion of biosensors into wider application areas.

V. CONCLUSION

The combination of ZnO with innovative nanostructures has improved the performance of glucose sensors, providing more reliable and accessible solutions.

VI. ACKNOWLEDGMENT

The heading of the Acknowledgment section and the References section must not be numbered.

REFERENCES

[1] M. M. Rahman, A. J. S. Ahammad, J.-H. Jin, S. J. Ahn, and J.-J. Lee, "A Comprehensive Review of Glucose Biosensors Based on Nanostructured Metal-Oxides," *Sensors*, vol. 10, no. 5, pp. 4855–4886, May 2010.

[2] M. L. M. Napi, S. M. Sultan, R. Ismail, K. W. How, and M. K. Ahmad, "Electrochemical-Based Biosensors on Different Zinc Oxide Nanostructures: A Review," *Materials (Basel).*, vol. 12, no. 18, p. 2985, Sep. 2019.

[3] R. Gopalakrishnan and M. Ashokkumar, "Comparative assessment of transition metals doping effects on structural, optical, optical conductivity, and photocatalytic features of ZnO nanoparticles," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 35, no. 24, p. 1614, Aug. 2024.

[4] S. Mallick *et al.*, "Green-synthesized ZnO nanorods as potential deefeblement agent of Pseudomonas aeruginosa and Staphylococcus aureus biofilm," *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, vol. 57, p. 103091, Apr. 2024.

[5] E. Selva Esakki, G. Deepa, P. Vivek, L. Renuga Devi, N. L. Sheeba, and S. Meenakshi Sundar, "Investigation on electrochemical analysis of ZnO nanoparticles and its performance for dye-sensitized solar cells using various natural dyes," *J. Indian Chem. Soc.*, vol. 100, no. 2, p. 100889, Feb. 2023.

[6] R. Ahmad and B.-I. Lee, "Facile fabrication of palm trunk–like ZnO hierarchical nanostructure–based biosensor for wide-range glucose detection," *Chem. Eng. J.*, vol. 492, p. 152432, Jul. 2024.

[7] C. S. Rawat and A. Bagaria, "Fabrication and characterization of an electrochemical glucose biosensor using zinc oxide nanoparticles and soy protein isolate film support matrix," *MRS Commun.*, vol. 12, no. 5, pp. 930–936, Sep. 2022.

[8] M. Bakry, W. Ismail, M. Abdelfatah, and A. El-Shaer, "Low-cost fabrication methods of ZnO nanorods and their physical and photoelectrochemical properties for optoelectronic applications," *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, p. 23788, Oct. 2024.

[9] R. Perumal, "Synthesis and characterizations of zinc oxide nanorods by cost effective aqueous hydrothermal technique for solid state lighting applications," *J. Indian Chem. Soc.*, vol. 101, no. 10, p. 101289, Oct. 2024.

[10] Y.-H. Lin, C. Sivakumar, B. Balraj, G. Murugesan, S. K. Nagarajan, and M.-S. Ho, "Ag-Decorated Vertically Aligned ZnO Nanorods for Non-Enzymatic Glucose Sensor Applications," *Nanomaterials*, vol. 13, no. 4, p. 754, Feb. 2023.

[11] A. K. Manna, P. Guha, S. K. Srivastava, and S. Varma, "Non-enzymatic glucose sensors based on electrodeposited CuxO–ZnO composite nanostructures," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 35, no. 2, p. 188, Jan. 2024.

[12] T. Dayakar., K. Venkateswara Rao., K. Bikshalu., V. Rajendar., and S.-H. Park, "Novel synthesis and structural analysis of zinc oxide nanoparticles for the non enzymatic glucose biosensor," *Mater. Sci. Eng. C*, vol. 75, pp. 1472–1479, Jun. 2017.

[13] B. A. Hussein, A. A. Tsegaye, G. Shifera, and A. M. Taddesse, "A sensitive non-enzymatic electrochemical glucose sensor based on a ZnO/Co 3 O 4 /reduced graphene oxide nanocomposite," *Sensors & Diagnostics*, vol. 2, no. 2, pp. 347–360, 2023.

[14] M. Junaid, A. Haleema, R. Jabeen, M. B. A. AL-Rawi, M. El-Meligy, and S. Ahmed, "Fabrication and Potential Characterization of Silver-Doped Zinc Oxide Glucose Biosensor," *Phys. status solidi*, Oct. 2024.

[15] V. Vinoth, G. Subramaniyam, S. Anandan, H. Valdés, and P. Manidurai, "Non-enzymatic glucose sensor and photocurrent performance of zinc oxide quantum dots supported multi-walled carbon nanotubes," *Mater. Sci. Eng. B*, vol. 265, p. 115036, Mar. 2021.

[16] M. Morais *et al.*, “Visible Photoluminescent Zinc Oxide Nanorods for Label-Free Nonenzymatic Glucose Detection,” *ACS Appl. Nano Mater.*, vol. 5, no. 3, pp. 4386–4396, Mar. 2022.
[17] A. Tereshchenko *et al.*, “Optical biosensors based on ZnO nanostructures: advantages and perspectives. A review,” *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 229, pp. 664–677, Jun. 2016.
[18] A. Sharma, M. Badea, S. Tiwari, and J. L. Marty, “Wearable Biosensors: An Alternative and Practical Approach in Healthcare and Disease Monitoring,” *Molecules*, vol. 26, no. 3, p. 748, Feb. 2021.
[19] M. Kuran, “Non-invaziv kan şekeri ölçümü için mikrodalga sensör tasarımı TT - Microwave Sensor Design for Non-Invasive Blood Glucose Measurement,” Izmir Katip Celebi University (Turkey) PP - Turkey, Turkey, 2022.
[20] X. Zeng, R. Peng, Z. Fan, and Y. Lin, “Self-powered and wearable biosensors for healthcare,” *Mater. Today Energy*, vol. 23, p. 100900, Jan. 2022.
[21] K. S. Srikanth, A. Wazeer, P. Mathiyalagan, S. Vidya, K. Rajput, and H. S. Kushwaha, “Piezoelectric properties of ZnO,” in *Nanostructured Zinc Oxide*, Elsevier, 2021, pp. 717–736.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Paper Serological Evidence of Equine Infectious Anemia in Equids from the Korçë Region, Southeastern Albania

Kristi Morava[1*], Ilir Dova [2], Rezart Postoli[2], Enkeleda Ozuni[2], Majlind Sulçe[2], Kledis Çela[3], Xhelil Koleci[2]

[1]*Department of Agri-Food, Faculty of Agriculture, Fan S. Noli University of Korçë, Albania*
[2]*Faculty of Veterinary Medicine, Agricultural University of Tirana, Albania*
[3]*National Authority for Veterinary and Plant Protection, Albania*

[*]*(kmorava@unkorce.edu.al) Email of the corresponding author*

Abstract – Equine infectious anemia (EIA), a persistent lentiviral infection of equids, poses significant economic and animal health challenges due to trade restrictions and clinical outcomes ranging from subclinical disease to fatal anemia. However, no comprehensive studies on EIA prevalence or distribution have been conducted in Albania. This study aimed to assess EIA seroprevalence in 150 equids (106 horses, 28 donkeys, 16 mules) from the Korçë region, southeastern Albania, sampled between August 2023 and August 2024. Animals were categorized based on age groups (0–5, 6–20, and 21–35 years) and sex (65 males and 85 females), and further information regarding management practices was also documented. Serum samples were tested using a dual-test protocol: the IDvet EIAV Double Antigen ELISA (screening) and AGID (confirmation) to optimize sensitivity and specificity. Preliminary results indicated no seropositive cases. The absence of EIAV antibodies suggests limited viral circulation in southeastern Albania, though ecological risk factors (e.g., vector density, climatic variability) warrant further epizootiological investigation. While no seropositive cases were detected in this study, the potential risk of EIA introduction through cross-border equine movement and vector transmission necessitates sustained surveillance. These findings establish an important baseline for future monitoring in Albania's southeastern region, particularly given the disease's endemic status in neighboring countries.

Keywords – EIAV, seroprevalence, AGID, ELISA, Albania, equids

I. INTRODUCTION

Equine infectious anemia (EIA), caused by the Equine Infectious Anemia Virus (EIAV), is a globally distributed lentivirus (family Retroviridae) that establishes lifelong infection in equids [**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**]. As the only lentivirus with a predominantly mechanical transmission route, EIAV is uniquely dependent on blood-feeding insects, primarily *Tabanus spp.* (horse flies) and *Stomoxys calcitrans* (stable flies), though iatrogenic transmission via contaminated instruments remains a critical risk factor [**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**, 8]. The virus targets macrophages, with clinical outcomes ranging from asymptomatic forms, acute (high-grade fever, thrombocytopenia, hemolytic anemia) to chronic and, the latter enabling silent viral persistence in reservoirs [7]. EIAV's high genetic variability (due to error-prone reverse transcriptase) and rapid antigenic drift complicate vaccine development and diagnostic sensitivity. The virus remains viable in needles for 96 hours and resists environmental degradation in organic matter [8, 4]. While AGID (Coggins test) remains the OIE gold standard, its limited sensitivity (≤80%) may underestimate prevalence, as demonstrated in Italy's false-

negative cases [**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**]. Modern protocols combine ELISA (screening) with AGID (confirmation) to optimize detection [**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**]. Epidemiology in Europe exhibits heterogeneous EIA distribution, with endemicity in Italy and Romania, where national surveillance programs have documented seroprevalence rates of 0.18% (2007–2012) and recurrent outbreaks linked to equine movement [**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**]. Notably, Italy's risk-based surveillance identified mules as high-risk carriers (IRR=48.9 vs. horses), emphasizing their role in maintaining viral circulation [**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**]. Sporadic outbreaks in historically EIA-free regions—such as Ireland (2006), Germany, and Belgium—have been traced to imported equine plasma or subclinically infected animals [1]. Greece, bordering Albania, reports 4.5% seroprevalence, with hotspots in Thessaloniki (28% positivity) and Ioannina (5%) [9], underscoring cross-border transmission risks. Despite Albania's proximity to endemic regions and unregulated equine trade with Greece [9], no systematic EIA surveillance exists. The Korçë region's ecological profile—temperate climate, wooded areas, and seasonal vector activity—mirrors risk factors identified in Italian clusters [[2]]. Donkeys and mules, which dominate Albania's working equid population, are understudied but may act as cryptic reservoirs, as evidenced by Romania's 8.3% seroprevalence in donkeys [[1]]. The aim of this study is to describe the epidemiological situation of EIA in the Korçë region by implementing a dual-testing serological approach (ELISA/AGID) in 150 equids during the period 2023–2024.

II. Materials and Method

Study Area and Sampling

A cross-sectional study was conducted in southeastern Albania (Korçë region) from August 2023 to August 2024. The area was selected due to its proximity to Greek EIA-endemic zones and diverse climatic conditions favoring vector activity. A total of 150 healthy equids (106 horses, 28 donkeys, 16 mules) aged 0–35 years were sampled across multiple villages, with sex distribution recorded (65 males, 85 females). Body condition scores, management practices, and geographical coordinates were documented for each animal.

Sample Collection and Serological Testing

Blood samples (5 mL) were aseptically collected from the jugular vein using plain vacutainer tubes. After 30 minutes of clotting at room temperature, samples were centrifuged at 3,000 rpm for 5 minutes. Serum was aliquoted and stored at -20°C until analysis, following protocols validated by the OIE Terrestrial Manual [16]. All samples were screened using the IDvet D Screen® EIA Double Antigen ELISA (IDvet, France), targeting EIAV GAG (p26) and TM proteins, per manufacturer's instructions [15]. ELISA-positive samples underwent confirmatory testing with agar gel immunodiffusion (AGID; IDvet, France) to detect anti-p26 antibodies [[3]]. ELISA offers higher sensitivity and earlier detection, while AGID ensures specificity, reducing the risk of false positives.

III. Results

Initial screening data of 150 equids from southeastern Albania's Korçë region identified three ELISA-reactive cases (2.0% apparent prevalence), comprising two horses (1.9%) and one donkey (3.6%). The reactive samples demonstrated optical densities ranging from 0.629 to 1.951, with S/P values between 41.2% and 122.0%. Notably, the highest reactivity occurred in an 11-year-old male horse (S/P=122.0%, OD=1.951), followed by a 25-year-old female horse (S/P=45.1%, OD=0.632) and a 10-year-old male donkey (S/P=41.2%, OD=0.629).

Table 1. EIA serological results by species and test method

Species	Tested	ELISA+	ELISA-	AGID+	AGID-
Horses	106	2	104	0	106

Donkeys	28	1	27	0	28
Mules	16	0	16	0	16

Confirmatory testing via agar gel immunodiffusion (AGID) yielded negative results for all ELISA-reactive specimens, consistent with World Organisation for Animal Health (WOAH) diagnostic standards. No seropositivity was detected among mules. Demographic analysis revealed all reactive animals were mature working equids (10-25 years) without apparent sex predilection.

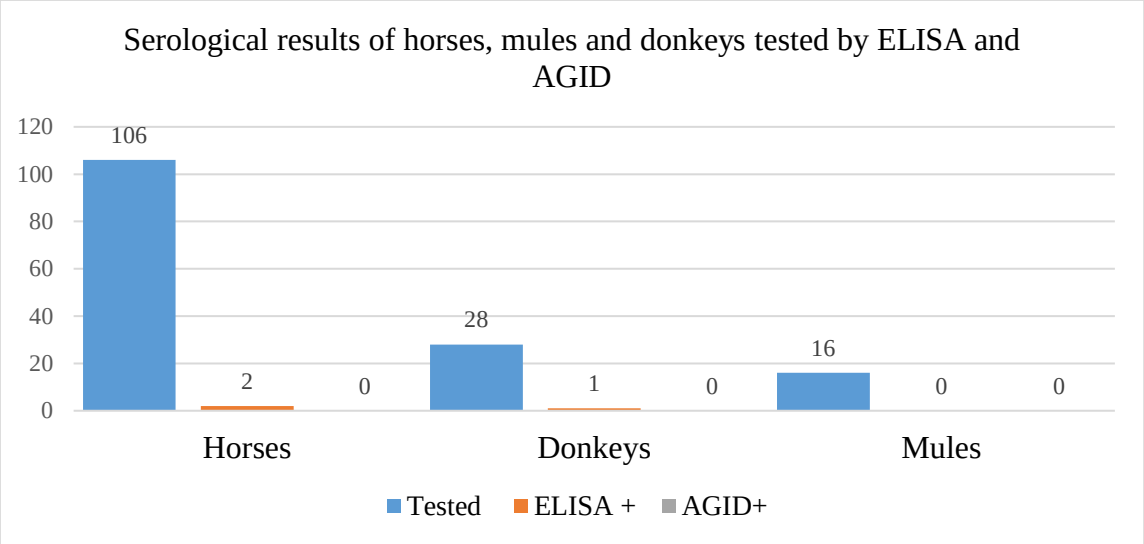


Figure 1. Seroprevalence of EIAV antibodies in equids from southeastern Albania by species, as detected by ELISA screening and AGID confirmation tests

IV. DISCUSSION

The present study provides the first serological evidence regarding the absence of Equine Infectious Anemia (EIA) in the Korçë region of Albania, an area representing approximately one-quarter of the country's territory. Although 2% (95% CI 0.7 to 5.7) of the 150 equine serum samples tested positive with ELISA, none were confirmed by AGID, the confirmatory test for EIA diagnosis [5]. This suggests the absence of active infection and highlights the importance of confirmatory testing to rule out false-positive ELISA results, a phenomenon well-documented in international studies due to cross-reactivity with p26 antigens [[4]]. Despite the negative findings, EIA remains a notifiable disease under OIE regulations and a concern due to its epidemiological implications. The presence of cases in neighboring countries such as Greece, North Macedonia, and Serbia, where sporadic outbreaks have occurred in the last decades, underscores the risk of transboundary spread, particularly in regions with equine movements or inadequate surveillance [6]. In North Macedonia, for example, sporadic seropositive cases were identified between 2017–2021 in regions bordering Albania, though not always confirmed with molecular techniques [12, 13]. Although the clinical transmission risk is relatively low—especially during the inapparent carrier stage of infection—the infected animals remain reservoirs of the virus. Immunosuppression or stress can reactivate viral replication, posing a risk for horizontal transmission via hematophagous insects [[1]]. Such dynamics demand vigilance even in apparently disease-free zones, as highlighted by past Romanian experiences where undetected carriers remained infectious despite long periods of stability [[1]]. EIA prevalence in Europe remains variable. In Italy, during 2007–2012, a seroprevalence of 0.18% was detected in over 1.3 million samples, with higher rates in mules than horses [[2]]. Similarly, a long-term study in Serbia reported a 0.17% prevalence across 11,972 horses tested

between 1994 and 2013, indicating low-level endemicity possibly controlled through systematic surveillance [8]. In Hungary, targeted surveillance in 2019 detected 6 seropositive cases from a national equine population of ~60,000, reaffirming the importance of continuous monitoring even when national prevalence is low. Data from the Western Balkans (2021–2023) suggest localized clusters of infection, particularly in regions with limited veterinary control [12, 13]. However, Albania faces specific vulnerabilities that merit attention. Although the study area did not confirm any active infections, the broader national picture is still unknown. Albania lacks a systematic surveillance program for EIA, and no national sero-monitoring scheme is currently implemented. This absence of routine screening is partly due to limited financial resources, institutional capacity, and the historically low perceived risk for the disease. Such assumptions, however, risk underestimating the true level of exposure, particularly given the informal and often unregulated movement of equids across borders, often without veterinary certification. The country's equine sector is characterized by smallholder ownership, lack of identification and registration systems, and limited veterinary oversight in rural and mountainous areas. These structural limitations amplify the risk for silent introduction and undetected spread of EIA. Informal trade, shared pastures, and lack of biosecurity awareness contribute further to the vulnerability. In this context, even a single inapparent carrier could pose a threat, especially where vector control is minimal and veterinary infrastructure is weak. Given Albania's fragmented equine husbandry, widespread screening is challenging due to financial and logistical constraints. A cost-effective approach would focus on targeted surveillance in high-risk areas, using mobile diagnostic units, local veterinarians, and pooled sample testing. Raising awareness and integrating EIA testing in routine visits could help build a national risk map. Discussions suggest shifting from general serological screening to more strategic, molecular approaches in resource-limited settings like Albania [5].

V. CONCLUSION

This study provides the first seroepidemiological evidence indicating the absence of Equine Infectious Anemia (EIA) in south eastern Albania during 2023–2024. Although a small percentage of samples tested ELISA-positive, none were confirmed by AGID, supporting a non-infected status. Clinical signs observed in some animals were not associated with EIAV infection. The consistency between local and reference laboratory results reinforces the reliability of findings. However, given the presence of EIA in neighbouring countries and the limited surveillance in Albania, continued monitoring remains essential main conclusions of the study should be summarized in a short Conclusions section.

REFERENCES

[1] Bolfa, P., Barbuceanu, F., Leau, S.E., Leroux, C. (2016). Equine infectious anaemia in Europe: Time to re-examine the efficacy of monitoring and control protocols? Equine Veterinary Journal, 48 (2): 140-142.

[2] Carvelli, A., Nardini, R., Carnio A., Ricci, I., Rosone, F., Sala, M., Sara, S., Daniela, M., and Scicluna, M. T. (2024). The Active Surveillance of an Entire Equid Population Reduces the Occurrence of the Infection. Transboundary and Emerging Diseases Volume 2024, Article ID 3439871, 13 pages https://doi.org/10.1155/2024/3439871

[3] Coggins, L. & Norcross, N.L. (1970). – Immunodiffusion reaction in equine infectious anemia. Cornell Veterinary, 60:330 335.

[4] Cook, R. F., Leroux, C., Issel, C.J. (2013). Equine infectious anemia and equine infectious anemia virus in 2013: a review. Veterinary Microbiology, 29(167), (1-2):181-204. doi: 10.1016/j.vetmic.2013.09.031.

[5] Issel, C. J., Scicluna, M. T., Cook, S. J. et al: "Challenges and proposed solutions for more accurate serological diagnosis of equine infectious anaemia," Veterinary Record, 172(8), 210–210.

[6] Koptopoulos, S.G. (1999). – Equine infectious anemia. In Notes of viral contagious diseases. University Studio Press, Thessaloniki, Greece, 23–26.

[7] Leroux, C., Cadore, J.L. and Montelaro, R.C. (2004). Equine infectious anemia virus (EIAV): what has HIV's country cousin got to tell us? Veterinary Response. 35, 485-512.

[8] Lupulovic, D., Savić, S., Gaudaire, D. *et al.* (2021). Identification and genetic characterization of equine infectious anemia virus in Western Balkans. BMC Veterinary Response, 17,168. https://doi.org/10.1186/s12917-021-02849-2
[9] Mangana-Vougiouka, O., Boutsini, S., Ntousi, D., Patakakis, M., Orfanou, E., Zafiropoulou, K., Dilaveris, D., Panagiotatos, D & Nomikou, K. (2013). Epizootiological investigation of the most important infectious equine diseases in Greece. Rev. sci. tech. Off. int. Epiz, 32 (3): 775-787.
[10] More, S. J., Aznar I., Bailey D. C. et al., (2006). "An outbreak of equine infectious anaemia in Ireland during 2006: investigation methodology, initial source of infection, diagnosis and clinical presentation, modes of transmission and spread in the Meath cluster," Equine Veterinary Journal, 40(7), 706 -708.
[11] OIE, H.I. (2014) Available from: http://web.oie.int/hs2/report.asp?lang=en
[12] OIE-WAHIS. (2024). World Animal Health Information System reports.
[13] WAHID (2014). Equine infectious anemia: detailed country disease incidence. Available from: http://www.oie.int/wahis_2/public/wahid.php/ Diseaseinformation/statusdetail
[14] Williams D. L., Issel C. J., Steelman C. D., Adams W. V., and Benton C. V. (1981). "Studies with equine infectious anemia virus: transmission attempts by mosquitoes and survival of virus on vector mouthparts and hypodermic needles, and in mosquito tissue culture," American Journal of Veterinary Research, 42(9), 1469–1473.
[15] Winston S., Fiscus S., Hesterberg L., Matsushita T., Milbrand M., Porter J. & Teranoto Y. (1987). – Rapid detection of viral specific antibodies by enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). Vet. Immunology and Immunopathology, 17, 453–464.
[16] WOAH, Manual of Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals, WOAH, Paris, Twelfth edition, 2023.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

ICSIS

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Gastronomik İnovasyon: Böcek ve Bitki Bazlı Proteinlerin Ekonomik Entegrasyonu

Mehmet Oğuzhan İLBAN[1*]

[1]*Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Balıkesir Üniversitesi, Türkiye*

[*]*ilban@balikesir.edu.tr*

Özet – Yeme-içme alışkanlıkları, sosyal dinamikler, kültürel etkileşimler ve ekonomik koşullarla sürekli bir değişim içerisindedir. Bu çalışmada, gastronomik inovasyon bağlamında, böcek ve bitki bazlı proteinlerin ekonomik entegrasyonu incelenmektedir. Günümüzde gıda güvenliği, çevresel sürdürülebilirlik ve sağlıklı beslenme konularında artan endişeler, alternatif protein kaynaklarına yönelimi tetiklemektedir. Özellikle böcekler ve bitki bazlı ürünler, hem düşük karbon ayak izi hem de yüksek besin değeri ile dikkat çekmektedir. Bu bağlamda, böcek proteinlerinin ve bitkisel alternatiflerin tüketim yaygınlığı, kültürel algıları ve ekonomik modeller üzerindeki etkileri ele alınmaktadır. Çalışmanın amacı, tüketici davranışlarının dönüşümüyle birlikte, alternatif protein kaynaklarının pazardaki potansiyelini ve ekonomik entegrasyonunu ortaya koymaktır. Yeme-içme alışkanlıklarındaki değişim, hem bireysel sağlık anlayışları hem de kolektif çevre bilincinin artmasıyla şekillenmektedir. Bu noktada, ekonomide yeni nesil iş modellerinin ve sürdürülebilir üretim tekniklerinin nasıl entegrasyon sağladığı ve gıda sistemlerine nasıl yansıtıldığı da incelenmektedir. Sonuç olarak, böcek ve bitki bazlı proteinlerin ekonomik entegrasyonu, sadece değişen tüketici taleplerine değil aynı zamanda geleceğin gıda üretim sistemlerinin şekillenmesine de katkı sağlayacaktır. Gelişen bu trendler, gıda sektörü için yenilikçi fırsatlar yaratmakta ve mevcut pazar dinamiklerini yeniden tanımlamaktadır.

Anahtar Kelimeler – Yeme-içme alışkanlıkları, gastronomik inovasyon, böcek proteinleri, bitki bazlı gıdalar, ekonomik entegrasyon.

I. GİRİŞ

Yeme-içme alışkanlıkları, insanlık tarihinin en temel unsurlarından biri olarak, sosyal dinamikler, kültürel etkileşimler ve ekonomik koşullarla sürekli bir dönüşüm içindedir. Geleneksel gıda sistemleri, bireylerin ve toplumların beslenme ihtiyaçlarını karşılamada önemli bir rol oynasa da, modern çağın getirdiği demografik, çevresel ve ekonomik zorluklar, bu sistemlerin sürdürülebilirliğini sorgulamaya açmıştır. Özellikle küresel nüfus artışı, çevresel bozulma, iklim değişikliği ve gıda güvenliği endişeleri, mevcut gıda üretim modellerinin yeniden değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır [26]. Bu bağlamda, böcek ve bitki bazlı proteinler, geleneksel hayvancılığın çevresel ve ekonomik sınırlamalarına karşı yenilikçi ve sürdürülebilir alternatifler olarak öne çıkmaktadır. Bu protein kaynakları, düşük karbon ayak izi, yüksek besin değeri ve kaynak verimliliği ile dikkat çekerek, küresel gıda sistemlerinin geleceğini şekillendirme potansiyeline sahiptir [56].

Gastronomik inovasyon, yalnızca yeni tatlar ve mutfak teknikleri geliştirmekle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda gıda üretim sistemlerini daha sürdürülebilir ve kapsayıcı hale getirmeyi hedefleyen bir yaklaşımı ifade eder. Böcek ve bitki bazlı proteinlerin ekonomik entegrasyonu, bu inovasyonun merkezinde yer alarak, hem bireysel sağlık anlayışlarını hem de kolektif çevre bilincini güçlendiren bir dönüşümü teşvik etmektedir. Bu çalışma aynı zamanda, alternatif protein kaynaklarının gerekliliğini, küresel gıda sistemlerindeki mevcut zorlukları ve böcek ile bitki bazlı proteinlerin bu zorluklara sunduğu çözümleri literatür temelli bir yaklaşımla ele almayı amaçlamaktadır [51].

Küresel nüfusun 2050 yılına kadar yaklaşık 9,7 milyara ulaşacağı öngörülmektedir [55]. Bu artış, gıda üretiminde %70'lik bir büyümeyi gerektirecek olup, mevcut tarım ve hayvancılık sistemleri üzerinde ciddi bir baskı oluşturmaktadır [21]. Özellikle protein talebinin artması, geleneksel hayvancılığın sınırlarını zorlamaktadır. Zira küçük ve büyük baş şeklindeki konvansiyonel protein kaynaklarının üretimi, yüksek arazi, su ve yem kullanımı gerektirmektedir [53]. Örneğin, sığır eti üretimi, 1 kg protein için yaklaşık 15.000 litre su ve 8 kg yem tüketirken, bu süreçte önemli miktarda sera gazı emisyonu üretmektedir [43]. Bu durum, gıda güvenliğini sağlama çabalarını zorlaştırırken, çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle de çelişmektedir [30].

Geleneksel tarım ve hayvancılığın çevresel etkileri, küresel gıda sistemlerinin karşı karşıya olduğu en kritik sorunlardan biridir. Hayvancılık sektörü, küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %14,5'ini oluşturmakta ve ormansızlaşma, biyoçeşitlilik kaybı ve toprak bozulması gibi ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır [25].

Böcek ve bitki bazlı proteinler, bu zorluklara karşı umut vadeden çözümler sunmaktadır. Böcek proteinleri, cırcır böceği, un kurdu ve çekirge gibi türlerden elde edilmekte olup, yüksek protein içeriği (%60'a kadar kuru ağırlık), esansiyel amino asitler, sağlıklı yağlar ve mikro besinler (demir, çinko) açısından zengindir [56]. Böcek çiftçiliği, geleneksel hayvancılığa kıyasla önemli ölçüde daha az arazi, su ve yem gerektirir; örneğin, cırcır böcekleri 1 kg protein üretimi için yalnızca 1.500 litre su ve 1,7 kg yem tüketir [43]. Ayrıca, böcek üretiminin sera gazı emisyonları, sığır eti üretimine kıyasla 100 kat daha düşüktür [22]. Bu özellikler, böcek proteinlerini, çevresel sürdürülebilirlik ve gıda güvenliği açısından ideal bir alternatif haline getirmektedir.

Bitki bazlı proteinler ise baklagiller (mercimek, nohut, soya), tahıllar, tohumlar ve kuruyemişler gibi kaynaklardan elde edilmektedir. Bu proteinler, %20-30 oranında protein içeriğinin yanı sıra lif, karmaşık karbonhidratlar ve mikro besinler (demir, magnezyum) açısından da zengindir [40]. Baklagillerin azot fiksasyonu yoluyla toprak sağlığını iyileştirmesi ve düşük karbon ayak izi (%45 daha az CO_2 emisyonu), bitki bazlı proteinleri çevresel açıdan avantajlı kılmaktadır ([22] - [23]). Ayrıca, bitki bazlı proteinlerin çok yönlülüğü, geleneksel mutfaklarda ve yenilikçi gıda ürünlerinde geniş bir kullanım alanı sunarak, tüketici taleplerine uyum sağlamayı kolaylaştırmaktadır [3].

Alternatif protein kaynaklarının ekonomik entegrasyonu, yalnızca çevresel ve besinsel faydalarıyla sınırlı kalmamakta, aynı zamanda yeni iş modellerinin ve sürdürülebilir üretim tekniklerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Böcek çiftçiliği, düşük giriş bariyerleri ve yüksek yem dönüşüm verimliliği ile küçük ölçekli üreticiler ve girişimciler için ekonomik fırsatlar yaratmaktadır [38]. Benzer şekilde, bitki bazlı protein pazarı, artan vejetaryen ve vegan tüketici talepleriyle birlikte milyarlarca dolarlık bir büyüme potansiyeline sahiptir [29].

Ancak, bu protein kaynaklarının yaygınlaşması, kültürel algılar, tüketici alışkanlıkları ve düzenleyici çerçeveler gibi faktörler nedeniyle zorluklarla karşılaşmaktadır. Özellikle Batı toplumlarında entomofajiye (böcek tüketimi) yönelik stigma, bu proteinlerin kabulünü sınırlayan önemli bir engeldir [49]. Buna karşın, eğitim kampanyaları, mutfak inovasyonları ve sürdürülebilirlik odaklı pazarlama stratejileri, bu engellerin aşılmasında kritik bir rol oynayabilir [57].

Sonuç olarak, böcek ve bitki bazlı proteinler, küresel gıda sistemlerinin karşı karşıya olduğu çevresel, ekonomik ve sosyal zorluklara karşı yenilikçi çözümler sunmaktadır. Bu protein kaynaklarının ekonomik entegrasyonu, yalnızca gıda güvenliğini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği güçlendirmekte ve gastronomik inovasyonun yeni yollarını açmaktadır [54].

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, alternatif protein kaynaklarının gastronomik inovasyon bağlamında ekonomik entegrasyonunu incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, nitel araştırma yöntemleri kullanılarak böcek ve bitki bazlı proteinlerin tüketim eğilimleri, kültürel algıları ve ekonomik modeller üzerindeki etkileri sentezlenmeye çalışılmıştır. Araştırma, özellikle gıda güvenliği, çevresel sürdürülebilirlik ve sağlıklı beslenme konularında artan küresel hassasiyet çerçevesinde, alternatif protein kaynaklarının pazardaki potansiyelini değerlendirmeye odaklanmıştır.

Çalışmada ikincil veri kaynakları kullanılmış olup, bunlar; böcek ve bitki bazlı proteinlerin ekonomik entegrasyonunu anlamak için yararlanılan akademik makaleler, sektör raporları, araştırma tezleri ve güncel kitap bölümleri şeklinde oluşmaktadır. Ayrıca tüketici davranışlarındaki değişimi ve gastronomik inovasyon süreçlerini daha iyi kavrayabilmek için, gıda trendleri üzerine yapılan niteliksel araştırmalar ve ilgili pazarlama analizleri de incelenmiştir.

III. BESLENME VE ÇEVRESEL FAYDALAR

Böcek ve bitki bazlı proteinler, modern gıda sistemlerinin karşı karşıya olduğu çevresel ve besinsel zorluklara yanıt olarak giderek daha fazla dikkat çekmektedir. Bu protein kaynakları, yüksek besin değerleri ve düşük çevresel etkileri ile hem gıda güvenliğini artırma hem de sürdürülebilir bir gelecek inşa etme potansiyeline sahiptir. Böcek proteinleri, özellikle yüksek protein içeriği, esansiyel amino asitler ve mikro besin zenginliği ile öne çıkarken; bitki bazlı proteinler, lif, karmaşık karbonhidratlar ve çevresel avantajlarıyla dikkat çekmektedir [19].

A. Böcek Proteinleri

Böcek proteinleri, cırcır böceği, un kurdu, çekirge ve ipekböceği gibi yenilebilir böcek türlerinden elde edilmekte olup, beslenme açısından olağanüstü bir profil sunmaktadır. Araştırmalar, bu protein kaynaklarının kuru ağırlık bazında %60'a varan protein içeriğine sahip olduğunu göstermektedir [56]. Bu oran, geleneksel hayvansal protein kaynakları olan sığır eti (%25-30) ve tavuk eti (%20-25) ile karşılaştırıldığında oldukça yüksektir [37]. Böcekler, insan sağlığı için gerekli olan dokuz esansiyel amino asidi içermesiyle tam protein kaynakları olarak kabul edilir. Ayrıca, omega-3 ve omega-6 yağ asitleri gibi sağlıklı yağlar ile demir, çinko, magnezyum ve B12 vitamini gibi mikro besinler açısından da zengindir [10]. Örneğin, cırcır böcekleri, demir içeriği bakımından kırmızı ete kıyasla daha yüksek biyoyararlanım sunar ve bu, özellikle anemiye yatkın popülasyonlar için önemli bir avantajdır [35].

Böcek proteinlerinin çevresel faydaları, besinsel üstünlüklerini tamamlayıcı niteliktedir. Böcek çiftçiliği, geleneksel hayvancılığa kıyasla çok daha az kaynak gerektirir. Örneğin, 1 ton protein üretimi için cırcır böcekleri yaklaşık 1.500 litre su kullanırken, sığır eti üretimi aynı miktar protein için 15.000 litre su tüketir [43]. Böceklerin yem dönüşüm verimliliği de dikkat çekicidir; 1 kg böcek proteini üretmek için yalnızca 1,7 kg yem gerekirken, bu oran sığırlarda 8 kg'a ulaşır [22]. Bu verimlilik, hem üretim maliyetlerini düşürmekte hem de tarımsal kaynakların daha etkin kullanılmasını sağlamaktadır. Ayrıca, böcek çiftçiliği, sığır eti üretimine kıyasla 100 kat daha az sera gazı emisyonu üretir [44]. Böceklerin organik atıklardan beslenebilmesi, döngüsel ekonomi ilkelerine uygun bir üretim modeli sunarak atık yönetimi sorunlarına da çözüm getirmektedir [41]. Örneğin, gıda atıkları veya tarımsal yan ürünler, böcek çiftliklerinde yem olarak kullanılarak hem çevresel yük azaltılmakta hem de protein üretimi sürdürülebilir hale getirilmektedir.

Böcek proteinlerinin bu özellikleri, özellikle gıda güvenliği sorunlarının yoğun olduğu bölgelerde önemli bir potansiyel taşımaktadır. Hızlı üreme döngüleri ve düşük arazi gereksinimleri, böcek çiftçiliğini küçük ölçekli üreticiler için erişilebilir bir seçenek haline getirir. Bu, kırsal ekonomilerin güçlendirilmesi ve yerel gıda üretiminin artırılması açısından kritik bir avantajdır [11]. Bununla birlikte, böcek tüketiminin kültürel kabulü, özellikle Batı toplumlarında bir engel teşkil etmektedir; bu konu, ilerleyen bölümlerde detaylı bir şekilde ele alınacaktır.

B. Bitki Bazlı Proteinler

Bitki bazlı proteinler, baklagiller (mercimek, nohut, soya), tahıllar (kinoa, amarant), tohumlar (chia, keten tohumu) ve kuruyemişler gibi kaynaklardan elde edilmekte olup, hem besinsel hem de çevresel açıdan önemli avantajlar sunmaktadır. Bu protein kaynakları, kuru ağırlık bazında %20-30 oranında protein içerir ve lif, karmaşık karbonhidratlar ile demir, magnezyum ve folat gibi mikro besinler açısından zengindir [4].

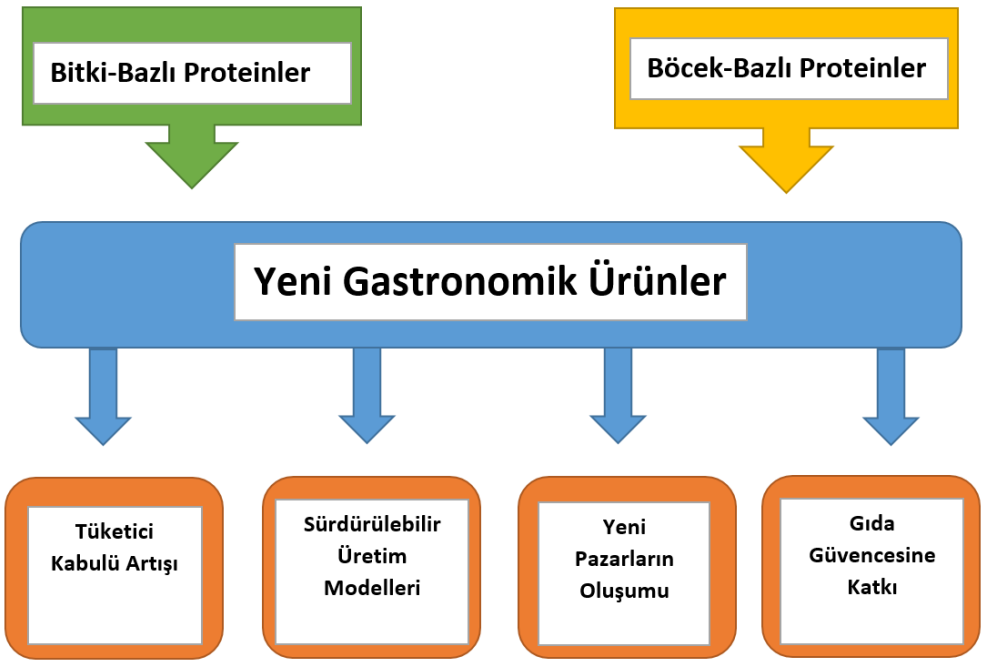
Örneğin, soya fasulyesi, %35'e varan protein içeriği ve tam amino asit profili ile bitkisel proteinler arasında öne çıkar [9]. Baklagiller, yüksek lif içeriği sayesinde sindirim sağlığını destekler ve düşük

glisemik indeksi ile kan şekeri kontrolüne katkıda bulunur [3]. Ayrıca, bitki bazlı proteinlerin düşük doymuş yağ içeriği, kardiyovasküler hastalık riskini azaltmada önemli bir rol oynar [2].

Çevresel açıdan, bitki bazlı proteinlerin üretimi, hayvansal proteinlere kıyasla önemli ölçüde daha az kaynak gerektirir. Araştırmalar, baklagil üretiminin, sığır eti üretimine kıyasla %45 daha az karbon dioksit emisyonu ürettiğini göstermektedir [22]. Örneğin, 1 kg soya proteini üretimi, sığır etine kıyasla 10 kat daha az arazi ve 20 kat daha az su kullanır [18]. Baklagillerin azot fiksasyonu yoluyla toprak sağlığını iyileştirmesi, sentetik gübre ihtiyacını azaltarak çevresel yükü daha da hafifletir [23]. Bu özellik, bitki bazlı proteinleri, sürdürülebilir ürün rotasyonu sistemlerinin bir parçası haline getirir ve tarımsal dayanıklılığı artırır. Örneğin, nohut ve mercimek gibi baklagiller, toprağın organik madde içeriğini artırarak uzun vadeli verimliliği destekler [14].

Bitki bazlı proteinlerin çok yönlülüğü, gastronomik inovasyon açısından da önemli bir avantaj sağlar. Bu proteinler, et benzeri ürünlerden (ör. soya bazlı burgerler) süt alternatiflerine (ör. badem sütü) kadar geniş bir yelpazede kullanılabilir. Tüketici taleplerindeki artış, özellikle vejetaryen ve vegan diyetlerin yaygınlaşmasıyla, bitki bazlı protein pazarını milyarlarca dolarlık bir sektöre dönüştürmüştür [3]. Ancak, bu proteinlerin tat, doku ve mutfak esnekliği açısından algılanan eksiklikleri, bazı tüketiciler için bir engel oluşturabilir. Bu nedenle, fermantasyon ve enzim prosesleri gibi teknolojik yenilikler, bitki bazlı proteinlerin duyusal özelliklerini iyileştirmek için kritik öneme sahiptir [41].

Sonuç olarak, böcek ve bitki bazlı proteinler, besinsel zenginlikleri ve çevresel avantajlarıyla, küresel gıda sistemlerinin sürdürülebilirliğini artırma potansiyeline sahiptir. Böcek proteinleri, yüksek protein içeriği ve düşük kaynak kullanımı ile gıda güvenliği için yenilikçi bir çözüm sunarken, bitki bazlı proteinler, çevresel faydaları ve mutfakta çok yönlülüğü ile öne çıkar. Ancak, bu protein kaynaklarının yaygınlaşması, kültürel kabul, teknolojik yenilikler ve düzenleyici çerçeveler gibi faktörlere bağlıdır [48] - [20].



Şekil 1. Böcek ve Bitki Bazlı Proteinlerin Gastronomik İnovasyon Yoluyla Ekonomik Entegrasyon Süreci
Kaynak: Medeiros vd. (2024).

IV. EKONOMİK SONUÇLAR

Böcek ve bitki bazlı proteinlerin modern gıda sistemlerine ekonomik entegrasyonu, hem maliyet avantajları hem de yeni iş fırsatları sunarak küresel gıda sektöründe dönüştürücü bir potansiyel taşımaktadır. Geleneksel hayvancılık ve tarım sistemlerinin yüksek kaynak kullanımı ve çevresel etkileri, ekonomik sürdürülebilirlik açısından ciddi sınırlamalar yaratırken, alternatif protein kaynakları bu

sorunlara çözüm sunmaktadır. Böcek çiftçiliği, düşük arazi, su ve yem gereksinimleriyle üretim maliyetlerini azaltırken, bitki bazlı proteinler, sürdürülebilir tarım uygulamaları ve marjinal arazilerde yetiştirilme avantajıyla ekonomik karlılığı artırmaktadır. Aynı zamanda, bu protein kaynaklarının düşük giriş bariyerleri, girişimciliği teşvik ederek tarım, gıda teknolojisi, işleme ve dağıtım sektörlerinde yeni iş imkânları yaratmaktadır.

A. Maliyet Verimliliği

Böcek ve bitki bazlı proteinlerin ekonomik entegrasyonunun en önemli avantajlarından biri, üretim süreçlerinde sağlanan maliyet verimliliğidir. Böcek çiftçiliği, geleneksel hayvancılığa kıyasla önemli ölçüde daha az kaynak gerektirir. Örneğin, cırcır böcekleri, 1 kg protein üretimi için yalnızca 1,7 kg yem ve 1.500 litre su tüketirken, sığır eti üretimi aynı miktar protein için 8 kg yem ve 15.000 litre su kullanır [43]. Bu düşük kaynak kullanımı, üretim maliyetlerini doğrudan azaltarak hem üreticiler hem de tüketiciler için ekonomik avantajlar sağlar. Ayrıca, böceklerin hızlı üreme döngüleri ve yüksek yem dönüşüm verimliliği, üretim süreçlerini daha hızlı ve maliyet etkin hale getirir [22]. Böcek çiftliklerinin düşük arazi gereksinimi, özellikle arazi fiyatlarının yüksek olduğu bölgelerde, işletme maliyetlerini daha da düşürmektedir [38].

Bitki bazlı proteinler de maliyet verimliliği açısından önemli fırsatlar sunar. Baklagiller (ör. mercimek, nohut, soya), tahıllar ve tohumlar gibi bitkisel protein kaynakları, marjinal arazilerde yetiştirilebilir ve sürdürülebilir tarım uygulamalarıyla düşük maliyetli üretim imkânı sağlar [23]. Örneğin, baklagillerin azot fiksasyonu yoluyla sentetik gübre ihtiyacını azaltması, çiftçilerin gübre maliyetlerini önemli ölçüde düşürür [18]. Ayrıca, bitki bazlı proteinlerin üretimi, hayvansal proteinlere kıyasla daha az enerji ve su gerektirir; bu da işletme giderlerini azaltır [14]. Sürdürülebilir tarım teknikleri, örneğin ürün rotasyonu ve organik tarım uygulamaları, uzun vadeli toprak verimliliğini koruyarak üretim maliyetlerini daha da optimize eder.

Bu maliyet avantajları, tüketici fiyatlarına doğrudan yansımaktadır. Böcek ve bitki bazlı proteinlerin düşük üretim maliyetleri, bu ürünlerin piyasada daha rekabetçi fiyatlarla sunulmasını sağlar. Örneğin, bitki bazlı alternatifleri, geleneksel et ürünlerine kıyasla daha uygun fiyatlarla tüketicilere ulaşabilmekte ve bu, özellikle ekonomik kısıtlamaların olduğu bölgelerde talebi artırmaktadır [3] şekilde, böcek bazlı gıda ürünlerinin (ör. cırcır böceği unuyla yapılan protein barlar) maliyet etkin üretimi, bu ürünlerin geniş tüketici kitlelerine erişilebilirliğini artırmaktadır [38]. Bu durum, ekonomik karlılığın artmasına katkıda bulunarak, alternatif protein sektörünün büyümesini desteklemektedir.

B. İş Yaratma ve Pazar Büyümesi

Böcek ve bitki bazlı proteinlerin ekonomik entegrasyonu, yeni iş fırsatları yaratma ve pazar büyümesini teşvik etme açısından da önemli bir potansiyele sahiptir. Böcek çiftçiliği, düşük giriş bariyerleriyle karakterizedir ve bu, küçük ölçekli üreticiler ile girişimciler için cazip bir fırsat sunar [11]. Böcek çiftliklerinin kurulumu, geleneksel hayvancılık işletmelerine kıyasla daha az sermaye ve altyapı gerektirir. Örneğin, cırcır böceği veya un kurdu çiftlikleri, küçük alanlarda ve kontrollü ortamlarda kurulabilir, bu da kırsal bölgelerde ekonomik çeşitliliği artırır [35]. Böcek çiftçiliği, tarım, işleme, paketleme ve dağıtım gibi çeşitli aşamalarda iş imkânları yaratır. Bu işler, genellikle düşük eğitim gereksinimleri nedeniyle, yerel işgücünün katılımını kolaylaştırır ve kırsal ekonomilere katkıda bulunur [33].

Bitki bazlı protein sektörü, artan vejetaryen, vegan ve fleksitaryen tüketici talepleriyle birlikte hızla büyümektedir. Pazar analizleri, bitki bazlı protein pazarının önümüzdeki yıllarda milyarlarca dolarlık bir büyüklüğe ulaşacağını öngörmektedir [3]. Bu büyüme, araştırma ve geliştirme (Ar-Ge), üretim, pazarlama ve perakende gibi alanlarda yeni iş fırsatları yaratmaktadır. Örneğin, soya, bezelye ve nohut bazlı alternatiflerinin geliştirilmesi, gıda teknolojisi sektöründe yenilikçi iş modellerinin ortaya çıkmasına olanak tanır [9]. Ayrıca, bitki bazlı ürünlerin yerel tedarik zincirlerine entegrasyonu, bölgesel ekonomileri güçlendirir ve tarım sektöründe çeşitliliği artırır [13].

Böcek ve bitki bazlı proteinlerin ekonomik entegrasyonu, gıda fiyatlarındaki oynaklığı azaltma potansiyeline de sahiptir. Geleneksel hayvancılık, iklim değişikliği, hastalık salgınları ve yem fiyatlarındaki dalgalanmalar gibi faktörlere karşı hassastır ve bu, gıda fiyatlarında istikrarsızlığa yol açar

[21]. Alternatif protein kaynaklarının çeşitlendirilmesi, bu bağımlılığı azaltarak piyasaların daha dirençli hale gelmesini sağlar. Örneğin, böcek proteinlerinin organik atıklardan üretilebilmesi, yem maliyetlerini düşürür ve fiyat istikrarını destekler. Benzer şekilde, bitki bazlı proteinlerin düşük üretim maliyetleri, tüketiciler için daha öngörülebilir fiyatlandırma sağlar [38].

Ekonomik teşvikler, bu protein kaynaklarının yaygınlaşmasını hızlandırmada kritik bir rol oynayabilir. Hükümetlerin sürdürülebilir tarım uygulamaları için sağladığı sübvansiyonlar ve vergi indirimleri, böcek ve bitki bazlı protein üretimine yatırım yapılmasını teşvik eder [17]. Örneğin, organik tarım ve böcek çiftçiliği projelerine yönelik mali destek, girişimcilerin bu alanlara yönelmesini kolaylaştırabilir. Ayrıca, uluslararası ticaret potansiyeli, özellikle gelişmekte olan ülkeler için büyük bir fırsat sunar. Böcek ve bitki bazlı proteinlerin ihracatı, yerel ekonomilere döviz kazandırabilir ve sürdürülebilirlik liderliği algısını güçlendirebilir [33].

Sonuç olarak, böcek ve bitki bazlı proteinlerin ekonomik entegrasyonu, maliyet verimliliği, iş yaratma ve pazar büyümesi açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Düşük üretim maliyetleri, bu protein kaynaklarını hem üreticiler hem de tüketiciler için cazip hale getirirken, düşük giriş bariyerleri ve genişleyen pazarlar, ekonomik büyümeyi desteklemektedir. Ancak, bu fırsatların tam anlamıyla realize edilmesi, kültürel kabul, teknolojik yenilikler ve düzenleyici destek gibi faktörlere bağlıdır.

V. KÜLTÜREL KABUL VE ZORLUKLAR

Böcek ve bitki bazlı proteinlerin küresel gıda sistemlerine entegrasyonu, yalnızca çevresel ve ekonomik avantajlarla değil, aynı zamanda kültürel algılar ve tüketici alışkanlıklarıyla şekillenen karmaşık bir süreçtir. Bu alternatif protein kaynaklarının yaygınlaşması, özellikle Batı toplumlarında entomofajiye (böcek tüketimi) yönelik önyargılar ve bitki bazlı ürünlerin tat, doku ve mutfak esnekliği açısından algılanan eksiklikleri gibi kültürel engeller nedeniyle zorluklarla karşılaşmaktadır. Geleneksel yemek alışkanlıklarının değişime direnci, bu proteinlerin kabulünü daha da karmaşık hale getirmektedir. Ancak, eğitim kampanyaları, mutfak inovasyonları ve stratejik pazarlama yaklaşımları, bu engelleri aşmada etkili çözümler sunmaktadır.

A. Kültürel Engeller

Böcek ve bitki bazlı proteinlerin yaygınlaşmasının önündeki en büyük engellerden biri, kültürel algılar ve önyargılardır. Özellikle Batı toplumlarında, entomofaji, yani böcek tüketimi, genellikle iğrenme duygusu, hijyen endişeleri ve "ilkel" ya da "hayatta kalma" gıdası olarak algılanma gibi olumsuz çağrışımlarla ilişkilendirilmektedir [49]. Bu stigma, böceklerin Asya, Afrika ve Latin Amerika gibi bölgelerde geleneksel diyetlerin bir parçası olmasına rağmen, Avrupa ve Kuzey Amerika'da yaygın bir dirençle karşılaşmasına neden olmaktadır [37]. Örneğin, Avrupa'da tüketicilerin yalnızca %10'u böcek bazlı gıdaları denemeye istekli olduğunu belirtirken, bu oran Tayland gibi entomofajinin yaygın olduğu ülkelerde %80'e ulaşmaktadır [57]. Böceklerin görünümü, dokusu ve alışılmadık tatları, özellikle genç tüketiciler arasında kabulü zorlaştırmaktadır [27].

Bitki bazlı proteinler de kültürel engellerle karşı karşıyadır, ancak bu engeller daha çok tat, doku ve mutfak esnekliği üzerine odaklanmaktadır. Birçok tüketici, bitki bazlı alternatifleri, geleneksel et ürünlerine kıyasla tat ve doku açısından "eksik" olarak algılamaktadır. Örneğin, soya veya bezelye bazlı burgerler, etin sulu ve lifli yapısını tam olarak taklit edemediğinde, tüketiciler arasında memnuniyetsizlik yaratabilir [9]. Ayrıca, bitki bazlı ürünlerin bazı mutfaklarda sınırlı kullanım alanı bulması, özellikle et merkezli yemek kültürlerine sahip toplumlarda bir engel oluşturur. Örneğin, Akdeniz mutfağında baklagiller yaygın olarak kullanılsa da, Batı Avrupa'da et ağırlıklı diyetler, bitki bazlı alternatiflerin entegrasyonunu yavaşlatmaktadır.

Geleneksel yemek alışkanlıklarının değişime direnci, hem böcek hem de bitki bazlı proteinlerin kabulünü sınırlayan temel bir faktördür. Yeme-içme alışkanlıkları, yalnızca beslenme ihtiyacını karşılamakla kalmaz, aynı zamanda kimlik, gelenek ve sosyal bağların bir yansımasıdır [14]. Özellikle et tüketiminin prestij ve refah göstergesi olarak görüldüğü toplumlarda, alternatif proteinlere geçiş, kültürel bir kopuş olarak algılanabilir. Bu direnç, özellikle yaşlı nesillerde daha belirgindir; genç tüketiciler, çevresel ve etik kaygılar nedeniyle daha açık fikirli olsalar da, alışkanlıkların değişmesi zaman almaktadır

[57]. Ayrıca, alternatif proteinlerin "yabancı" veya "yapay" olarak algılanması, özellikle yerel mutfak geleneklerine bağlı toplumlarda kabulü zorlaştırmaktadır [27].

B. Kabul Stratejileri

Böcek ve bitki bazlı proteinlerin kültürel engelleri aşması, eğitim kampanyaları, mutfak inovasyonları ve stratejik pazarlama yaklaşımlarıyla mümkün olmaktadır. Eğitim kampanyaları, bu protein kaynaklarının besinsel ve çevresel faydalarını vurgulayarak tüketici algılarını dönüştürmede kritik bir rol oynar. Araştırmalar, tüketicilerin böcek ve bitki bazlı proteinlerin sağlık (yüksek protein, düşük doymuş yağ) ve çevresel (düşük karbon ayak izi, az kaynak kullanımı) avantajları hakkında bilgilendirildiğinde, bu ürünlere yönelik olumlu tutumlarının arttığını göstermektedir [7]. Örneğin, Avrupa Birliği tarafından finanse edilen böcek tüketimi projeleri, okullarda ve topluluk etkinliklerinde düzenlenen tadım etkinlikleriyle entomofajiye olan önyargıları azaltmayı başarmıştır. Benzer şekilde, bitki bazlı diyetlerin kalp sağlığı ve çevre üzerindeki olumlu etkilerini vurgulayan kampanyalar, özellikle genç ve çevre bilinci yüksek tüketiciler arasında talebi artırmaktadır.

Mutfak inovasyonu, alternatif proteinlerin kültürel kabulünü artırmada en etkili stratejilerden biridir. Böcek proteinleri, doğrudan tüketim yerine, tanıdık ve çekici ürün formlarında sunulduğunda daha kolay kabul edilmektedir. Örneğin, cırcır böceği unuyla yapılan protein barlar, enerji içecekleri veya makarna gibi ürünler, böceklerin görünümünü gizleyerek iğrenme faktörünü ortadan kaldırır [41]. Avrupa'da bazı restoranlar, böcek bazlı gurme yemekleri menülerine ekleyerek entomofajiyi prestijli bir deneyim olarak yeniden konumlandırmıştır. Benzer şekilde, bitki bazlı proteinler, et benzeri dokular ve tatlar sunan yenilikçi ürünlerle tüketicilerin ilgisini çekmektedir. Soya, bezelye veya mantar bazlı burgerler ve sosisler, etin duyusal özelliklerini taklit ederek geleneksel diyetlere kolayca entegre olabilmektedir. Şeflerin ve gıda üreticilerinin, bu proteinleri yerel mutfaklara uygun tariflerle sunması, tüketicilerin alışkanlıklarını değiştirmeden alternatif proteinleri benimsemesini sağlamaktadır.

Pazarlama stratejileri, böcek ve bitki bazlı proteinlerin kültürel kabulünü artırmada önemli bir araçtır. Sürdürülebilirlik, sağlık ve etik değerleri öne çıkaran kampanyalar, özellikle çevre bilinci yüksek Gen Z ve Milenyum nesli tüketicilerle rezonans yaratmaktadır [57]. Sosyal medya platformları ve influencer iş birlikleri, bu protein kaynaklarının "trendy" ve "modern" olarak algılanmasını sağlayarak genç tüketicilerin ilgisini çekmektedir. Örneğin, Instagram ve TikTok'ta vegan tarifler paylaşan influencer'lar, bitki bazlı ürünlerin popülerliğini artırmış; bazı markalar, böcek bazlı atıştırmalıkları "sürdürülebilir süper gıdalar" olarak tanıtarak olumlu bir algı oluşturmuştur [27]. Ayrıca, etiketleme ve ambalaj tasarımlarında şeffaflık ve çekicilik, tüketicilerin güvenini kazanmada kritik öneme sahiptir. Örneğin, "%100 bitki bazlı" veya "çevre dostu protein" gibi ifadeler, tüketicilerin satın alma kararlarını olumlu yönde etkilemektedir [3].

Sonuç olarak, böcek ve bitki bazlı proteinlerin kültürel kabulü, derin köklü alışkanlıkların ve önyargıların aşılmasını gerektiren karmaşık bir süreçtir. Batı toplumlarında entomofajiye yönelik stigma ve bitki bazlı ürünlerin duyusal eksiklikleri, bu proteinlerin yaygınlaşmasını zorlaştırsa da, eğitim kampanyaları, mutfak inovasyonları ve stratejik pazarlama bu engelleri aşmada etkili çözümler sunmaktadır. Tüketicilerin bilgilendirilmesi, tanıdık ve çekici ürün formlarının geliştirilmesi ve sürdürülebilirlik odaklı iletişim, alternatif proteinlerin modern mutfaklara entegrasyonunu hızlandırabilir. Bu stratejiler, yalnızca kültürel engelleri aşmakla kalmaz, aynı zamanda böcek ve bitki bazlı proteinlerin ekonomik ve çevresel potansiyelini tam anlamıyla realize etmeye katkıda bulunur.

VI. TEKNOLOJİK YENİLİKLER

Böcek ve bitki bazlı proteinlerin küresel gıda sistemlerine entegrasyonu, teknolojik yeniliklerin desteğiyle hem daha verimli hem de daha sürdürülebilir hale gelmektedir. Geleneksel gıda üretim yöntemleri, yüksek kaynak kullanımı ve çevresel etkileri nedeniyle sınırlamalarla karşı karşıya kalırken, yapay zekâ, otomasyon, biyoteknoloji ve ileri ekstraksiyon teknikleri gibi yenilikler, alternatif protein üretimini dönüştürmektedir. Böcek çiftçiliğinde yapay zekâ ve döngüsel ekonomi yaklaşımları, üretim süreçlerini optimize ederken maliyetleri düşürmekte; bitki bazlı protein çıkarımında ise soğuk ekstraksiyon, fermantasyon ve enzim prosesleri, besin değerini ve duyusal özellikleri iyileştirmektedir.

A. Böcek Çiftçiliğindeki Gelişmeler

Böcek çiftçiliği, düşük kaynak kullanımı ve yüksek protein verimliliğiyle zaten dikkat çekerken, teknolojik yenilikler bu sektörün potansiyelini daha da artırmaktadır. Yapay zekâ (YZ) ve otomasyon teknolojileri, böcek çiftliklerinin çevresel koşullarını izleme ve optimize etme süreçlerinde devrim yaratmaktadır. Örneğin, sıcaklık, nem ve hava kalitesi gibi parametrelerin gerçek zamanlı olarak izlenmesi, böceklerin büyüme hızını ve yem dönüşüm verimliliğini artırmaktadır. YZ tabanlı sistemler, sensörlerden toplanan verileri analiz ederek çiftlik koşullarını otomatik olarak düzenler; bu, işçilik maliyetlerini azaltırken üretim tutarlılığını artırır [22]. Örneğin, cırcır böceği çiftliklerinde kullanılan otomatik besleme sistemleri, yem dağıtımını optimize ederek israfı en aza indirir ve verimliliği %20'ye kadar artırabilir.

Döngüsel ekonomi ilkeleri, böcek çiftçiliğini daha sürdürülebilir hale getiren bir diğer teknolojik yaklaşımdır. Böcekler, organik atıklar (ör. gıda artıkları, tarımsal yan ürünler) ile beslenebilme yetenekleri sayesinde, atık yönetiminde yenilikçi bir çözüm sunar. Örneğin, un kurdu larvaları, sebze atıkları veya bayat ekmek gibi materyalleri yüksek verimlilikle proteine dönüştürebilir. Bu süreç, hem atık depolama alanlarına olan ihtiyacı azaltır hem de yem maliyetlerini düşürür. Avrupa'daki bazı böcek çiftlikleri, süpermarketlerden toplanan organik atıkları kullanarak üretim maliyetlerini %30'a kadar azalttığını rapor etmiştir. Ayrıca, böcek çiftçiliğinin yan ürünleri, örneğin larvaların dış iskeletinden elde edilen kitosan, biyoplastik veya gübre üretiminde kullanılarak döngüsel ekonomiye katkı sağlar [14].

Bu teknolojik yenilikler, böcek çiftçiliğinin maliyetlerini düşürürken sürdürülebilirliğini artırmaktadır. Otomasyon ve YZ, işçilik ve enerji giderlerini azaltarak küçük ölçekli üreticiler için giriş bariyerlerini düşürür. Organik atık kullanımı, yem maliyetlerini minimize ederek ekonomik karlılığı artırır. Ayrıca, bu teknolojiler, böcek üretiminin çevresel ayak izini daha da azaltır; örneğin, optimize edilmiş çiftlik koşulları, enerji tüketimini %15'e kadar düşürebilir [22]. Bu gelişmeler, böcek çiftçiliğini hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde uygulanabilir bir protein üretim modeli haline getirerek, gıda güvenliği ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunmaktadır.

B. Bitki Proteini Çıkarımı

Bitki bazlı proteinlerin üretimi, teknolojik yeniliklerin etkisiyle hem besin değeri hem de duyusal özellikler açısından önemli ilerlemeler kaydetmektedir. Soğuk ekstraksiyon, enzim prosesleri ve membran filtrasyonu gibi ileri teknikler, bitki proteinlerinin biyoyararlanımını artırırken enerji ve su kullanımını azaltmaktadır. Soğuk ekstraksiyon, yüksek sıcaklıkların protein yapısını bozmasını önleyerek, besin değerini korur ve daha yüksek kaliteli protein izolatları elde edilmesini sağlar. Örneğin, bezelye proteininin soğuk ekstraksiyon yöntemiyle çıkarılması, amino asit kaybını %10 oranında azaltırken, protein saflığını %90'a kadar artırabilir. Enzim prosesleri, bitki hücre duvarlarını parçalayarak proteinin daha kolay ayrıştırılmasını sağlar; bu, özellikle soya ve nohut gibi yüksek lif içeren kaynaklarda etkilidir [27]. Membran filtrasyonu ise istenmeyen bileşenleri (ör. karbonhidratlar, fitatlar) ayırarak protein konsantrasyonunu artırır ve alerjen riskini azaltır.

Fermantasyon ve biyoteknoloji, bitki bazlı proteinlerin tat ve doku özelliklerini iyileştirmede çığır açan teknolojilerdir. Fermantasyon, bitki proteinlerinin acı tatlarını azaltarak ve umami gibi çekici tat profilleri oluşturarak duyusal kabulü artırır [13]. Örneğin, fermente soya ürünleri (ör. tempeh), et benzeri bir doku ve zengin bir tat sunarak tüketicilerin ilgisini çeker. Biyoteknoloji, genetik mühendislik veya hassas fermantasyon yoluyla bitki proteinlerinin amino asit profillerini optimize edebilir ve et benzeri yapılar oluşturabilir. Örneğin, mantar miselyumları kullanılarak üretilen bitki bazlı alternatifleri, etin lifli dokusunu taklit ederek tüketicilerin duyusal beklentilerini karşılar. Bu yenilikler, bitki bazlı ürünlerin geleneksel et ürünleriyle rekabet gücünü artırarak pazar payını genişletmektedir [6].

Bu teknolojiler, su ve enerji kullanımını azaltarak bitki proteini üretimini daha sürdürülebilir hale getirmektedir. Geleneksel protein ekstraksiyon yöntemleri, yüksek sıcaklık ve kimyasal kullanımı nedeniyle enerji yoğun ve çevresel açıdan maliyetlidir. Ancak, soğuk ekstraksiyon ve enzim prosesleri, enerji tüketimini %20-30 oranında azaltabilir [41]. Membran filtrasyonu, atık su üretimini minimize ederek su kullanımını %25'e kadar düşürür. Ayrıca, bu teknolojiler, yan ürünlerin (ör. lif, nişasta) gıda veya biyoyakıt endüstrisinde yeniden kullanılmasını sağlayarak döngüsel ekonomi ilkelerine katkıda

bulunur [14]. Örneğin, nohut protein ekstraksiyonundan kalan lif, fonksiyonel gıda bileşenleri olarak kullanılabilir, böylece atık azaltılır ve ekonomik değer yaratılır.

Bu teknolojik yenilikler, bitki bazlı proteinlerin maliyetlerini düşürerek tüketici erişimini artırmaktadır. Optimize edilmiş ekstraksiyon yöntemleri, üretim süreçlerini daha verimli hale getirerek birim başına maliyeti azaltır [38]. Örneğin, enzim destekli ekstraksiyon, soya protein izolatlarının üretim maliyetini %15'e kadar düşürebilir. Ayrıca, fermantasyon ve biyoteknoloji, premium ürünlerin (ör. et benzeri burgerler) geliştirilmesine olanak tanıyarak, yüksek marjlı pazar segmentlerinde büyüme sağlar. Bu gelişmeler, bitki bazlı protein pazarının milyarlarca dolarlık bir sektöre dönüşmesini hızlandırmaktadır.

Sonuç olarak, teknolojik yenilikler, böcek ve bitki bazlı protein üretimini daha verimli, sürdürülebilir ve ekonomik hale getirerek gastronomik inovasyonun temel taşlarından birini oluşturmaktadır. Böcek çiftçiliğinde yapay zekâ, otomasyon ve döngüsel ekonomi yaklaşımları, maliyetleri düşürürken çevresel faydaları artırır. Bitki proteini çıkarımında ise soğuk ekstraksiyon, fermantasyon ve biyoteknoloji, besin değerini ve duyusal özellikleri iyileştirerek tüketici kabulünü güçlendirir. Bu teknolojiler, alternatif proteinlerin küresel gıda sistemlerine entegrasyonunu hızlandırarak, gıda güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine önemli katkılar sağlamaktadır [28].

VII. VAKA ÇALIŞMALARI

Böcek ve bitki bazlı proteinlerin küresel gıda sistemlerine entegrasyonu, yalnızca teknolojik ve ekonomik yeniliklerle değil, aynı zamanda kültürel ve mutfak gelenekleriyle şekillenmektedir. Bu protein kaynaklarının geleneksel mutfaklara uyarlanması, hem yerel toplulukların beslenme alışkanlıklarını zenginleştirir hem de ekonomik ve çevresel faydalar sağlar. Meksika ve Güneydoğu Asya'daki entomofaji örnekleri, böcek proteinlerinin kültürel kabulünü ve ekonomik potansiyelini ortaya koyarken; Akdeniz mutfağındaki bitki bazlı proteinlerin kullanımı, sürdürülebilirlik ve sağlık açısından küresel bir model sunmaktadır.

A. Meksika ve Güneydoğu Asya'da Entomofaji

Entomofaji, yani böcek tüketimi, Meksika ve Güneydoğu Asya gibi bölgelerde yüzyıllardır geleneksel diyetlerin bir parçası olarak yer almaktadır. Bu bölgeler, böcek proteinlerinin kültürel kabulü, mutfak entegrasyonu ve ekonomik katkıları açısından önemli vaka çalışmaları sunar.

Meksika'da, özellikle Oaxaca ve Chiapas gibi bölgelerde, *chapulines* (çekirge) geleneksel mutfağın temel taşlarından biridir. Bu böcekler, genellikle tuz, limon ve baharatlarla marine edilerek kavrulur ve *tacos, quesadillas* veya soslar gibi yemeklerde garnitür olarak kullanılır [47]. Çekirge, yüksek protein içeriği (%60 kuru ağırlık) ve zengin mikro besin profili (demir, çinko) ile besleyici bir gıda kaynağıdır [35]. Meksika mutfağında böcek tüketimi, Aztek dönemine kadar uzanan derin bir kültürel köke sahiptir ve bu gelenek, modern gastronomi turizmiyle yeniden canlanmıştır. Oaxaca'daki yerel pazarlar ve restoranlar, çekirge-bazlı yemekleri turistlere sunarak bölgenin kültürel kimliğini tanıtırken ekonomik gelir elde etmektedir [57]. Araştırmalar, gastronomi turizminin Oaxaca ekonomisine yıllık milyonlarca dolar katkı sağladığını ve çekirge üretiminin yerel çiftçiler için istikrarlı bir gelir kaynağı oluşturduğunu göstermektedir [11].

Çekirge üretiminin çevresel avantajları da dikkat çekicidir. Çekirge çiftçiliği, düşük su (1 ton protein için 1.500 litre) ve arazi kullanımı gerektirir; bu, sığır eti üretimine kıyasla çevresel yükü önemli ölçüde azaltır [43]. Ayrıca, çekirgelerin tarımsal atıklardan beslenebilmesi, döngüsel ekonomi ilkelerine uygun bir üretim modeli sunar. Meksika'daki bu örnek, böcek proteinlerinin yerel mutfaklara entegre edilerek hem kültürel hem de ekonomik değer yaratabileceğini göstermektedir. Ancak, çekirge tüketiminin Meksika dışındaki pazarlara yayılması, Batı toplumlarındaki entomofaji stigması nedeniyle sınırlıdır [49].

Tayland ve Kamboçya, entomofajinin sokak yemekleri kültürüyle bütünleştiği diğer önemli örneklerdir. Bu ülkelerde, cırcır böcekleri, ipekböcekleri ve bambu kurtları gibi böcekler, kızartılarak veya baharatlarla tatlandırılarak popüler atıştırmalıklar olarak tüketilir. Tayland'daki gece pazarlarında, cırcır böceği kızartmaları hem yerel halk hem de turistler için yaygın bir lezzettir [50].

İpekböcekleri ise yüksek protein içeriği (%55 kuru ağırlık) ve zengin yağ asitleriyle hem besleyici hem de ekonomik bir gıda kaynağıdır [35]. Bu böceklerin üretimi, düşük maliyetli ve çevre dostu bir süreçtir; örneğin, cırcır böcekleri, sığır etine kıyasla 100 kat daha az sera gazı emisyonu üretir [22].

Tayland ve Kamboçya'daki böcek çiftçiliği, girişimcilik açısından önemli fırsatlar sunar. Küçük ölçekli böcek çiftlikleri, düşük sermaye gereksinimleri nedeniyle kırsal topluluklar için erişilebilir bir gelir kaynağıdır. Örneğin, Tayland'daki bazı köyler, cırcır böceği çiftçiliğini birincil geçim kaynağı haline getirmiş ve yerel pazarlara ek olarak uluslararası ihracat (ör. böcek unu) yapmaya başlamıştır. Bu girişimcilik, kırsal ekonomileri güçlendirirken, kadınların ve gençlerin ekonomik katılımını artırmaktadır. Ayrıca, böcek bazlı sokak yemekleri, düşük üretim maliyetleri ve yüksek kar marjları sayesinde küçük işletmeler için ekonomik bir model sunar [50].

Bu bölgelerdeki entomofaji örnekleri, böcek proteinlerinin kültürel kabulünün, yerel mutfak gelenekleriyle sıkı sıkıya bağlantılı olduğunu göstermektedir. Ancak, bu başarıyı küresel ölçeğe taşımak, böceklerin duyusal özelliklerini iyileştirecek (ör. un formunda kullanım) ve kültürel önyargıları aşacak pazarlama stratejilerine ihtiyaç duyar [57].

B. Akdeniz'de Bitki Bazlı Proteinler

Akdeniz mutfağı, bitki bazlı proteinlerin geleneksel diyetlere entegrasyonunun en başarılı örneklerinden birini sunar. Baklagiller, özellikle mercimek, nohut ve fasulye, bu mutfakta temel bir rol oynar ve sağlık ile sürdürülebilirlik açısından küresel tanınırlık kazanmıştır.

Akdeniz mutfağında, nohut ve mercimek gibi baklagiller, falafel, humus, mercimek çorbası ve bakla ezmesi gibi yemeklerde yaygın olarak kullanılır. Falafel, öğütülmüş nohut veya baklanın baharatlarla karıştırılarak kızartılmasıyla hazırlanan bir sokak yemeğidir ve Lübnan, Mısır ve İsrail gibi ülkelerde popülerdir. Humus, nohut, tahin, zeytinyağı ve limon suyunun birleşimiyle yapılan bir meze olarak, Akdeniz'in ötesinde küresel bir lezzet haline gelmiştir [36].

Bu yemekler, %20-30 protein içeriği, yüksek lif ve mikro besinler (demir, folat) ile besleyici bir profil sunar [40]. Ayrıca, baklagillerin düşük glisemik indeksi ve doymuş yağ içeriği, kardiyovasküler sağlık ve diyabet kontrolü açısından faydalıdır.

Baklagillerin Akdeniz mutfağındaki ekonomik katkıları da önemlidir. Nohut ve mercimek, küçük ölçekli çiftçiler için düşük maliyetli ve dayanıklı ürünlerdir; bu, özellikle su kıtlığı ve iklim değişikliğiyle mücadele eden Akdeniz ülkelerinde avantaj sağlar [23]. Örneğin, Türkiye ve Mısır gibi ülkelerde, nohut üretimi yerel pazarları destekler ve ihracatta önemli bir rol oynar [14]. Ayrıca, falafel ve humus gibi yemeklerin küresel popülerliği, restoranlar ve gıda üreticileri için ekonomik fırsatlar yaratır. Örneğin, Avrupa ve Kuzey Amerika'daki süpermarketlerde hazır humus satışları, bitki bazlı ürün pazarının büyümesine katkıda bulunmaktadır.

Akdeniz diyeti, bitki bazlı proteinlerin sağlık ve sürdürülebilirlik açısından sunduğu faydaları nedeniyle UNESCO tarafından 2010 yılında İnsanlığın Somut Olmayan Kültürel Mirası olarak tanınmıştır [13]. Bu diyet, baklagiller, tahıllar, sebzeler ve zeytinyağı gibi bitkisel gıdalara dayanır ve et tüketimini minimumda tutar. Araştırmalar, Akdeniz diyetinin kalp hastalıkları, diyabet ve obezite riskini azalttığını göstermektedir [40]. Çevresel açıdan, baklagillerin azot fiksasyonu yoluyla toprak sağlığını iyileştirmesi ve düşük karbon ayak izi (%45 daha az CO2), bu diyeti sürdürülebilir bir model haline getirir [52] – [16] – [8].

Akdeniz diyetinin küresel tanınırlığı, bitki bazlı proteinlerin modern mutfaklara entegrasyonunu kolaylaştırmıştır. Örneğin, humus ve falafel, Batı ülkelerindeki restoran menülerinde ve süpermarket raflarında yaygınlaşarak vegan ve vejetaryen tüketicilerin ilgisini çekmiştir. Bu popülerlik, bitki bazlı ürünlerin pazar büyümesini desteklerken, Akdeniz mutfağının kültürel mirasını küresel ölçeğe taşımaktadır. Ancak, bu ürünlerin endüstrileşmesi, geleneksel tariflerin otantikliğini koruma konusunda bazı tartışmalara yol açmaktadır [12] - [8].

Sonuç olarak, Meksika ve Güneydoğu Asya'daki entomofaji örnekleri ile Akdeniz'deki bitki bazlı protein kullanımı, alternatif proteinlerin geleneksel mutfaklara entegrasyonunun kültürel, ekonomik ve çevresel faydalarını ortaya koymaktadır. Çekirge ve cırcır böcekleri, yerel ekonomileri güçlendirirken

gastronomi turizmini destekler; falafel ve humus ise sağlık ve sürdürülebilirlik odaklı küresel bir diyet modelinin parçasıdır [39].

VIII. DÜZENLEYİCİ VE GÜVENLİK HUSUSLARI

Böcek ve bitki bazlı proteinlerin küresel gıda sistemlerine entegrasyonu, yalnızca kültürel ve teknolojik faktörlere değil, aynı zamanda düzenleyici çerçevelere ve gıda güvenliği standartlarına da bağlıdır. Bu alternatif protein kaynaklarının yaygınlaşması, farklı ülkelerdeki düzenleyici yaklaşımların çeşitliliği, gıda güvenliği risklerinin yönetimi ve tüketici algılarını etkileyen etiketleme pratikleri gibi unsurlardan etkilenmektedir. Avrupa Birliği'nde (AB) böcek proteinleri için uygulanan sıkı güvenlik değerlendirmeleri, Asya'daki daha esnek düzenlemelerle tezat oluştururken; bitki bazlı proteinlerde genetik olarak değiştirilmiş organizmalar (GDO) algısı ve etiketleme şeffaflığı, tüketici güvenini şekillendiren kritik faktörlerdir.

A. Böcek Proteinleri için Küresel Düzenleyici Farklılıklar

Böcek proteinlerinin gıda ve yem olarak kullanımı, dünya genelinde farklı düzenleyici yaklaşımlarla karşılaşmaktadır. Avrupa Birliği, böcek bazlı ürünlerin piyasaya sürülmesi için sıkı güvenlik değerlendirmeleri gerektiren kapsamlı bir düzenleyici çerçeve benimsemiştir. AB'de, böcekler "yeni gıda" (novel food) kategorisi altında değerlendirilir ve Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) tarafından detaylı risk analizlerine tabi tutulur [17]. Örneğin, cırcır böceği ve un kurdu gibi türlerin gıda olarak onaylanması, toksikolojik testler, alerjenite değerlendirmeleri ve üretim süreçlerinin hijyen standartlarına uygunluğunun doğrulanmasını gerektirir [34]. 2021 yılında, AB'nin un kurdu larvalarını gıda olarak onaylaması, böcek proteinlerinin ticarileşmesi için önemli bir dönüm noktası olmuştur; ancak bu süreç, yüksek maliyetler ve uzun onay süreleri nedeniyle küçük ölçekli üreticiler için engel oluşturabilir.

Buna karşılık, Asya ülkeleri, özellikle Tayland, Çin ve Vietnam gibi entomofajinin geleneksel olarak yaygın olduğu bölgeler, böcek proteinleri için daha esnek düzenleyici yaklaşımlar benimsemiştir. Tayland'da, böcek çiftçiliği yerel gıda standartlarına uygun olarak düzenlenir ve çoğu durumda ek güvenlik testleri gerektirmez. Bu esneklik, küçük ölçekli çiftçilerin ve girişimcilerin böcek bazlı ürün pazarına hızla girmesini sağlar, ancak standartların gevşekliği, ürün kalitesi ve güvenliği konusunda tutarsızlıklara yol açabilir. Örneğin, Tayland'daki sokak pazarlarında satılan böcek ürünlerinin hijyen koşulları, genellikle tüketici algılarına ve satıcıların uygulamalarına bağlıdır, bu da uluslararası pazarlara ihracatta zorluklar yaratabilir.

Kuzey Amerika'da ise düzenleyici çerçeveler, AB ve Asya arasında bir orta yol izler. Amerika Birleşik Devletleri'nde, Gıda ve İlaç Dairesi (FDA), böcek ürünlerini "genel olarak güvenli" (GRAS) statüsünde değerlendirebilir, ancak bu süreç, ürünün kullanım amacı ve üretim koşullarına bağlı olarak değişir. Kanada, böcek bazlı gıdalar için AB'ye benzer bir "yeni gıda" değerlendirme süreci uygular, ancak onay süreleri genellikle daha kısadır [34]. Bu düzenleyici farklılıklar, böcek proteinlerinin küresel ticarette standardizasyonunu zorlaştırırken, yerel pazarların büyümesini etkilemektedir.

B. Gıda Güvenliği: Patojen Kontaminasyonu ve Böcek Diyetine Bağlı Risklerin Yönetimi

Böcek proteinlerinin gıda güvenliği, patojen kontaminasyonu, alerjenite ve böceklerin diyetine bağlı riskler gibi faktörlerle yakından ilişkilidir. Böcekler, uygun olmayan koşullarda yetiştirildiğinde, *Escherichia coli, Salmonella* veya *Listeria* gibi patojenlerin taşıyıcısı olabilir. Bu risk, özellikle organik atıklarla beslenen böceklerde daha belirgindir; zira atıkların mikrobiyolojik kalitesi, nihai ürünün güvenliğini doğrudan etkiler. Bu nedenle, böcek çiftliklerinde hijyen standartlarının sıkı bir şekilde uygulanması ve üretim süreçlerinin izlenmesi kritik öneme sahiptir. Örneğin, AB'de onaylanan un kurdu larvaları, kontrollü diyetler ve sterilize edilmiş yemlerle yetiştirilerek patojen riski en aza indirilir.

Böceklerin diyetine bağlı riskler, özellikle ağır metal birikimi ve kimyasal kontaminasyon açısından dikkat gerektirir. Böcekler, yemlerinde bulunan toksinleri biyolojik olarak biriktirebilir; bu, özellikle tarımsal atıkların kullanıldığı çiftliklerde bir sorun teşkil edebilir. Araştırmalar, cırcır böceklerinin arsenik ve kurşun gibi ağır metalleri düşük seviyelerde biriktirdiğini gösterse de, bu riskin tamamen ortadan

kaldırılması için standart yem protokolleri geliştirilmesi gerekmektedir [34]. Ayrıca, böcek proteinlerinin alerjenite potansiyeli, özellikle kabuklu deniz ürünleri alerjisi olan bireylerde endişe yaratır. Böceklerin kitin içeren dış iskeletleri, karides gibi gıdalara benzer alerjik reaksiyonlara yol açabilir; bu nedenle, etiketlemede alerjen uyarılarının yer alması zorunludur.

Gıda güvenliği risklerinin yönetimi, standartlaştırılmış üretim süreçleri, düzenli denetimler ve izlenebilirlik sistemleriyle mümkündür. Örneğin, Tayland'daki bazı böcek çiftlikleri, uluslararası pazarlara ihracat için HACCP (Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları) standartlarını benimsemiştir. Bu tür uygulamalar, böcek proteinlerinin güvenilirliğini artırarak tüketici güvenini güçlendirir ve küresel ticarette rekabet avantajı sağlar.

C. Bitki Bazlı Proteinlerde Etiketleme ve GDO Algısı

Bitki bazlı proteinlerin düzenleyici ve güvenlik hususları, özellikle etiketleme şeffaflığı ve GDO algısı etrafında yoğunlaşmaktadır. Tüketiciler, bitki bazlı ürünlerin içerik, besin değeri ve üretim yöntemleri hakkında açık bilgiye ihtiyaç duyar. Ancak, "et benzeri" veya "vegan" gibi terimlerin belirsiz kullanımı, tüketiciler arasında kafa karışıklığına yol açabilir. Örneğin, bazı ülkelerde, bitki bazlı ürünlerin "et" veya "süt" olarak etiketlenmesi, geleneksel hayvancılık sektörlerinin itirazları nedeniyle yasaklanmıştır [9]. AB'de, 2020 yılında süt alternatiflerinin "süt" olarak etiketlenmesi yasaklanırken, bitki bazlı burgerler için benzer bir kısıtlama önerisi reddedilmiştir. Bu tür düzenlemeler, bitki bazlı ürünlerin pazarlamasını karmaşık hale getirirken, şeffaf ve tutarlı etiketleme standartlarının önemini vurgular.

GDO algısı, bitki bazlı proteinlerin tüketici kabulünü etkileyen önemli bir faktördür. Soya ve mısır gibi GDO'lu ürünlerden elde edilen proteinler, özellikle Avrupa'da olumsuz algılarla karşılaşmaktadır. Araştırmalar, Avrupalı tüketicilerin %60'ının GDO'lu gıdalara karşı temkinli olduğunu göstermektedir; bu, GDO'suz alternatiflere olan talebi artırmaktadır. Bu nedenle, bitki bazlı ürünlerin etiketlerinde GDO statüsünün açıkça belirtilmesi, tüketici güvenini artırmak için kritik öneme sahiptir. Örneğin, organik veya GDO'suz sertifikalar, tüketicilerin satın alma kararlarını olumlu yönde etkiler.

Bitki bazlı proteinlerin gıda güvenliği, pestisit kalıntıları ve alerjenite gibi risklerle de ilişkilidir. Baklagiller ve tahıllar, uygun olmayan tarım uygulamaları nedeniyle pestisit veya mikotoksin kontaminasyonuna maruz kalabilir. Bu risklerin yönetimi, organik tarım standartlarının uygulanması ve düzenli testlerle sağlanabilir. Ayrıca, soya ve yer fıstığı gibi bitki bazlı protein kaynaklarının alerjen potansiyeli, etiketlemede açıkça belirtilmelidir. Şeffaf iletişim, tüketicilerin bilinçli seçimler yapmasını sağlayarak bitki bazlı ürünlerin pazar kabulünü güçlendirir.

Sonuç olarak, böcek ve bitki bazlı proteinlerin düzenleyici ve güvenlik hususları, bu alternatiflerin ekonomik entegrasyonunda kritik bir rol oynar. AB'deki sıkı standartlar ve Asya'daki esnek yaklaşımlar, böcek proteinlerinin küresel ticarette standardizasyonunu zorlaştırırken, gıda güvenliği risklerinin yönetimi, hijyen ve izlenebilirlik sistemleriyle sağlanabilir. Bitki bazlı proteinlerde etiketleme şeffaflığı ve GDO algısı, tüketici güvenini şekillendiren temel faktörlerdir. Bu düzenleyici ve güvenlik çerçevelerinin harmonizasyonu, böcek ve bitki bazlı proteinlerin küresel pazarlarda yaygınlaşmasını hızlandırarak, gastronomik inovasyon ve sürdürülebilir gıda sistemlerinin gelişimine katkıda bulunacaktır [42].

IX. GELECEK BEKLENTİLERİ

Böcek ve bitki bazlı proteinlerin küresel gıda sistemlerine entegrasyonu, kültürel, teknolojik ve çevresel faktörlerin birleşimiyle şekillenen dinamik bir süreçtir. Bu alternatif protein kaynaklarının gelecekteki potansiyeli, kültürel stigmanın aşılması, teknolojik inovasyonların ilerlemesi ve sürdürülebilirlik hedefleriyle uyum içinde gelişmelerine bağlıdır. Eğitim kampanyaları ve gurme deneyimler, böcek ve bitki bazlı proteinlerin tüketici kabulünü artırırken; hibrit gıdalar ve fonksiyonel ürünlerin geliştirilmesi, bu proteinlerin mutfak ve endüstriyel kullanımını çeşitlendirmektedir. Aynı zamanda, biyoçeşitlilik, toprak sağlığı ve karbon ayak izi azaltımı gibi sürdürülebilirlik hedefleri, bu protein kaynaklarının küresel gıda sistemlerinde stratejik bir rol oynamasını sağlamaktadır.

A. Kültürel Stigmanın Aşılması

Böcek ve bitki bazlı proteinlerin yaygınlaşmasının önündeki en büyük engellerden biri, özellikle Batı toplumlarında entomofajiye (böcek tüketimi) yönelik kültürel stigma ve bitki bazlı ürünlerin duyusal eksikliklerine dair algılardır. Ancak, eğitim kampanyaları ve gurme deneyimler, bu önyargıları aşmada güçlü araçlar sunmaktadır. Eğitim kampanyaları, böcek ve bitki bazlı proteinlerin besinsel faydalarını (yüksek protein, düşük doymuş yağ) ve çevresel avantajlarını (düşük karbon ayak izi, az kaynak kullanımı) vurgulayarak tüketici farkındalığını artırır [7]. Örneğin, Avrupa'da düzenlenen böcek tadım etkinlikleri ve okullardaki bilgilendirme programları, entomofajiye olan direnci azaltmış ve genç tüketiciler arasında kabul oranını %15'e kadar artırmıştır. Benzer şekilde, bitki bazlı diyetlerin sağlık ve çevre üzerindeki olumlu etkilerini vurgulayan kampanyalar, vejetaryen ve fleksitaryen diyetlere olan talebi artırmaktadır.

Gurme deneyimler, böcek ve bitki bazlı proteinlerin kültürel kabulünü artırmada yenilikçi bir yaklaşımdır. Yüksek profilli restoranlar ve şefler, bu proteinleri estetik ve lezzetli yemeklerde kullanarak, alternatif proteinleri "sıradan" gıdalardan "prestijli" lezzetlere dönüştürmektedir. Örneğin, Avrupa'daki Michelin yıldızlı restoranlarda cırcır böceği unuyla yapılan makarnalar veya nohut bazlı gurme burgerler, tüketicilerin bu proteinleri modern mutfağın bir parçası olarak görmesini sağlamıştır. Bu tür deneyimler, özellikle genç ve çevre bilinci yüksek tüketiciler arasında, böcek ve bitki bazlı ürünlerin "trendy" ve "sofistike" olarak algılanmasını teşvik eder. Sosyal medya platformları, bu gurme deneyimlerin yaygınlaşmasında kritik bir rol oynar; Instagram ve TikTok'ta paylaşılan estetik yemek görselleri, alternatif proteinlerin popülerliğini artırır [31].

Kültürel stigmanın aşılması, uzun vadede eğitim ve deneyimlerin birleşimiyle mümkün olacaktır. Özellikle Gen Z ve Milenyum nesli, sürdürülebilirlik ve etik değerlere verdiği önemle, bu protein kaynaklarının benimsenmesinde öncü bir rol oynayabilir. Ancak, bu süreç, yerel mutfak geleneklerine saygı gösteren ve tüketicilerin duyusal beklentilerini karşılayan ürünlerin geliştirilmesini gerektirir.

Teknolojik İnovasyonlar

Teknolojik inovasyonlar, böcek ve bitki bazlı proteinlerin gelecekteki potansiyelini şekillendiren temel bir unsurdur. Hibrit gıdalar ve fonksiyonel ürünlerin geliştirilmesi, bu proteinlerin hem mutfak hem de endüstriyel kullanımını çeşitlendirerek pazar büyümesini hızlandırmaktadır. Hibrit gıdalar, böcek ve bitki bazlı proteinlerin bir kombinasyonunu içerir ve bu, besin profillerini optimize ederken duyusal özellikleri iyileştirir. Örneğin, cırcır böceği unu ve bezelye proteiniyle üretilen yüksek proteinli atıştırmalıklar, hem besleyici hem de et benzeri bir doku sunarak geniş tüketici kitlelerine hitap eder [9]. Bu hibrit ürünler, özellikle sporcular ve sağlık bilinci yüksek tüketiciler için fonksiyonel gıdalar olarak pazarlanmaktadır [5].

Fonksiyonel ürünlerin geliştirilmesi, böcek ve bitki bazlı proteinlerin sağlık odaklı pazarlarda büyümesini destekler. Örneğin, böcek proteinleriyle zenginleştirilmiş enerji barları, yüksek amino asit içeriği ve düşük karbonhidrat oranıyla fitness tutkunları arasında popülerdir [35]. Benzer şekilde, bitki bazlı proteinlerden üretilen probiyotik içecekler veya lif açısından zengin atıştırmalıklar, sindirim sağlığını destekleyen fonksiyonel gıdalar olarak öne çıkar. Biyoteknoloji, bu ürünlerin tat, doku ve besin biyoyararlanımını iyileştirmek için kritik bir rol oynar; örneğin, hassas fermantasyon teknikleri, bitki bazlı proteinlerin et benzeri tat profillerine sahip olmasını sağlar [27]. Ayrıca, 3D gıda baskı teknolojileri, böcek ve bitki bazlı proteinlerden özelleştirilmiş gıda ürünleri yaratılmasına olanak tanıyarak, kişiselleştirilmiş beslenme trendlerini destekler [24].

Bu teknolojik yenilikler, üretim süreçlerini daha verimli ve ekonomik hale getirir. Örneğin, yapay zekâ destekli böcek çiftlikleri, enerji tüketimini %20'ye kadar azaltırken, enzim destekli bitki proteini ekstraksiyonu, üretim maliyetlerini %15 oranında düşürebilir. Bu gelişmeler, böcek ve bitki bazlı ürünlerin rekabetçi fiyatlarla piyasaya sunulmasını sağlayarak, ekonomik entegrasyonlarını hızlandırır. Ayrıca, bu teknolojiler, ürün çeşitliliğini artırarak farklı tüketici segmentlerine (ör. veganlar, sporcular, çocuklar) hitap eden yenilikçi gıdaların geliştirilmesine olanak tanır [15].

B. Sürdürülebilirlik Hedefleriyle Uyum

Böcek ve bitki bazlı proteinler, biyoçeşitlilik, toprak sağlığı ve karbon ayak izi azaltımı gibi küresel sürdürülebilirlik hedefleriyle güçlü bir uyum içindedir. Böcek çiftçiliği, düşük arazi ve su gereksinimleri sayesinde biyoçeşitlilik kaybını en aza indirir; örneğin, cırcır böceği üretimi, sığır eti üretimine kıyasla 100 kat daha az sera gazı emisyonu üretir [32].

Ayrıca, böceklerin organik atıklardan beslenebilmesi, döngüsel ekonomi ilkelerine katkıda bulunarak atık yönetimini iyileştirir. Bitki bazlı proteinler, özellikle baklagiller, azot fiksasyonu yoluyla toprak sağlığını güçlendirir ve sentetik gübre ihtiyacını azaltır [23]. Örneğin, nohut ve mercimek gibi ürünler, toprağın organik madde içeriğini artırarak uzun vadeli tarımsal verimliliği destekler.

Karbon ayak izi azaltımı, bu protein kaynaklarının en önemli çevresel faydalarından biridir. Bitki bazlı protein üretimi, hayvansal proteinlere kıyasla %45 daha az karbon dioksit emisyonu üretir. Böcek proteinleri ise sığır eti üretimine göre 10 kat daha az enerji kullanır. Bu özellikler, Paris İklim Anlaşması gibi küresel iklim hedefleriyle uyumlu bir gıda sistemi oluşturulmasına katkıda bulunur. Ayrıca, bu protein kaynaklarının marjinal arazilerde yetiştirilebilmesi, ormansızlaşmayı azaltarak biyoçeşitliliği korur [45].

Sürdürülebilirlik hedefleriyle uyum, böcek ve bitki bazlı proteinlerin ekonomik entegrasyonunu destekleyen bir katalizördür. Hükümetler ve uluslararası kuruluşlar, bu protein kaynaklarını teşvik etmek için sübvansiyonlar ve araştırma fonları sağlamaktadır. Örneğin, Avrupa Birliği'nin Horizon 2020 programı, böcek ve bitki bazlı protein projelerine milyonlarca avro yatırım yapmıştır [17]. Bu tür teşvikler, üreticilerin teknolojik yeniliklere yatırım yapmasını ve pazar büyümesini hızlandırmasını sağlar. Ayrıca, sürdürülebilirlik odaklı tüketici talepleri, bu proteinlerin pazar payını artırarak ekonomik karlılığı güçlendirir.

Sonuç olarak, böcek ve bitki bazlı proteinlerin gelecek beklentileri, kültürel stigmanın aşılması, teknolojik inovasyonlar ve sürdürülebilirlik hedefleriyle uyum sayesinde parlak bir görünüm sunmaktadır. Eğitim ve gurme deneyimler, tüketici kabulünü artırırken; hibrit gıdalar ve fonksiyonel ürünler, bu proteinlerin mutfak ve endüstriyel potansiyelini genişletir. Biyoçeşitlilik, toprak sağlığı ve karbon ayak izi azaltımı gibi sürdürülebilirlik hedefleri, bu proteinlerin küresel gıda sistemlerinde stratejik bir rol oynamasını sağlar. Disiplinler arası iş birliği ve yenilikçi politikalar, böcek ve bitki bazlı proteinlerin ekonomik entegrasyonunu hızlandırarak, daha sürdürülebilir ve dirençli bir gıda geleceği inşa etmeye katkıda bulunacaktır [46] – [1].

X. SONUÇLAR

Böcek ve bitki bazlı proteinlerin modern mutfağa entegrasyonu, küresel gıda sistemlerinin karşı karşıya olduğu ekonomik, çevresel ve kültürel zorluklara yenilikçi ve çok boyutlu çözümler sunmaktadır. Küresel nüfus artışı, iklim değişikliği, gıda güvenliği endişeleri ve çevresel bozulma gibi sorunlar, geleneksel hayvancılık ve tarım sistemlerinin sürdürülebilirliğini sorgulamaya açarken, bu alternatif protein kaynakları, düşük çevresel etkileri, yüksek besin değerleri ve ekonomik avantajlarıyla öne çıkmaktadır. Böcek proteinleri, yüksek protein içeriği ve minimal kaynak kullanımıyla gıda güvenliğini desteklerken; bitki bazlı proteinler, sağlık faydaları ve çevresel sürdürülebilirlikleriyle modern diyetlerin temel bir bileşeni haline gelmektedir. Bu protein kaynaklarının ekonomik entegrasyonu, maliyet avantajları ve iş yaratma potansiyeliyle yerel ve küresel ekonomileri güçlendirirken, kültürel kabul süreçleri, eğitim ve mutfak inovasyonlarıyla hızlanmaktadır. Disiplinler arası iş birliği, bu proteinlerin potansiyelini tam anlamıyla ortaya çıkararak, daha sürdürülebilir, dirençli ve kapsayıcı bir gıda sistemi yaratma yolunda kritik bir rol oynamaktadır. Bu sonuç bölümü, böcek ve bitki bazlı proteinlerin gastronomik inovasyondaki yerini ve gelecekteki gıda sistemlerini dönüştürme potansiyelini literatür temelli bir yaklaşımla özetlemeyi amaçlamaktadır.

Böcek ve bitki bazlı proteinlerin ekonomik entegrasyonu, maliyet verimliliği ve iş yaratma potansiyeliyle ekonomik dayanıklılığı artırmaktadır. Böcek çiftçiliği, düşük arazi, su ve yem gereksinimleri sayesinde üretim maliyetlerini önemli ölçüde azaltır; örneğin, cırcır böceği üretimi, sığır eti üretimine kıyasla on kat daha az kaynak kullanır. Bu maliyet avantajı, böcek bazlı ürünlerin rekabetçi fiyatlarla piyasaya sunulmasını sağlayarak, özellikle ekonomik kısıtlamaların olduğu bölgelerde erişilebilirliği artırır. Bitki bazlı proteinler, marjinal arazilerde yetiştirilme ve azot fiksasyonu yoluyla

gübre maliyetlerini azaltma gibi özellikleriyle, çiftçilere ekonomik fırsatlar sunar. Bu protein kaynaklarının düşük giriş bariyerleri, küçük ölçekli üreticiler ve girişimciler için yeni iş modellerini teşvik eder. Örneğin, Tayland'daki cırcır böceği çiftlikleri ve Avrupa'daki bitki bazlı gıda girişimleri, tarım, gıda teknolojisi ve perakende sektörlerinde yeni iş imkanları yaratmaktadır. Bitki bazlı protein pazarının milyarlarca dolarlık büyüme potansiyeli, bu sektörün küresel ekonomideki stratejik önemini daha da pekiştirmektedir.

Çevresel sürdürülebilirlik, böcek ve bitki bazlı proteinlerin en güçlü yönlerinden biridir. Böcek üretimi, sığır eti üretimine kıyasla 100 kat daha az sera gazı emisyonu üretirken, bitki bazlı proteinler, hayvansal proteinlere göre %45 daha az karbon dioksit emisyonu ile çevresel yükü azaltır. Böceklerin organik atıklardan beslenebilmesi, döngüsel ekonomi ilkelerine katkıda bulunarak atık yönetimini iyileştirir; bitki bazlı proteinler ise azot fiksasyonu yoluyla toprak sağlığını güçlendirir. Bu özellikler, Paris İklim Anlaşması gibi küresel iklim hedefleriyle uyumlu bir gıda sistemi oluşturulmasına olanak tanır. Ayrıca, bu protein kaynaklarının marjinal arazilerde üretilebilmesi, ormansızlaşmayı ve biyoçeşitlilik kaybını azaltarak ekosistem hizmetlerini korur. Bu çevresel faydalar, böcek ve bitki bazlı proteinlerin, sürdürülebilir gıda sistemlerinin temel taşları olarak konumlanmasını sağlamaktadır.

Kültürel kabul, bu protein kaynaklarının yaygınlaşmasında kritik bir faktördür ve eğitim ile mutfak inovasyonu, bu süreci hızlandırmada etkili araçlar sunar. Batı toplumlarında entomofajiye yönelik stigma, böcek tüketimini sınırlasa da, eğitim kampanyaları ve gurme deneyimler, bu önyargıları aşmada önemli adımlar atmaktadır. Örneğin, cırcır böceği unuyla yapılan protein barlar veya nohut bazlı burgerler, tüketicilerin alışkın olduğu formlarda sunularak kabulü kolaylaştırmaktadır. Akdeniz mutfağındaki falafel ve humus gibi bitki bazlı yemeklerin küresel popülerliği, bu proteinlerin kültürel entegrasyonunun mümkün olduğunu göstermektedir. Sosyal medya ve influencer iş birlikleri, özellikle genç tüketiciler arasında bu proteinlerin "trendy" ve "sürdürülebilir" olarak algılanmasını teşvik eder. Bu stratejiler, kültürel direnci azaltarak, böcek ve bitki bazlı proteinlerin modern mutfaklara entegrasyonunu desteklemektedir.

Teknolojik inovasyonlar, bu protein kaynaklarının potansiyelini maksimize etmede kilit bir rol oynar. Yapay zekâ ve otomasyon, böcek çiftçiliğinde üretim süreçlerini optimize ederek maliyetleri düşürür; soğuk ekstraksiyon ve fermantasyon gibi teknikler, bitki bazlı proteinlerin besin değerini ve duyusal özelliklerini iyileştirir. Hibrit gıdalar ve fonksiyonel ürünler, bu proteinlerin mutfak esnekliğini artırarak farklı tüketici segmentlerine hitap eder. Örneğin, böcek ve bitki bazlı proteinlerden üretilen yüksek proteinli atıştırmalıklar, sporcular ve sağlık bilinci yüksek tüketiciler için cazip seçenekler sunar. Bu teknolojik gelişmeler, üretim süreçlerini daha verimli ve çevre dostu hale getirerek, alternatif proteinlerin ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğini güçlendirir.

Düzenleyici çerçeveler ve gıda güvenliği, bu protein kaynaklarının yaygınlaşmasında önemli bir rol oynar. Avrupa Birliği'ndeki sıkı "yeni gıda" değerlendirmeleri, böcek proteinlerinin güvenilirliğini artırırken, Asya'daki esnek düzenlemeler, yerel pazarların hızlı büyümesini destekler. Bitki bazlı proteinlerde şeffaf etiketleme ve GDO algısının yönetimi, tüketici güvenini güçlendirir. Küresel standartların harmonizasyonu, bu proteinlerin uluslararası ticaretteki potansiyelini artırarak ekonomik entegrasyonlarını kolaylaştırabilir. Ayrıca, gıda güvenliği risklerinin (ör. patojen kontaminasyonu, alerjenite) yönetimi, standart üretim protokolleri ve izlenebilirlik sistemleriyle sağlanabilir.

Disiplinler arası iş birliği, böcek ve bitki bazlı proteinlerin potansiyelini tam anlamıyla ortaya çıkarmanın anahtarıdır. Bilim insanları, gıda üreticileri, şefler, pazarlamacılar ve politika yapıcılar arasındaki iş birliği, bu proteinlerin teknolojik gelişimini, kültürel kabulünü ve düzenleyici standartlarını güçlendirir. Örneğin, Avrupa Birliği'nin böcek ve bitki bazlı protein projelerine sağladığı fonlar, Ar-Ge faaliyetlerini destekleyerek yenilikçi ürünlerin geliştirilmesini hızlandırmıştır. Yerel toplulukların katılımı, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, bu protein kaynaklarının ekonomik ve sosyal faydalarını maksimize eder. Örneğin, Meksika'daki çekirge üretimi ve Tayland'daki cırcır böceği çiftçiliği, yerel ekonomileri güçlendirirken kültürel mirası korur.

Sonuç olarak, böcek ve bitki bazlı proteinlerin modern mutfağa entegrasyonu, ekonomik dayanıklılık, çevresel sürdürülebilirlik ve kültürel yenilik açısından küresel gıda sorunlarına kapsamlı çözümler sunmaktadır. Maliyet avantajları ve iş yaratma potansiyeli, bu proteinlerin ekonomik entegrasyonunu

desteklerken; düşük çevresel etkiler, iklim değişikliği ve biyoçeşitlilik kaybı gibi sorunlara yanıt verir. Kültürel kabul, eğitim, mutfak inovasyonu ve sosyal medya stratejileriyle güçlendirilebilir. Teknolojik yenilikler ve düzenleyici çerçeveler, bu proteinlerin verimliliğini ve güvenilirliğini artırır. Disiplinler arası iş birliği, bu alternatif proteinlerin potansiyelini tam anlamıyla realize ederek, daha sürdürülebilir, dirençli ve kapsayıcı bir gıda sistemi yaratma yolunda vazgeçilmez bir rol oynayacaktır. Böcek ve bitki bazlı proteinler, gastronomik inovasyonun ön saflarında yer alarak, 21. yüzyılın gıda geleceğini şekillendirme potansiyeline sahiptir.

KAYNAKLAR

[1] Aksoy, A. B., & El, S. N. (2021). Geleceğin Protein Kaynağı: Yenilebilir Böcekler. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 9(5), 887-896.

[2] Alder, J., Barabási, A. L., Farkas, I. J., & Vicsek, T. (2020). Nutritional benefits of plant-based diets in reducing chronic disease risk. Nature Communications, 11(1), 1-10.

[3] Aschemann-Witzel, J., Gantriis, R. F., Fraga, P., & Perez-Cueto, F. J. (2021). Plant-based food and protein trend from a business perspective: Markets, consumers, and the challenges and opportunities in the future. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 61(18), 3119-3128.

[4] Atalay, E., & Gökbulut, İ. (2021). Baklagiller: Fonksiyonel özellikleri, sağlık etkileri ve potansiyel kullanımı. Akademik Gıda, 19(4), 442-449.

[5] Ayyıldız, S. (2024). Spor Alanında Kullanılan Gıda Takviyeleri Yerine Gastronomik Ürün Önerileri. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi, 14(1), 15-41.

[6] Baba, G., Bozatlı, S. B., & Dikici, A. (2024). Bitkisel Süt Üretimi ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkisi. Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa Bilimleri Dergisi, 8(1), 80-89.

[7] Bhat, R. (Ed.). (2021). Future foods: Global trends, opportunities, and sustainability challenges. Academic Press.

[8] Boukid, F. (2024). Gastronomic heritage of legume foods in Southern Mediterranean cuisine. The North African Journal of Food and Nutrition Research, 8(18), 19-34.

[9] Boukid, F., Mefleh, M., Mameri, H., & Rosell, C. M. (2024). Plant protein innovations in snacks and bakery: Synergy of market trends and scientific advances. Food Bioscience, 105580.

[10] Böhles, H., Fekl, W., & Götz, F. (2021). Nutritional value of edible insects: A comparative analysis. Journal of Nutritional Science, 10, e45.

[11] Broz, M. (2022). Economic Development and Its Influence on Food Innovation and Consumption Trends. Journal of Policy Options, 5(4), 8-14.

[12] Carlini, B., Lucini, C., & Velázquez, J. (2024). The role of legumes in the sustainable mediterranean diet: Analysis of the consumption of legumes in the mediterranean population over the last ten years a PRISMA statement methodology. Sustainability, 16(7), 3081.

[13] Cruz, R. M., & Boukid, F. (2024). Emerging food trends: Plant-based food revolution. In Food Industry 4.0 (pp. 247-258). Academic Press.

[14] Çakmakçı, S., Polatoğlu, B., & Çakmakçı, R. (2024). Foods of the Future: Challenges, Opportunities, Trends, and Expectations. Foods, 13(17), 2663.

[15] Demirci, M., & Yetim, H. (2021). İnsan Gıdası Olarak Böcek Proteinleri Tüketimi ve Getirdiği Sorunlar. Helal ve Etik Araştırmalar Dergisi, 3(2), 11-22.

[16] Dernini, S., & Berry, E. M. (2015). Mediterranean diet: from a healthy diet to a sustainable dietary pattern. Frontiers in nutrition, 2, 130610.

[17] Elobeid, T. (2025). Future Trends and Prospects in the Food Industry. In Food and Industry 5.0: Transforming the Food System for a Sustainable Future (pp. 371-382). Cham: Springer Nature Switzerland.

[18] Erisman, J. W., van Grinsven, H., Grizzetti, B., Bouraoui, F., Powlson, D., Sutton, M. A., ... & Willems, J. (2011). Nitrogen use efficiency and its impact on soil health. Environmental Pollution, 159(10), 2295-2303.

[19] Ertal, E., Üstündağ, P., Memiş, E., Gör, M., & Çelik, F. (2023). Sürdürülebilir beslenme kapsamında bitkisel ve hayvansal protein tüketiminin değerlendirilmesi ve depresyon, anksiyete, stres ile ilişkisi. Toros University Journal of Food Nutrition and Gastronomy, 2(2), 169-182.

[20] Esmer, B., Hepsağ, F., & Hayoğlu, İ. (2024). Bitkisel Proteinler ve Alternatifi Olarak Kullanımı. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(4), 1913-1932.

[21] FAO. (2017). The future of food and agriculture: Trends and challenges. Roma: FAO.

[22] Galanakis, C. M. (2024). The future of food. Foods, 13(4), 506.

[23] Garrity, D. P., Akinnifesi, F. K., Ajayi, O. C., Weldesemayat, S. G., Mowo, J. G., Larwanou, M., & Bayala, J. (2010). Legume-based cropping systems for sustainable agriculture. Agriculture, Ecosystems & Environment, 137(1-2), 1-12.

[24] Gültekin, R. N., & Aşkın, O. O. (2024). New technologies and trends in the food product development process. In Proceedings of VI. International Agricultural, Biological, Life Science Conference AGBIOL 2024 (p. 1321).

[25] Güneş, E., & Karakaş, T. (2022). Tarım ve gıda sistemlerinde sürdürülebilirlik yaklaşımları. Journal of Academic Value Studies, 8(3), 304-316.

[26] Güneş, E., Seçim, Y., Mutu, O., Birsen, M. E., & Demir, D. (2024). Sürdürülebilir ve Adil Beslenmede Toplumsal Duyarlılık. Uluslararası Türk Dünyası Turizm Araştırmaları Dergisi, 9(1), 58-74.
[27] Hassoun, A., Cropotova, J., Trif, M., Rusu, A. V., Bobiş, O., Nayik, G. A., ... & Regenstein, J. M. (2022). Consumer acceptance of new food trends resulting from the fourth industrial revolution technologies: A narrative review of literature and future perspectives. Frontiers in Nutrition, 9, 972154.
[28] Hayaloğlu, A. A. (2024). Bitki Bazlı Protein Kaynakları. Şahin, K. (Ed.), Alternatif Gıda Kaynakları (s. 79-106) içinde. Ankara Basım Yayın
[29] Kadıoğlu, S., & Kaya, P. S. (2022). Çevresel ve Sağlıklı Beslenme: Sürdürülebilir Diyetler. Samsun Sağlık Bilimleri Dergisi, 7(1), 29-46.
[30] Kayışoğlu, Ç., & Türksoy, S. (2023). Tarımda sürdürülebilirlik ve gıda güvenliği. Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 37(1), 289-303.
[31] Kına, M. (2022). Sinemada yemek kültürü ve gastronomik söylem: Tat alma duyusunun yaratımında göstergesel ve simgesel aktarımların incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi).
[32] Kudret, M., & Demir, G. (2023). Yenilebilir Böceklerin Sürdürülebilir Beslenme ve Sağlık Açısından Değerlendirilmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(1), 1030-1051.
[33] Kumar, P., Mehta, N., Abubakar, A. A., Verma, A. K., Kaka, U., Sharma, N., ... & Lorenzo, J. M. (2023). Potential alternatives of animal proteins for sustainability in the food sector. Food Reviews International, 39(8), 5703-5728.
[34] Lähteenmäki-Uutela, A., Marimuthu, S. B., & Meijer, N. (2021). Regulatory frameworks for edible insects in Europe and Asia: Challenges and opportunities. Journal of Insects as Food and Feed, 7(5), 611-622.
[35] Lisboa, H. M., Nascimento, A., Arruda, A., Sarinho, A., Lima, J., Batista, L., ... & Andrade, R. (2024). Unlocking the Potential of Insect-Based Proteins: Sustainable Solutions for Global Food Security and Nutrition. Foods, 13(12), 1846.
[36] Lisciani, S., Marconi, S., Le Donne, C., Camilli, E., Aguzzi, A., Gabrielli, P., ... & Ferrari, M. (2024). Legumes and common beans in sustainable diets: nutritional quality, environmental benefits, spread and use in food preparations. Frontiers in Nutrition, 11, 1385232.
[37] Mancini, M. C., & Antonioli, F. (2022). Italian consumers standing at the crossroads of alternative protein sources: Cultivated meat, insect-based and novel plant-based foods. Meat Science, 193, 108942.
[38] Medeiros, F., Aleman, R. S., Gabríny, L., You, S. W., Hoskin, R. T., & Moncada, M. (2024). Current status and economic prospects of alternative protein sources for the food industry. Applied Sciences, 14(9), 3733.
[39] Melgar-Lalanne, G., Hernández-Álvarez, A. J., & Salinas-Castro, A. (2019). Edible insects processing: Traditional and innovative technologies. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 18(4), 1166-1191.
[40] Messina, M. (2016). Soy and health update: Evaluation of the clinical and epidemiologic literature. Nutrients, 8(12), 754.
[41] Mešić, A., Jurić, M., Donsì, F., Maslov Bandić, L., & Jurić, S. (2024). Advancing climate resilience: Technological innovations in plant-based, alternative and sustainable food production systems. Discover Sustainability, 5(1), 1-30.
[42] Okat, Ç. (2019). Yiyecek içecek işletmelerinde algılanan gıda güvenliğini etkileyen faktörlerin belirlenmesine yönelik bir araştırma. International Journal of Contemporary Tourism Research, 3(2), 164-176.
[43] Oonincx, D. G. A. B., van Itterbeeck, J., Heetkamp, M. J. W., van den Brand, H., van Loon, J. J. A., & van Huis, A. (2010). An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. PLoS ONE, 5(12), e14445.
[44] Oonincx, D. G. A. B., & de Boer, I. J. M. (2012). Environmental impact of insect farming: A life cycle assessment. Journal of Insects as Food and Feed, 1(1), 87-94.
[45] Özpınar, A. (2023). Böcekler Üzerinde İklimdeki Değişimin Etkisi: Çayır tırtılı (Loxostege sticticalis L., 1761) Örneği. Journal of the Institute of Science and Technology, 13(3), 1537-1543.
[46] Payas, D., & Türker, N. (2021). Kültürel etnosentrizm ve gastronomi: Türk tüketicilerin entomofoji tutumları üzerine kalitatif bir çalışma. Gastroia: Journal of Gastronomy And Travel Research, 5(2), 336-358.
[47] Ramírez, J. H. (2023). Consumer reasons for eating chapulines (Sphenarium purpurascens) in the Sierra Sur of Oaxaca. Journal of Insects as Food and Feed, 9(2), 213-224.
[48] Seyhan, S., Nakilcioğlu, E., & Ötleş, S. (2024). Geleceğin alternatif protein kaynakları: bitkiler. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 12(1), 153-174.
[49] Soart, J., van der Weele, C., & van der Goot, A. J. (2019). The challenge of sustainable protein production: Consumer acceptance of insects as food. Journal of Insects as Food and Feed, 5(4), 233-241.
[50] Sünbül, B. and Gökkaya, S. (2023). The effect of food safety perception on preferences for buying street flavors. The Journal of Academic Social Sciences, 145(145), 163-181.
[51] Şişman, B. (2023). Ankara Kırsalında Tarımsal Gıda Sistemi Olarak Agroekolojinin Sosyolojik Analizi. Sosyoloji Araştırmaları Dergisi, 26(2), 230-253.
[52] Tarsitano, E., Calvano, G., & Cavalcanti, E. (2019). The Mediterranean way a model to achieve the 2030 agenda sustainable development goals (SDGs). J. Sustain. Dev, 12(1), 108.
[53] Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108(50), 20260-20264.
[54] Turan, V. (2024). Climate Crisis and Green Economy. In: Yılmaz, V. (ed.), Current Urban Research. Özgür Publications.
[55] United Nations. (2019). World Population Prospects 2019. New York: United Nations.

[56] Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). Edible insects: Future prospects for food and feed security. FAO Forestry Paper 171.
[57] Willeke, M., Tsiami, A., & Lara, S. W. (2025). Tasting the Future: Sensory Evaluation and Perception of Insect-Based Products Among GenZ and Millennials. Gastronomy, 3(1), 2.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Tatların Kayboluşu: Küresel İklim Değişikliğinin Gastronomik Miras Üzerindeki Etkisi

Mehmet Oğuzhan İLBAN[1*]

[1]*Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Balıkesir Üniversitesi, Türkiye*

[*]*ilban@balikesir.edu.tr*

Özet **–**Küresel iklim değişikliği, gastronomik mirasımız üzerinde belirgin etkilere yol açmaktadır. Bu çalışma, iklim değişikliğinin yöresel tatlar ve geleneksel yemek tarifleri üzerindeki olumsuz etkilerini ele almayı amaçlamaktadır. İklim değişikliğine bağlı olarak sıcak hava dalgaları, kuraklık ve sağanak yağışlar, tarım alanlarında ciddi dönüşümlere neden olmaktadır. Bu durum, gıda üretiminde kullanılan geleneksel tarım yöntemlerini tehdit etmekte ve sonuç olarak yerel tatların kaybolmasına yol açmaktadır. Örneğin, Akdeniz ikliminde yetişen zeytin ve üzüm gibi ürünlerin iklim değişikliği nedeniyle kalitesinin düşebileceği bildirilmektedir. Ayrıca, tarımsal biyoçeşitliliğin azalması, bu zengin gastronomik mirasın korunmasını tehdit eder. Geleneksel yemek tarifleri, belirli iklim koşullarında yetişen özel bitkilere dayanmaktadır. Ancak iklim değişikliği sonucu bu bitkilerin kaybolması veya özelliklerinin değişmesi, tatların da kaybolmasına sebep olmaktadır. Örneğin, özellikle yöresel otlar ve baharatlar, iklim değişikliğinin etkisiyle bulundukları bölgelerde azalmakta ve yemeklerdeki tat profillerinin değişmesine neden olmaktadır. Sonuç olarak, iklim değişikliği sadece tarım değil, aynı zamanda kültürel ve gastronomik mirasımız üzerinde de yıkıcı etkilere sahiptir. Geleneksel gıda kaynaklarının kaybolması ve bu kaynakların yerini başka ürünlerin alması, yüzyıllar boyunca süregelen tatların tarihi ve kültürel önemini zayıflatmaktadır. Bu nedenle, gelecek nesillere bu zenginliğin aktarılması için gerekli önlemlerin alınması büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler – İklim Değişikliği, Gastronomi, Geleneksel Tatlar, Tarım, Biyoçeşitlilik.

I. GİRİŞ

Küresel iklim değişikliği, insan faaliyetlerinin bir sonucu olarak ortaya çıkan ve dünya genelindeki sıcaklıkları artıran uzun süreli bir fenomendir. Atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarındaki artış, iklim değişikliğini tetikleyen en önemli faktördür ve bu durum, ekosistemler üzerinde ciddi etkilere yol açmaktadır [1], [2]. Özellikle doğal olayların sıklaşması, tarım süreçlerinde belirsizlik yaratmakta ve gıda güvenliğini tehdit etmektedir [3]. İklim değişikliği, sadece çevresel faktörlerle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda ekonomik, sosyal ve kültürel yapıyı da etkileyerek, insan topluluklarının yaşam biçimlerini yeniden şekillendirmektedir [4].

Gastronomi, insan topluluklarının kültürel mirasını yansıtan ve nesilden nesile aktarılan önemli bir unsurdur. Gastronomik miras, bir toplumun kimliği, gelenekleri ve tarihi ile doğrudan ilişkilidir [5]. Bu miras, yapılan yemekler, malzemeler ve pişirme yöntemleri ile şekillenmekte ve yerel kültürlerin korunmasına katkı sağlamaktadır [6], [7]. Gastronomik değerlerin önemi, yerel halkın yaşam kalitesini artırmakla kalmayıp, turizm sektöründe de önemli bir yere sahiptir. Spesifik olarak gastronomik turizm, yerel mutfak kültürünü tanıtmakta ve ziyaretçilerin deneyimlerini zenginleştirmektedir [8], [9].

Bu açıdan, iklim değişikliği ve gastronomik miras arasındaki ilişki giderek önemli hale gelmektedir. İklim değişikliği, özellikle tarımsal üretim ile doğrudan bağlantılıdır ve yerel mutfakların temel bileşenlerini etkileyebilmektedir. Örneğin, iklim değişikliğinin tarımsal ürün kalitesini ve çeşitliliğini tehdit ettiği gösterilmiştir [3]. Ayrıca, yerel gastronomik deneyimlerin azalması, hem turizm hem de yerel ekonomi üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu sebeple, gastronomik mirasın korunması ve iklim

değişikliği ile mücadele stratejileri arasında bir bağ kurmak, önemli bir araştırma ve politika alanıdır [1], [10].

İklim değişikliği, küresel ve yerel ölçekte hava koşullarındaki uzun vadeli değişimleri içermektedir. Uzun vadeli sıcaklık artışları, yağış düzenleri ile birlikte iklim sistemini değiştirmekte ve bunun sonucunda çeşitli doğal felaketler, tarımsal verimlilik problemleri ve ekosistemlerin dengesizleşmesine neden olmaktadır [2]. İklim değişikliğinin etkileri, yalnızca doğal çevre değil, aynı zamanda günlük yaşam, sağlık, gıda güvenliği ve ekonomik sürdürülebilirlik üzerinde de derin izler bırakmaktadır [11].

Bu bağlamda, iklim değişikliğinin etkileri, yerel ve ulusal düzeyde stratejik planlamaları zorunlu kılmaktadır. Tarım ve gıda sistemleri, iklim değişikliğinin doğrudan en fazla etkilendiği alanların başında gelmektedir. Özellikle, sıcaklık değişiklikleri, su kaynaklarının azalması ve aşırı hava olayları, tarımsal üretimi tehdit etmekte ve bu da gıda sisteminde önemli bir belirsizlik yaratmaktadır [3], [4]. İklim değişikliği ile ilgili sorunların aşılması için sosyal, ekonomik ve çevresel açıdan entegre çözümler geliştirmek büyük önem taşımaktadır.

Gastronomik miras, bir toplumun kültürel kimliğini oluşturan yemekler, malzemeler, tarifler ve hazırlama yöntemlerinden oluşan zengin bir bileşendir. Bu miras, yalnızca yiyeceklerin hazırlanma şekli ile sınırlı değildir; aynı zamanda bu yiyeceklerin tüketim sürecindeki sosyal ve kültürel bağlamları da kapsamaktadır [12]. Gastronomik miras, yerel halkın tarihini yansıtarak, toplumsal hafızayı güçlendirmekte ve kültürlerarası etkileşimlere olanak tanımaktadır [13].

Gastronomik mirasın korunması, yerel ekonominin desteklenmesine, sürdürülebilir tarım uygulamalarının yaygınlaşmasına ve turizm potansiyelinin artırılmasına katkı sağlamaktadır [8]. Ayrıca, gastronomik miras, toplumsal ve çevresel açıdan sürdürülebilir kalkınmanın temel yapıtaşlarından biri olarak değerlendirilmektedir. Yerel ve ulusal düzeyde gastronomik etkinlikler, gastronomik mirası kutlayarak, toplumsal katılımı artırmakta ve toplumların dayanıklılığını pekiştirmektedir [2], [14]. Bu çalışma, küresel iklim değişikliğinin gastronomik miras üzerindeki etkilerini analiz etmek amacıyla tasarlanmıştır. İki ana bileşen arasında bağlantı kurarak, iklim değişikliğinin yerel gastronomik türlerin sürdürülebilirliğine olan etkilerini incelemeyi hedeflemektedir. Bunun yanı sıra, araştırma; gastronomik mirası koruma stratejileri ile iklim değişikliğine adaptasyon süreçlerini birleştiren öneriler sunmayı amaçlamaktadır [3]. Bu bağlamda, gastronomi, bir toplumun kimliğini ve kültürel mirasını zenginleştirirken, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı dayanıklılığı artırmak için nasıl daha etkili bir araç olabileceği sorusuna cevap arayacaktır [9].

Bu araştırmanın kapsamı, global ölçekte gastronomik mirasın korunması sürecinde yaşanan zorlukları ve karşılaşılan atmosferik tehditleri keşfetmeyi içerecek, ayrıca yerel ve uluslararası düzeyde çeşitli paydaşlarla işbirlikleri geliştirme potansiyelini de değerlendirecektir. Gastronomik turizmin gelişimi ile birlikte iklim değişikliği ilişkilerinin araştırılması, bu alanda yeni politikaların geliştirilmesi için ölçütler sağlama potansiyeline sahiptir [13].

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, küresel iklim değişikliğinin gastronomik miras üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla gerçekleştirlmiştir. Çalışmada, nitel araştırma yöntemleri kullanılarak iklim değişikliğinin tarımsal üretim, biyoçeşitlilik ve geleneksel yemek tarifleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırma, Akdeniz bölgesi başta olmak üzere, iklim değişikliğinden yoğun şekilde etkilenen çeşitli coğrafyalardaki gastronomik mirası değerlendirmiştir.

Çalışmada kullanılan materyaller, iklim değişikliği ve gastronomik miras arasındaki ilişkiyi anlamak için yararlanılan akademik makaleler, raporlar, araştırma tezleri ve kitap bölümleri gibi ikincil kaynaklardan oluşmaktadır. Gastronomik mirasın tarihsel bağlamını anlamak için ise yerel yemek tarifleri arşivleri ve etnografik çalışmalar incelenmiştir.

III. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE TARIM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Küresel iklim değişikliği, tarımsal üretkenliğe ve biyoçeşitliliğe çeşitli açılardan büyük etkiler yapmaktadır. Bu bölümde, sıcak hava dalgaları ve kuraklık, sağanak yağışlar ve tarımsal üretkenlik ile tarımsal biyoçeşitliliğin azalması konuları ele alınacaktır.

A. Sıcak Hava Dalgaları ve Kuraklık

Sıcak hava dalgaları, iklim değişikliğinin sonuçlarından biridir ve tarımsal üretkenliği ciddi şekilde tehdit etmektedir. Kuraklık, bitkilerin büyüme ve ürün verimliliği üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Araştırmalar, tarım alanlarında kuraklık stresinin özellikle bitki gelişimini olumsuz etkilediğini göstermektedir. Örneğin, Yaban & Kabay (2019) çalışmalarında, kurak koşulların bitkideki büyüme ve gelişim üzerinde önemli kısıtlamalara neden olduğunu vurgulamaktadır [15]. Ayrıca, Tutuş & Erdem (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, kuraklık stresinin dünya genelinde tarımsal üretim alanlarında %26 oranında bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir [16]. Çanakkale bölgesinde yapılan bir başka çalışmada ise, uzun dönem iklim verileri ile kuraklık analizi yapılmış ve bu koşulların tarımsal üretim üzerindeki olumsuz etkileri ortaya konmuştur [17].

Kuraklık, bitkilerin fotosentez ve su alımını etkileyerek, büyüme hızını azaltmakta ve bu durum da tarımsal verimlilik üzerinde olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Ayrıca, sıcak hava dalgaları ve buna bağlı kuraklık, tarımsal ürünlerin kalitesini de tehdit etmektedir. Yüce vd. (2022) tarafından belirtilen verilere göre, kuraklık koşullarında hemen her yıl tarımsal üretim kayıpları yaşanmaktadır. Kuraklık, sadece büyüme sürecini etkilemekle kalmayıp, aynı zamanda bitkisel ürünlerin piyasa değerlerini de düşürmektedir [18].

B. Sağanak Yağışlar ve Tarımsal Üretkenlik

Sağanak yağışlar, sıkça değişen iklim koşullarının başka bir sonucudur. Aşırı yağışlar, tarımsal verimlilik üzerinde olumlu veya olumsuz etkiler yaratabilir. Özellikle, sağanak yağışların nispeten yüksek miktarları, toprağın su tutma kapasitesini aşabilir ve bu da erozyon gibi sorunlara yol açabilir. Özfidaner & Topaloğlu (2020) tarafından yapılan kuraklık analizi, sağlık verilerinin yanı sıra yağışların geçici artışlarının tarımsal alanlara etkisinin de değerlendirildiği önemli bir çalışmadır [19].

Yağışlardaki ani değişimler, tarım ürünlerinde köklü değişimlere ve bunun sonucunda da tarımsal üretkenliğin düşmesine sebep olmaktadır. Meteorolojik kuraklık ve aşırı yağış arasında sıkı bir ilişki vardır, zira her iki durum da toprak nem dengesini bozmakta ve ekosistemin genel sağlığını tehdit etmektedir. Sağanak yağışların tarımsal üretkenlik üzerindeki etkisi, yağış düzenlerinde meydana gelen bozulmanın tarım üretiminde getirdiği belirsizlikle daha da artmaktadır [20]. Bu durum, özellikle hasat dönemlerinde ciddi riskler doğurmakta ve çiftçilerin mali kayıplarına yol açmaktadır.

C. Tarımsal Biyoçeşitliliğin Azalması

İklim değişikliği, dünya genelinde tarımsal biyoçeşitliliği tehdit eden önemli faktörlerden biridir. Biyoçeşitlilik kaybı, tarımsal verimliliği olumsuz etkilediği gibi gastronomik miras üzerindeki etkileri de oldukça derin olabilmektedir. Araştırmalar, biyoçeşitliliğin azalmasının hem ekosistem sağlığı hem de insanların gıda güvenliği için hayati önem taşıdığını ortaya koymaktadır. Özellikle, biyoçeşitlilik kaybı belirli bitki türlerinin yok olmasına veya azalmasına ve bunun sonucunda da gıda kaynaklarının daralmasına yol açmaktadır [21].

Biyoçeşitlilik kaybı, özellikle yerel türlerin azalmasıyla birlikte, geleneksel tarım uygulamalarının da yok olmasına neden olmaktadır. Bu durum, gastronomik mirasın kalitesini tehdit eden bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır, zira geleneksel lezzetlerin kaybolması, kültürel mirasın zenginliğini azaltmaktadır [22]. Bunun yanı sıra, tarımsal biyoçeşitliliğin azalması, tarım ürünlerinin çeşitliliğini ve dolayısıyla da toprak sağlığını olumsuz etkilemektedir. Tuğrul & Hınıs (2022), biyoçeşitlilik kaybının tarımsal sistemlerin dayanıklılığını azaltarak, iklim değişikliğine karşı savunmasız hale getirdiğini belirtmektedir. Biyoçeşitliliğin korunması, hem gastronomik mirasın sürdürülmesi hem de tarımsal üretkenliğin artırılması açısından önemli bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır [23].

İklim değişikliği, tarımsal üretkenliğe yönelik tehditlerin başında gelmekte olup, sıcak hava dalgaları, kuraklık, sağanak yağışlar ve biyoçeşitlilik kaybı gibi birçok unsuru içermektedir. Bunun sonucunda,

tarımsal ürünlerin kalitesi ve çeşitliliği düşmekte, bu da gastronomik mirasımıza zarar vermektedir. Bu bağlamda, iklim değişikliğinin etkilerinin izlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması, hem tarımsal üretkenliğin devamı hem de gastronomik mirasın korunması için büyük önem taşımaktadır [24].



Şekil 1. Küresel İklim Değişikliğinin Gastronomik Miras Üzerindeki Etki Zinciri

Kaynak: Mahato (2014: 2-4).

IV. GELENEKSEL TARIM YÖNTEMLERİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

A. Geleneksel Tarım Yöntemlerinin Tanımı

Geleneksel tarım yöntemleri, yüzyıllar süren birikimle geliştirilen ve genellikle yerel topluluklar tarafından yapılan tarımsal uygulamalardır. Bu yöntemler, doğal kaynakların sürdürülebilir şekilde kullanılmasını hedefleyen uygulamalar olarak tanımlanabilir. Genellikle modern teknolojilerden uzak, bilgi birikimi ve deneyime dayanan yöntemler olarak bilinmektedir. Türkiye'de erişim ve talep durumuna göre değişiklik gösteren birçok geleneksel tarım uygulaması vardır. Özellikle yerel bitkilerin yetiştirilmesi, doğal gübrelerin kullanılması ve su kaynaklarının verimli yönetimi gibi unsurlar geleneksel tarımın temel taşlarındandır [25], [26].

B. İklim Değişikliğine Bağlı Geleneksel Yöntemlerin Tehditleri

İklim değişikliği, geleneksel tarım yöntemlerine birçok ciddi tehdit oluşturmaktadır. Hava sıcaklıklarındaki yükseliş, su kaynaklarının azalması ve yağış düzenlerindeki değişim, tarımsal üretkenliği doğrudan etkilemektedir [25], [27]. Örneğin, Türkiye'de gözlemlenen kuraklık ve ani sel olaylarının artışı, birçok geleneksel tarım yönteminin etkili bir şekilde uygulanmasını zorlaştırmıştır. Bu durum, özellikle suya bağımlı tarım uygulamalarında ciddi sıkıntılara neden olmaktadır [28].

Bunların yanı sıra, geleneksel tarım uygulamalarında kullanılan bitkisel çeşitler de iklim değişikliğinin etkisi altında kalmaktadır. Özellikle, iklim değişikliği nedeniyle meydana gelen sıcaklık artışları, bazı geleneksel ürünlerin tohum verimliliğini ve dayanıklılığını olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca, tarım arazilerinin iklim değişikliği nedeniyle yaşadığı bozulmalar da bu yöntemleri tehdit eden unsurlar arasındadır. Örneğin, geleneksel yöntemlerle yetiştirilen ürünlerin çoğu, iklim değişikliği ile ortaya çıkan yeni zararlılar ve hastalıklara karşı dayanıklı değillerdir [29].

Türkiye'deki geleneksel çiftçilik uygulamaları, bu tehditlerle başa çıkabilmek için bazı uyum stratejileri geliştirmeye başlamaktadır. Ancak bu süreçte, çiftçilerin geleneksel bilgilerini modern teknolojilerle birleştirebilmesi gerekmektedir. Örneğin, topraksız tarım gibi modern yöntemlerin entegrasyonu, iklim değişikliğinin getirdiği olumsuz etkilerin azaltılmasında önemli bir rol oynayabilir [30]. Geleneksel bilgilerin yanı sıra bilimsel araştırmalar ve teknoloji destekli çözümler, çiftçilerin iklim değişikliğine uyum sağlamalarına yardımcı olmak üzere önem kazanmaktadır [31].

Sonuç olarak, iklim değişikliği, Türkiye'deki geleneksel tarım yöntemleri açısından ciddi tehditler içermektedir. Bu tehditlerin üstesinden gelmek için hem yerel bilgilerin korunması hem de bilimsel ve

teknolojik gelişmelerin entegrasyonu gerekmektedir. Tarımsal üretkenliğin artırılması ve iklim değişikliğine dayanıklı ürünlerin geliştirilmesi, gelecekte sürdürülebilir tarım uygulamaları adına kritik öneme sahiptir.

V. YEREL TATLARIN KAYBOLMA NEDENLERI

Küresel iklim değişikliğinin etkileri, gıda güvenliği ve gastronomik çeşitlilik üzerinde derin etkilere yol açmaktadır. Bu bölümde, yerel tatların kaybolmasına neden olan bazı temel unsurlar incelenecektir.

A. Özel Bitkilerin İklime Bağlı Değişimi

Bitkilerin iklim koşullarına bağlı olarak meydana gelen değişimleri, gastronomik zenginlikte önemli bir rol oynamaktadır. Küresel iklim değişikliğinin yarattığı abiyotik stres koşulları, bitkilerin büyüme ve verimliliklerini düşürmektedir. Özellikle su eksikliği ve aşırılığı ile düşük ve yüksek sıcaklık, bitkilerin adaptasyon yeteneğini zorlamaktadır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'ne (IPCC) göre küresel iklim değişikliği nedeniyle abiyotik stres faktörlerinin gelecekte artması beklenmektedir [32]. Özellikle Türkiye, yüksek sıcaklık ve kuraklık koşullarının etkisi altında kalacağı için, yerel bitkilerin çeşitliliği ve kalitesi bu iklim koşullarından olumsuz etkilenmektedir [33].

B. Yöresel Otlar ve Baharatların Azalması

Yöresel otlar ve baharatlar, yerel gastronomik kültürlerin önemli taşıyıcılarıdır. Ancak küresel iklim değişikliği, bu doğal kaynakların azalmasına yol açmaktadır. İklim değişikliğine bağlı olarak sıcaklık, yağmur ve diğer iklim parametrelerinde meydana gelen değişimler, yöresel bitkilerin mekân içindeki dağılımını etkilemektedir [34]. Bu durum, özellikle tıbbi ve aromatik bitkilerin azalmasına neden olmaktadır. Araştırmalar, iklim değişikliklerinin bitkilerin büyüme dönemleri ve verimliliklerini olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir [35]. Örneğin, Akdeniz bölgesindeki baharatların azalması, hem tüketim alanında hem de yerel lezzet dalında zayıflama yaratmaktadır [36], [37].

C. Tarımsal Ürünlerde Kalite Düşüşü

İklim değişikliği, özellikle tarımsal ürünlerde kalite düşüşüne neden olmaktadır. Akdeniz bölgesinde, zeytin ve üzüm gibi önemli tarım ürünleri üzerinde iklim değişikliğinin etkileri belirgin olarak gözlemlenmektedir. Araştırmalar, ısınmanın zeytin ağaçlarının verimliliğini düşürdüğünü ve bu durumun yerel gastronomik kaynaklar üzerinde olumsuz etkiler yarattığını ortaya koymaktadır [36]. Süreç içerisinde, iklim değişikliği nedeniyle verim kayıpları yaşanmakta ve gıda güvencesinin zayıflamasına neden olmaktadır [34]. Zeytin ve üzüm gibi ürünlerin hasat kalitesi, artan sıcaklıklarla birlikte düşmekte, bu da yerel tüketimi ve uluslararası pazardaki rekabeti olumsuz etkilemektedir [38].

Küresel iklim değişikliğinin yerel tatlar üzerindeki etkileri olumsuz boyutlarda kendini göstermektedir. Özel bitkilerin değişimi, yöresel otların kaybolması ve tarımsal ürünlerdeki kalite düşüşü, kültürel gastronomik mirasın tehdit altında olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, iklim değişikliğiyle mücadele stratejilerinin geliştirilmesi, hem mevcut kaynakların korunması hem de gelecekteki gastronomik çeşitliliğin sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır.

VI. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN GASTRONOMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Küresel iklim değişikliği, yiyeceklerin üretimi, dağıtımı ve tüketimi üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır. Bu etki, geleneksel yemek tariflerinin değişiminden, tat profilleri ve malzeme değişikliklerine kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Ayrıca, gastronomik kimliğin erozyonu da bu sürecin bir parçasıdır.

A. Geleneksel Yemek Tariflerinin Değişimi

Geleneksel yemek tarifleri, yerel iklimsel koşullara ve kültürel geleneklere bağlı olarak şekillenmiştir. Ancak, iklim değişikliği ile birlikte bu geleneksel tariflerin içeriği ve hazırlanma yöntemleri ciddi şekilde değişmektedir. Örneğin, bazı sebze ve tahıl türlerinin azalması, bu ürünlerin yerini alacak alternatiflerinin aranmasına neden olmaktadır. Bu durum, yemek kültürünün dinamik doğasından dolayı, zamanla farklı ve yenilikçi tariflerin ortaya çıkmasına yol açmanın yanı sıra, geleneksel tariflerin kaybolmasına da sebebiyet

vermektedir [39]. Kültürel miras ve gastronomik uygulama arasındaki bu çatışma, hem yemeklerin hazırlanma biçimini hem de toplulukların bu yemekleri nasıl algıladığını etkilemektedir [40].

B. Tat Profilleri ve Malzeme Değişiklikleri

İklim değişikliğinin tat profillerine olan etkisi, özellikle gıda bileşenlerinin kimyasal yapısındaki değişiklikler ile yakından ilişkilidir. Örneğin, geleneksel fermente gıda ürünlerinin tat ve doku profilleri, kullanılan mikroorganizmalar ve hammadde bileşenleri ile belirlenmektedir. Ancak, iklim değişikliği bu süreçleri doğrudan etkileyerek, tat yoğunluğunu ve içeriğini değiştirebilir [41]. Fermentasyon koşulları ve kullanılacak starter kültürler, ürünün genel tat profilini etkileyerek, tüketici algısını değiştirebilir [42]. Geleneksel tatların kaybolması, yalnızca hammaddelerin değişimi ile değil, aynı zamanda kültürel ve tüketim alışkanlıklarındaki değişimlerle de bağlantılıdır. Bu değişimlerin bir örneği, özellikle genç tüketiciler arasında geleneksel lezzetlerin azalırken, daha modern ve farklı tatların tercih edilmesi olarak gözlemlenmiştir [43]. Bu değişim, gıda sektöründe yer alan üreticilerin, geleneksel tatların korunmasına yönelik çabalarının azalmasına yol açabilir [44].

C. Gastronomik Kimliğin Erozyonu

Gastronomik kimlik, bir toplumun kültürel ve sosyal yapısını yansıtan bir olgudur. Ancak, iklim değişikliği ve onun doğrudan etkileri, bu kimliğin erozyonuna neden olmaktadır. Örneğin, yerel gıda kaynaklarının azalması, bireylerin bağlı oldukları geleneksel tatların kaybolmasına yol açmakta; bu da toplumun kültürel mirasını zayıflatmaktadır [40]. Bu bağlamda, gastronomik kimlikteki değişim, genç nesil ile yaşlı nesil arasında belirgin bir ayrım yaratmakta; gençler daha fazla küresel ve modern tatları benimserken, yaşlı nesil daha çok geleneksellikten beslenmektedir [39]. Ayrıca, değişen iklim koşulları, gıda üretimi üzerindeki genel etkileri ile beraber, yeni gastronomik yaklaşımların doğmasına neden olabilir. Bununla birlikte, bu süreç, aynı zamanda gastronomik çeşitliliğin kaybolmasını tetikleyebilir ve yerel yiyecek kültürlerini tehdit edebilir [40]. Gastronomik kimliğin erozyonu, yalnızca bireylerin diyetini değil, ayrıca toplumların sosyal yapısını da etkileyerek daha geniş bir sosyo-ekonomik soruna dönüşmektedir.

Küresel iklim değişikliği, gastronomi alanında kapsamlı değişimlere yol açmakta ve bu değişimlerle birlikte gelen birçok tehdit ve fırsat gündeme gelmektedir. Geleneksel yemek tariflerinin değişimi, tat profilleri ve malzeme varyasyonları gibi unsurlar, toplumların gastronomik kimliğini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, geleneksel tat ve yemeklerin korunması, ekolojik denge ve kültürel miras açısından hayati önem taşımaktadır.

VII. GELECEK NESİLLERE AKTARIM VE KORUMA STRATEJİLERİ

Küresel iklim değişikliği, tarım ve gıda üretim sistemleri üzerinde başta biyolojik çeşitlilik olmak üzere yüzeysel ve derin etkiler yaratarak, gastronomik mirası ciddi tehditler altına almaktadır. Bu bağlamda, gelecek nesillere aktarım ve koruma stratejileri, iklim değişikliğine uyum sağlama yöntemleri, geleneksel gıda ürünlerinin korunması ve farkındalık ile eğitim başlıkları altında sistematik bir şekilde ele alınmalıdır.

A. İklim Değişikliğine Uyum Sağlama Yöntemleri

İklim değişikliği ile baş etmenin temel yollarından biri, iklim değişikliğine yönelik uyum stratejilerinin geliştirilmesidir. Bu stratejiler, ekosistemlerin ve bu ekosistemlerde yaşayan canlıların direncini artırmaya yönelik yapılan çalışmaları kapsamaktadır. Örneğin, şehirlerin iklim eylem planlarına döngüsel bir yaklaşım benimsemek, bu şehirlerin kamu sağlığı ve tarım gibi alanlardaki direncini artırabilir. Bir çalışmada, biyoçeşitlilik kaybına ve ekosistem hizmetlerinin çökmesine karşı, özellikle sulak alanların korunmasının önemine vurgu yapılmaktadır. Ekosistem hizmetlerinin korunması, insan sağlığı ve güvenliği için kritik öneme sahiptir [45].

Geleneksel bilgi ve uygulamaların yerel düzeyde adapte edilmesi, yerel toplulukların iklim değişikliği karşısındaki dayanıklılığını artırmak için gereklidir. Bu bağlamda, iklim bilincinin yaratılması ve yerel halkın aktif olarak iklim politikalarına dâhil edilmesi sağlanmalıdır [46].

B. Geleneksel Gıda Ürünlerinin Korunması

Geleneksel gıda ürünleri, kültürel kimliğin ve gastronomik mirasın önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Bu ürünlerin korunması, sürdürülebilir tarım uygulamalarıyla doğrudan ilişkilidir. Sargıncı ve Beyazyüz'ün araştırmasında, iklim değişikliğinin orman ekosistemleri üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması için "İklim Akılcı Ormancılık" stratejileri önerilmektedir. Bu tür stratejiler, tarımda kullanılan ağaç ve bitki türlerinin iklim değişikliğine dayanıklı olmasını sağlamayı amaçlar [47]. Tarımsal çeşitliliğin korunması, bu geleneksel gıda ürünlerinin sürdürülebilirliğini sağlamak adına kritik öneme sahiptir.

Sürdürülebilir tarım uygulamaları arasında, iklim dostu tarım tekniklerinin benimsenmesi ve su kaynaklarının verimli kullanılmasına yönelik stratejiler önceliklidir. İklim değişikliğine dayanıklı tarım uygulamaları geliştirilerek, toprak verimliliği artırılabilir ve erozyon riski düşürülebilir [48]. Bu tür uygulamaların bölgesel adaptasyon çalışmaları ile birleştirilmesi, gıda üretiminin sürdürülebilirliğini sağlayabilir.

C. Farkındalık ve Eğitim

Farkındalık yaratma ve eğitimin artırılması, iklim değişikliği ile ilgili mücadelede kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, iklim değişikliği eğitimi, okullardan başlayarak tüm yaş gruplarına uyarlanmalı ve özel güncel programlarla entegre edilmelidir [49].

İklim değişikliği ile ilgili farkındalık programları, genç nesillerin iklim değişikliği hakkında bilgi sahibi olmalarını ve çevresel sorunlara duygusal bir bağlılık geliştirmelerini sağlamak adına önemli olabilir. Toplumdaki bilinç düzeyinin artırılması ile yerel çözüm yollarının geliştirilebileceğini vurgulanmakla birlikte, iklim değişikliği gibi yaratıcı eğitim yöntemlerinin benimsenmesi de toplumsal duyarlılığı artırabilir. Sonuç olarak, gelecek nesillere aktarım ve korunma stratejileri, iklim değişikliğine uyum sağlama yöntemleri, geleneksel gıda ürünlerinin korunması ve farkındalık ile eğitim konularını kapsayan bir bütünlük içinde ele alınmalıdır. Bu stratejilerin uygulanması, hem toplumsal bilinçlenmeyi artıracak hem de gastronomik mirasın korunmasına katkıda bulunacaktır. Bu bağlamda, toplumun tüm kesimlerine ulaşılması ve aktif bir katılım sağlanması oldukça önemlidir [50].

VIII. SONUÇLAR

Küresel iklim değişikliği, dünya genelindeki ekosistemlerin yanı sıra, kültürel miras ve gastronomi üzerinde de ciddi etkiler yaratmaktadır. İklim değişikliği, kıyı erozyonu, aşırı hava koşulları ve doğal felaketler gibi olumsuz olayları artırarak yerel tarım uygulamalarını tehdit etmekte ve bu durum, yerel gastronomik mirasın büyük bir kısmını oluşturan yerel ürünlerin üretiminde aksamalara neden olmaktadır. Örneğin, Akdeniz mutfağında önemli bir yer tutan baklagillerin tüketimi son yıllarda azalmış ve bu durum, sağlık açısından ciddiyetini kaybetmemiştir. Ayrıca, iklim değişikliğinin etkileri, tarımda kullanılan su kaynaklarının azalmasına ve bitki çeşitliliğinin kaybına yol açarak, yerel gastronomik kültürleri de tehdit etmektedir.

İklim değişikliği, gastronomi ile sosyal adalet arasında bir köprü görevi görebilir; çünkü yoksulluk, açlık ve işsizlik gibi sosyal sorunlarla mücadele eden sosyal gastronomi girişimleri, iklim değişikliğine karşı dayanıklılığın artırılmasına yardımcı olabilir. Gastronomi, geleneksel bilgi ve pratiklerin korunması açısından önemli bir rol oynamaktadır ve bu tür bilgiler, iklim değişikliği ile başa çıkmak için önemli bir kaynak sağlamaktadır. Bununla birlikte, iklim değişikliğinin etkileri yalnızca fiziksel yiyecek kaynaklarına değil, aynı zamanda insanların bu yiyeceklerle olan kültürel ve sosyolojik bağlantılarına da zarar vermektedir.

Kültürel mirasın korunması adına, gastronomik uygulamaların ve geleneklerin sürdürülebilirliği için yerel toplulukların desteklenmesi önemlidir. Geleneksel ürünlerin korunması ve bu ürünlere yönelik gastronomik uygulamaların geliştirilmesi, hem çevresel sürdürülebilirliği artıracak hem de yerel kimliğin devamını sağlayacaktır. Özellikle de iklim değişikliğine uyum sağlamaya yönelik yenilikçi çözümlerin geliştirilmesi, yerel gastronomi açısından büyük bir önem taşımaktadır.

Gelecekte gastronomi ve iklim değişikliği arasında yaşanan zorlukları aşmak için, multidisipliner bir yaklaşım benimsemek gerekmektedir. Gastronomi alanında çalışan araştırmacıların, tarım bilimcilerle, çevre bilimcilerle ve sosyologlarla iş birliği yaparak iklim değişikliğiyle ilgili yaratıcı çözümler geliştirmeleri önemlidir. Ayrıca, yerel ve organik gıda üretiminin teşvik edilmesi, hem sağlık yararı hem

de çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir adım olacaktır. Bunun yanı sıra, geleneksel gıda yöntemleri ve ürünlerinin yeniden canlandırılması, yerel gastronominin korunmasına yardımcı olabilir ve bu sayede toplumsal kimliği güçlendirebilir. Buna ek olarak, eğitim programlarının ve kamu bilgilendirme kampanyalarının artırılması, toplulukların iklim değişikliği ile ilgili farkındalığını artırmak ve adaptasyon stratejileri geliştirmek açısından gereklidir. Gastronomi festivalleri gibi etkinlikler, yerel mutfakları tanıtmak ve yerel ekonomi ile toplumsal dayanışmayı desteklemek için bir fırsat sunar; bu tür etkinliklerin sürdürülebilirlik ilkesine göre düzenlenmesi önemlidir.

Sonuç olarak, iklim değişikliği ile mücadelenin en etkili yollarından biri, toplumların kendi gastronomik miraslarını ve kültürel kimliklerini koruyacak stratejiler geliştirmeleridir. Bu bağlamda, gastronomi, sadece bir beslenme biçimi değil, aynı zamanda kültürel sürdürülebilirlik için bir araç olarak ele alınmalıdır.

KAYNAKLAR

[1] Aktürk, G., & Lerski, M. (2021). Intangible cultural heritage: a benefit to climate-displaced and host communities. *Journal of Environmental Studies and Sciences, 11*(3), 305-315.

[2] Sesana, E., Gagnon, A. S., Ciantelli, C., Cassar, J., & Hughes, J. J. (2021). Climate change impacts on cultural heritage: A literature review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 12*(4), e710.

[3] Dembedza, V. P., Chopera, P., Mapara, J., & Macheka, L. (2022). Impact of climate change-induced natural disasters on intangible cultural heritage related to food: a review. *Journal of Ethnic Foods*, *9*(1), 32.

[4] Margottini, C. (2021). Introduction to heritage and climate change: current gaps and scientific challenges. A Research Agenda for Heritage Planning: Perspectives from Europe, 115.

[5] Vukojević, D., Berjan, S., El Bilali, H., & Čarkadžić, J. (2021). State and perspectives of gastronomic tourism in Bosnia and Herzegovina: Case of Herzegovina region. *Turizam*, *25*(4), 201-211.

[6] Sutiadiningsih, A., Purwidiani, N., Dewi, I. H. P., Hamdani, A. T., & Tho Le, H. (2023). Gastronomic experience as a motivation for tourists to choose tourist destinations in Indonesia and Vietnam. *GeoJournal of Tourism and Geosites, 47*(2), 424-431.

[7] Parasecoli, F., & Rodriguez-Garcia, G. (2023). Politics beyond the Plate: Embracing Transdisciplinarity in Addressing the Gastronomic Heritage of Spain. *Gastronomy, 1*(1), 18-31.

[8] Forgas-Serra, S., Majó Fernandez, J., & Mundet Cerdan, L. (2021). The value of popular cuisine in tourism: a Costa Brava case study. *Journal of Tourism and Cultural Change*, *19*(2), 216-229.

[9] Samuels, K. L., & Platts, E. J. (2022). Global climate change and UNESCO World Heritage. *International Journal of Cultural Property*, *29*(4), 409-432.

[10] Oropeza-Tosca, D. R., Rincón-Molina, C. I., Baptista, A., & Notario-Priego, R. (2024). Perspective Chapter: Development of Business in Rural Southeastern Mexican Communities and Environmental Awareness.

[11] Alexandrakis, G., Manasakis, C., & Kampanis, N. A. (2019). Economic and societal impacts on cultural heritage sites, resulting from natural effects and climate change. *Heritage*, *2*(1), 279-305.

[12] Elss, V. I., Buono, G., & Treu, J. (2020). Interpretation of gastronomic traditions within tourism. *Journal of Tourism and Hospitality Management*, *8*(2), 60-67.

[13] Peng, N., Chen, A., & Hung, K. P. (2021). Dining at luxury restaurants when traveling abroad: incorporating destination attitude into a luxury consumption value model. In *Travel and Lifestyle* (pp. 30-44). Routledge.

[14] Pennazio, R., Ruga, A., & Ferrero, E. (2024). Climate change may threaten the production of Bettelmatt cheese: environmental and regulatory challenges. *Gastronomy*, *2*(2), 73-88.

[15] Yaban, İ., & Kabay, T. (2019). Kuraklık stresinin Urfa biberinde iyon klorofil ve enzim içerikleri üzerine etkisi. *Toprak Su Dergisi*, *8*(1), 11-17.

[16] Tutuş, Y., & Erdem, H. (2023). Kuraklık stresinin Triticum spelta genotiplerinin verim ve verim bileşenleri üzerine olan etkileri. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, *27*(1), 83-93.

[17] Mucan, U., & Yıldırım, M. (2023). Çanakkale İlinin Uzun Yıllar İklim Verilerine Bağlı Kuraklık Analizi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 11*(2), 339-350.

[18] Yüce, M. İ., Aksoy, H., Aytek, A., Eşit, M., Uğur, F., Yaşa, İ., ... & Deger, İ. H. (2022). SPI ve SPEI ile Samsun ili kuraklık analizi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *25*(3), 285-295.

[19] Özfidaner, M., & Topaloğlu, F. (2020). Standart yağış indeksi yöntemi ile güneydoğu anadolu bölgesinde kuraklık analizi. *Toprak Su Dergisi, 9*(2), 130-136.

[20] Aktürk, G., & Yıldız, O. (2018). Çatalan Baraj Havzasında Yağış Eksikliğinin Çeşitli Hidrolojik Sistemler Üzerine Etkileri. *International Journal of Engineering Research and Development*, *10*(2), 10-28.

[21] Çetin, B., & Kumanlıoğlu, A. (2023). Gediz Nehri Medar Havzası Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklık Analizleri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 25*(73), 167-180.

[22] Arslan, M., Kalaylıoğlu, Z., & Ekren, E. (2018). Use of Medicinal and Aromatic Plants in Therapeutic Gardens. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, *52*(4).

[23] Tuğrul, T., & Hınıs, M. A. (2022). Apa Barajında Kuraklık Analizi. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi*, *4*(2), 161-178.
[24] Ollat, N., Touzard, J. M., & van Leeuwen, C. (2016). Climate change impacts and adaptations: new challenges for the wine industry. *Journal of Wine Economics*, *11*(1), 139-149.
[25] Sezgin, A. C., Eroğlu, F. E., & Şanlıer, N. (2023). Sürdürülebilir beslenme modellerinin karşılaştırılması. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, *11*(3), 603-616.
[26] Demirel, M., & Aktaş, H. (2023). Dikey Tarım (Kule) Sisteminde ve Toprak Koşullarında Yetiştirilen Kıvırcık Salata (Lactuca sativa var. cripsa) Türünün Verim ve Kalite Bakımından Karşılaştırılması. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, *18*(2), 123-133.
[27] Demirkaya, M., & Kök, M. K. (2023). İyi Tarım Uygulamaları Yapan Elma Üreticilerinin Kimi Davranış Özelliklerinin Belirlenmesi: Kayseri-Yeşilhisar Örneği. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, *6*(2), 43-51.
[28] Akay, H., Ay, E. Ö., Arslan, H., Sezer, İ., & Kiremit, M. S. (2024). Farklı Sulama Uygulamaları ile Farklı Ekim Yöntemlerinin Çeltikte Verim, Büyüme Parametrelerine Etkisi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, *12(*s3), 2734-2741.
[29] Goicoechea, N., Jiménez, L., Prieto, E., Gogorcena, Y., Pascual, I., Irigoyen, J. J., & Antolín, M. C. (2021). Assessment of nutritional and quality properties of leaves and musts in three local spanish grapevine varieties undergoing controlled climate change scenarios. *Plants*, *10*(6), 1198.
[30] Özgür, M., Engindeniz, S., & Öztürk, G. (2024). Sera Sebze Üreticilerinin Topraksız Teknikleri Kullanma Eğilimini Etkileyen Faktörlerin Analizi: İzmir'in Menderes İlçesi Örneği. *ANADOLU Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, *34*(2), 109-119.
[31] Mutlubaş, I., & Milli, M. (2025). Sürdürülebilir Gıda Üretiminde Dikey Tarımın Rolü. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *26*(1), 63-80.
[32] Chaudhry, S., & Sidhu, G. P. S. (2022). Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: a comprehensive review. *Plant Cell Reports*, *41*(1), 1-31.
[33] Turan, E. S. (2018). Türkiye'nin iklim değişikliğine bağlı kuraklık durumu. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, *4*(1), 63-69.
[34] Yılmaz, E. (2019). Türkiye'de aylık ve yıllık su noksanları ve su fazlalarındaki eğilimler. *Türk Coğrafya Dergisi*, (72), 65-83.
[35] Calda, B., An, N., Turp, M. T., & Kurnaz, L. (2020). İklim değişikliğinin Akdeniz havzasındaki orman yangınlarına etkisi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, *32*(1), 15-32.
[36] Soltekin, O., Altındişli, A., & İşçi, B. (2021). İklim değişikliğinin Türkiye'de bağcılık üzerine etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *58*(3), 457-467.
[37] Gülcan, D. T. (2024). Toplumsal İklim Krizi Algısının İklim Politikaları Üzerindeki Etkisi. *Uluslararası Ekonomi Siyaset İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*, *7*(4), 344-363.
[38] Başaran, F., & Akçin, Z. T. A. (2022). Sıcaklık Faktörünün Bitkiler Üzerindeki Etkileri ve Yüksek Sıcaklık Stresi. *Bahçe*, *51*(2), 139-147.
[39] Buisman, M. E., & Jonkman, J. (2019). Dietary trends from 1950 to 2010: a Dutch cookbook analysis. *Journal of Nutritional Science*, *8*, e5.
[40] Belton, B., Johnson, D. S., Thrift, E., Olsen, J., Hossain, M. A. R., & Thilsted, S. H. (2022). Dried fish at the intersection of food science, economy, and culture: A global survey. *Fish and Fisheries*, *23*(4), 941-962.
[41] Zhao, X., Song, L., Han, D., Han, P., & Bai, F. (2024). Microbiological and physicochemical dynamics in traditional and industrial fermentation processes of koumiss. *Fermentation*, *10*(1), 66.
[42] Lee, J., Jeong, D., & Kim, M. (2019). Influence of bacterial starter cultures on the sensory characteristics of doenjang, a fermented soybean paste, and their impact on consumer hedonic perception. *Journal of Sensory Studies*, *34*(4), 1-8.
[43] Kim, M. K., Kwak, H. S., Kim, M. J., & Kim, S. S. (2018). Identification of sensory characteristics that drive consumer preferences of commercially mass-produced doenjang in Korea. *Journal of Sensory Studies*, *33*(2), e12323.
[44] Ye, X., Yu, Y., Liu, J., Zhu, Y., Yu, Z., Liu, P., ... & Wang, K. (2023). Inoculation strategies affect the physicochemical properties and flavor of Zhenjiang aromatic vinegar. *Frontiers in Microbiology*, *14*, 1126238.
[45] Aydın, E., & Kemeç, S. (2023). Antropojenik etkiler ve iklim değişikliği baskısı altında sulak alanlar: Van Kalesi ve çevresi doğal sit alanı örneği. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *28*(3), 1139-1154.
[46] İlkbahar, H. (2023). Su Güvenliği Bağlamında Nil Havzası Girişimi'nin (NHG) İklim Değişikliğine Yönelik Uyum ve Azaltım Stratejileri. *Alternatif Politika*, *15*(3), 550-580.
[47] Sargıncı, M., & Beyazyüz, F. (2022). İklim değişikliğinin ormanlar üzerindeki etkisi: İklim akılcı ormancılık bakış açısı. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, *8*(2), 142-149.
[48] Kurnaz, M. L. (2023). İklim değişikliği ve uyum süreçlerinde Türkiye. *Resilience*, *7*(1), 199-208.
[49] Barak, B., & Gönençgil, B. (2020). Dünyada ve Türkiye'de ortaokul öğretim programlarının iklim değişikliği eğitimi yaklaşımına göre karşılaştırılması. *Coğrafya Dergisi*, (40), 187-201.
[50] Sabbag, C. (2022). The Present and Future of Gastronomy Against Global Threats. *Gastronomy, Hospitality, and the Future of the Restaurant Industry: Post-COVID-19 Perspectives*, 139-164.
[51] Mahato, A. (2014). Climate change and its impact on agriculture. *International Journal of Scientific and Research Publications*, *4*(4), 1-6.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Integral Terminal Sliding Mode Control for 2-DOF Robot Manipulators Enhanced by Evolutionary algorithm Under External Disturbances

Mohammed Yousri Silaa[*,1,3], Ilyes Rougab[2], Aissa Bencherif[1], Oscar Barambones[3] and Noureddine Benaya[4]

[1]*Telecommunications Signals and Systems Laboratory (TSS) University Amar Telidji, Laghouat, 03000 Algeria, (ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8228-5174, https://orcid.org/0000-0003-2785-9352)*
[2]*Laboratory for Analysis and Control of Energy Systems and Electrical Networks, Department of Electronic, University of Amar Telidji, Laghouat 03000, Algeria (ORCID: https://orcid.org/0009-0006-6174-3299)*
[3]*Engineering School of Vitoria, University of the Basque Country UPV/EHU, Vitoria, 1006 Spain (ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4430-8088)*
[4]*Center for Scientific and Technical Research in Physicochemical Analysis (PTAPC, Laghouat-CRAPC), 03000 Laghouat, Algeria*

[*]*(moh.silaa@lagh-univ.dz) Email of the corresponding author*

Abstract – This paper presents a control strategy based on the integral terminal sliding mode control (IT-SMC) for managing the motion of a 2-DOF robotic manipulator. While the conventional proportional-derivative sliding mode control (PD-SMC) is commonly adopted in control systems, it often struggles to maintain robustness under significant external disturbances. In contrast, the IT-SMC technique offers enhanced resilience to system uncertainties and external perturbations. A comparative analysis is conducted between the proposed IT-SMC method and the traditional PD-SMC controller. For further analysis, an evolutionary (EV) algorithm is employed to optimize the gain parameters of the proposed controllers. Simulation results confirm that the IT-SMC approach achieves improved tracking accuracy, with root mean squared error (RMSE) values reaching 0.36069 and 0.43948 for the position trajectories. These findings underscore the effectiveness of IT-SMC in delivering precise and robust control in comparison to 0.40713 and 0.44114 for the PD-SMC. Overall, the study highlights the IT-SMC controller's capability in ensuring fast, accurate trajectory tracking, robust performance in noisy environments, and computational efficiency offering valuable contributions toward advanced control strategies for 2-DOF manipulators in real-world scenarios.

Keywords – IT-SMC controller, PD-SMC controller, Robot manipulator, root mean squared error.

I. INTRODUCTION

Robot manipulators hold significant importance in industrial environments, where improving their operational performance relies on the development of advanced control strategies [1]. A wide range of control methods has been proposed and applied in the literature, aiming to deliver accurate, reliable, and efficient control of these systems [2–5]. Such approaches are essential for expanding the functionality and precision of robotic manipulators. For example, Silaa et al. [6] proposed an adaptive sliding mode control with stochastic gradient descent (ASMCSGD) for robot arm manipulators. Optimized using the grey wolf optimizer (GWO), the ASMCSGD showed superior robustness, reduced chattering, and precise, fast trajectory tracking compared to STA and SMC controllers. Simulation results confirmed its effectiveness, achieving lower RMSE values of 0.12758 for $\theta 1$ and 0.13387 for $\theta 2$, outperforming both STA and SMC approaches. Jin et al. [7] proposed a practical nonsingular terminal sliding mode control approach, integrating time-delay estimation to achieve rapid system convergence without requiring detailed knowledge of the manipulator's dynamics. Similarly, Bi [8] developed a symmetrical fuzzy PID control

technique for managing a two-degree-of-freedom (2-DOF) manipulator. This method dynamically adjusts the proportional, integral, and derivative gains based on the rate of change of error. The system's mathematical model defines the relationship between the applied driving force and the resulting rotational angles. Additionally, gradient-based trajectory planning algorithms were utilized to compute the manipulator's end-effector paths. Experimental validations demonstrated the effectiveness of the proposed approach, underlining its practical value for industrial applications. Jouila et al. [9] proposed a robust adaptive control for a two-link manipulator using a non-singular fast terminal sliding mode controller with a wavelet neural network, which approximates uncertainties and adapts parameters online, achieving high accuracy and reduced chattering. Efe [10] enhanced fuzzy sliding mode control robustness through an adaptive neuro-fuzzy inference system with fractional order tuning, improving tracking and disturbance rejection. Ouyang et al. [11] proposed a PD-sliding mode hybrid for multi-DOF linear robots, uniting PD simplicity with sliding mode robustness. Rahmani et al. [12] introduced a novel sliding mode control (NSMC) strategy for a 2-DOF robot manipulator, combining PD and SMC to overcome their individual limitations. An extended grey wolf optimizer (EGWO), incorporating emphasis coefficients, was proposed to optimize the controller's parameters. The optimized NSMC-EGWO was compared with SMC and PD-SMC, demonstrating superior robustness and tracking performance through simulations. Stability was ensured via Lyapunov theory. Kumar et al. [13] optimized type-2 fuzzy PD plus integral controllers via genetic algorithms, enhancing tracking and robustness. Lochan et al. [14] reviewed the literature on controlling 2-DOF robot manipulators using fuzzy logic control (FLC), considering schemes like PID, SMC, and adaptive control. The paper discusses the advantages and disadvantages of each approach, emphasizing that FLC significantly improves system robustness over classical controllers. Mahil et al. [15] presented the mathematical model of a 2-DOF robotic arm using the Denavit-Hartenberg convention and Lagrangian equations of motion. They linearized the model around nominal equilibrium points and analyzed it for stability, controllability, and observability. Based on the analysis, they designed a full state feedback controller, LQR, and a full order observer. Kumar et al. [16] proposed a coupling-based mixed interval type-2 fuzzy logic controller (MIT2FLC) for trajectory tracking of nonlinear robot manipulators. The MIT2FLC addresses uncertainties and provides robust performance, especially in the presence of coupling, noise, and disturbances. The controller's parameters were optimized using Grey GWO. The performance of MIT2FLC was compared with type-1 fuzzy logic controllers (MT1FLC, T1FLC) and PID controllers, with robustness analysis showing its effectiveness in handling disturbances and parameter variations. This paper presents a control strategy based on integral terminal sliding mode control (IT-SMC) to enhance the trajectory tracking accuracy of a 2-DOF robotic manipulator. The evolutionary algorithm (EV) is applied to optimally adjust the parameters of the proposed IT-SMC controller. To evaluate its effectiveness, the performance of this approach is compared with that of a proportional-derivative sliding mode control (PD-SMC) method. The structure of the paper is as follows: Section 2 introduces the dynamic modeling of the 2-DOF robotic manipulator. Section 3 explains the control design principles and implementation details of both IT-SMC and PD-SMC controllers. Section 4 outlines the optimization process using EV. Simulation results and a comparative analysis are presented in Section 5, followed by conclusions and key contributions in the final section. All materials, methods, and external sources used in this study are clearly described and appropriately cited in the references.

II. 2-DOF DYNAMIC MODELING

The dynamic modeling of a 2-DOF robotic manipulator is an essential step in robotics, involving the development of mathematical equations that characterize the motion and dynamic behavior of a two-link robotic system, as illustrated in Fig. 1. The dynamics of the 2-DOF robotic arm can be represented by the following equation [6]:

$$B(q)\ddot{q} + C(q,\dot{q})\dot{q} + G(q) = \tau \qquad (1)$$

Where, q, $\dot{q}$, $\ddot{q} \in R^2$ are the vector of joint angles, the vector of joint velocities and the vector of joint accelerations respectively. B(q) $\in R^{2\times2}$ is the inertia matrix, $C(q, \dot{q}) \in R^2$ is represents the Coriolis and centrifugal matrix, $G(q) \in R^2$ is the gravitational vector and $\tau=u \in R^2$ is the vector of joint torques. *B(q), C (q, $\dot{q}$)* and *G(q)* are given in Appendix A in ref [20]. Therefore, the previous equation can be written as follows [6]:

$$\ddot{q} = -B^{-1}C(q,\dot{q})\dot{q} - B^{-1}G(q) + B^{-1}(q)\tau \quad (2)$$

The motion of a 2-DOF robotic manipulator is described by the following dynamic equation:

$$\ddot{q} = -M\dot{q} - NG(q) + Ou(t) \quad (3)$$

Where, $M = B^{-1}$ *C (q, $\dot{q}$)* $N = B^{-1}$ *(q), O =* B^{-1} *(q)* and *u(t) =* τ represents the control vector. Parameter uncertainties were introduced to account for variations in the system parameters hence, the previous equation can be defined as follows:

$$\ddot{q} = -(M + \delta M)\dot{q} - (N + \delta N)G(q) + (O + \delta O)u(t) \quad (4)$$

Where *δM, δN and δO* represent uncertainties in parameter variations. The equation (5) can be written as follows [12, 17]:

$$\ddot{q} = -M\dot{q} - NG(q) + Ou(t) + d(t) \quad (5)$$

Where, $d(t) = -\delta M\dot{q} - \delta N\, G(q) + \delta O u(t)$

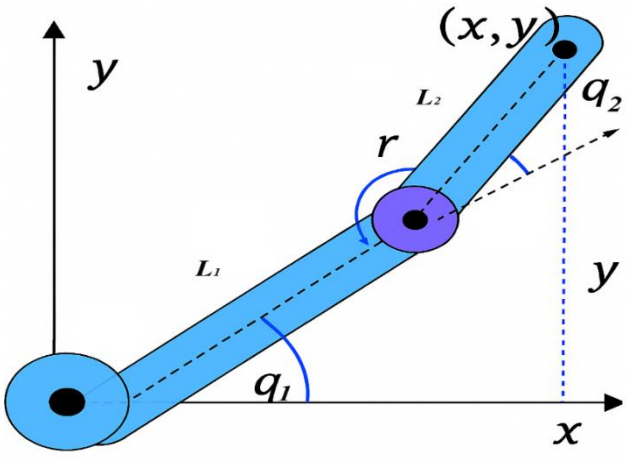


Fig. 1 Structure of a 2-DOF robot manipulator.

III. PD-SMC CONTROLLER

A sliding mode controller (SMC) with a PD surface combines the robustness of sliding mode control with the simplicity and effectiveness of a proportional-derivative (PD) structure in the sliding surface design. In this approach, the sliding surface is typically defined as a linear combination of the tracking error and its derivative, enhancing system stability and improving transient response. The control law drives the system states toward this surface and maintains them on it, ensuring accurate trajectory tracking and strong resistance to disturbances and uncertainties [18]. The control design begins by defining the position tracking error vector as:

$$e = q - q_d \quad (6)$$

Where, q represents the actual joint position vector and q_d is the desired position vector. A PD-type sliding surface is then constructed to combine both position and velocity errors, providing a balanced transient and steady-state performance. This surface is formulated as follows [6]:

$$s = K_p e + K_d \dot{e} \qquad (7)$$

Where, $K_p \; and \; K_d$ are a positive-definite diagonal matrices representing the proportional and the derivative gains of the system. The objective of the SMC is to drive this sliding surface *s* to zero, ensuring that the system states asymptotically track the desired trajectory [19]. The overall control law is composed of two components: an equivalent control term (u_{eq}) and a discontinuous switching term (u_{sw}). The equivalent control u_{eq}, which compensates for the nominal dynamics of the robot, is calculated by forcing the derivative $\dot{s}$ =0 and by using the dynamic of equation (5) and negligent the disturbances therefore, the $u_{eq}$is expressed as follows:

$$u_{eq1} = (K_d O)^{-1}[K_d M\dot{q} + K_d NG(q) + K_d \ddot{q_d} + K_p \dot{e}] \qquad (8)$$

In order to ensure robustness against uncertainties and external disturbances, a discontinuous switching control term is added. The complete control input is then defined as follows [19, 20]:

$$u_{sw} = -k_{sw}.sign(s) \qquad (9)$$

Where, k_{sw} is a positive-definite diagonal matrix of switching gain. This switching term enforces the sliding condition, driving the system states towards the sliding surface in finite time and maintaining them on it, even in the presence of system uncertainties and external disturbances. This PD-SMC approach effectively combines the simplicity of PD control with the robustness of SMC, achieving high-precision trajectory tracking and strong disturbance rejection for 2-DOF robotic manipulators. The total control for PD-SMC then us given as follows:

$$u = u_{eq1} + u_{sw} = (K_d O)^{-1}[K_d M\dot{q} + K_d NG(q) + K_d \ddot{q_d} - K_p \dot{e}] - k_{sw}.sign(s) \qquad (10)$$

IV. IT-SMC CONTROLLER

To further enhance tracking performance and eliminate steady-state errors, an integral terminal sliding mode control (IT-SMC) strategy is proposed for the 2-DOF robotic manipulator. This approach improves convergence speed, ensures finite-time stability, and maintains strong robustness against disturbances and model uncertainties. The IT-SMC surface is then introduced as follows [20]:

$$s = \dot{e} + \alpha \int_0^t e^{\frac{p}{q}}(\tau) d\tau \qquad (11)$$

Where, α>0 is a positive-definite diagonal gain matrix, p and q are positive odd integers satisfying q>p>0 [20]. In order to implement the total command for the IT-SMC, the same manner for the PD-SMC is conducted. Calculating the derivative of surface equation (10), and forcing the $\dot{s}$ =0, therefore the equivalent control is given as follows [19]:

$$u_{eq2} = O^{-1}[M\dot{q} + NG(q) + \ddot{q_d} - \alpha e^{\frac{p}{q}}] \qquad (12)$$

The total command through means IT-SMC is then given as follows:

$$u = u_{eq2} + u_{sw} = O^{-1}[M\dot{q} + NG(q) + \ddot{q_d} - \alpha e^{\frac{p}{q}}] - k_{sw}.sign(s) \qquad (13)$$

V. Evolutionary algorithms

Evolutionary algorithms (EAs) are stochastic, population-based optimization methods inspired by natural selection and genetics. They evolve a population of candidate solutions using operators like mutation and crossover. At each iteration, the position of each individual is updated with a scaling factor FFF and a crossover probability C_r, controlling information exchange between individuals. The mutation operation is defined as follows [21]:

$$V_i^{(t+1)} = X_i^{(t)} + F \times (X_{r1}^{(t)} - X_{r2}^{(t)}) \quad (14)$$

$$V_i^{(t+1)} \begin{cases} V_{ij}^{(t+1)} \; if \; \text{randj} \leq Cr \\ X_{ij}^{(t)} \; Otherwise \end{cases} \quad (15)$$

Where, rand_j is a uniformly distributed random number within [0,1], The new individual is accepted into the population based on a selection mechanism that compares the fitness of the trial vector to that of the original.

VI. Results & DISCUSSION

The EV algorithm is used to optimize these parameters, with a population size of 30, a maximum of 100 iterations, a scaling factor F=0.8, and a crossover probability C_r=0.1. These settings balance exploration and exploitation to enhance convergence toward an optimal solution. The EV algorithm aims to minimize the objective function, based on the joints' motion trajectory error [22].

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X(i) - X_r(i))^2} \quad (16)$$

Where, X(i) and $X_r(i)$ denote vectors representing the actual and reference values at the i-th data point, respectively and n indicates the total number of data points.

Where, $e_1 = q_1 - q_{d1}$ and $e_2 = q_2 - q_{d2}$ and the desired motion trajectory is given as follows [6]:

$$\theta_{d1}(t) = \sin(4.17t)$$
$$\theta_{d2}(t) = 1.2\sin(5.11t)$$

The initial values of the system are given as follows:

$$q_{d1} = \pi,\ q_{d1} = -\pi,\ \dot{q_{d1}}(t) = 0 \; and \; \dot{q_{d2}}(t) = 0$$

Table 1: Controller Parameters for IT-SMC and PD-SMC

Parameter	**IT-SMC**	**PD-SMC**
k_{sw}	diag {3010}	diag {2258}
p	2	–
q	3	–
α	diag {7.22, 7.22}	–

K_d	–	diag {2801, 2801}
K_p	–	diag {30, 30}

Table 2 illustrates the comparison of the error indices, including RMSE, IAE, ITAE, and ISE, for both the IT-SMC and PD-SMC controllers, highlighting the performance differences between the two approaches.

Table 2. Performance Comparison and Improvement: IT-SMC vs PD-SMC.

Metric	**IT-SMC**	**PD-SMC**	**Improvement (%)**
RMSE (θ1)	0.36069	0.40713	11.41%
RMSE (θ2)	0.43948	0.44114	0.38%

After applying the EV optimization algorithm to the IT-SMC and PD-SMC controllers, the obtained parameters are summarized in Table 1. According to the results in Table 2, the IT-SMC controller outperforms PD-SMC in most evaluation criteria. For θ1, IT-SMC reduces the RMSE by 11.41%, indicating better tracking accuracy. For θ2, the RMSE improvement is 0.38%, with IT-SMC demonstrating overall better performance in most indices. These results highlight IT-SMC's superiority in minimizing tracking errors. In addition, according to figures 2-4, the IT-SMC has best tracking and low chattering in comparison to the PD-SMC.

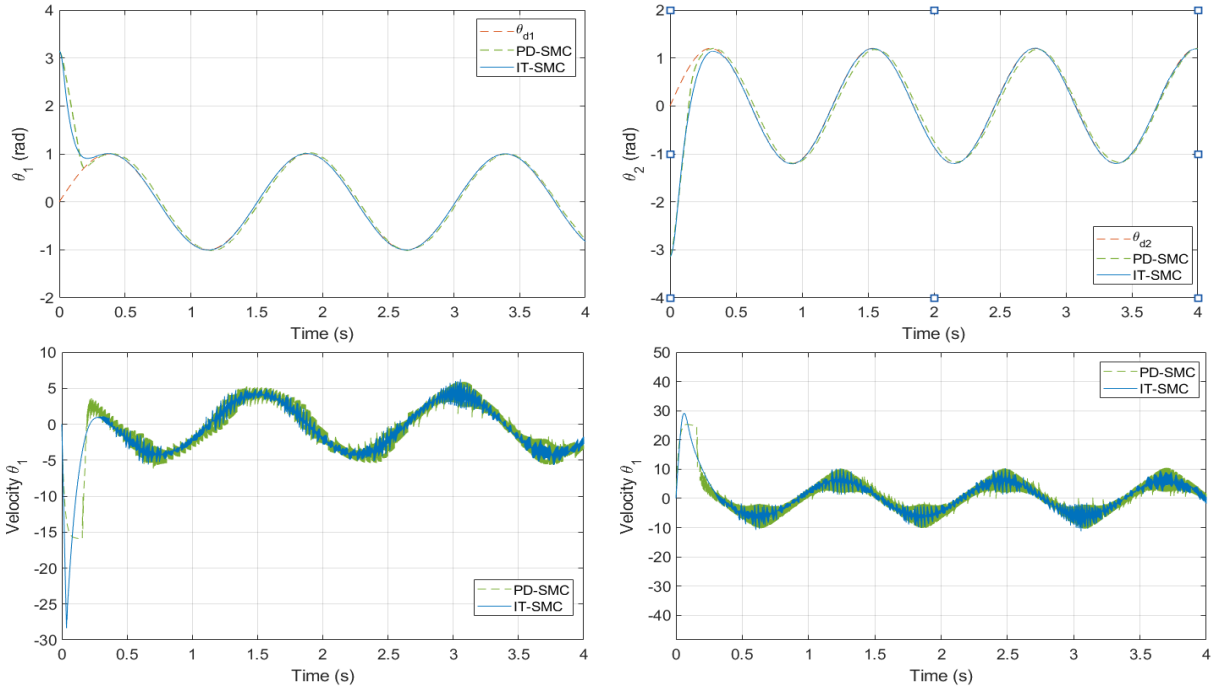


Fig. 2 Position tracking and velocity of joints under IT-SMC and PD-SMC controllers

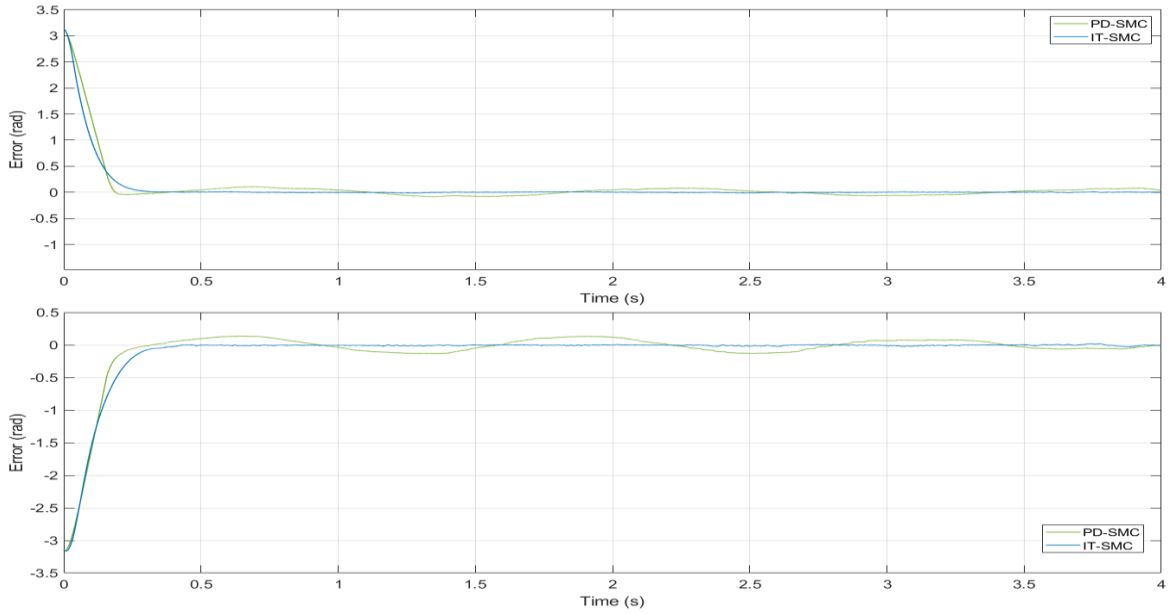


Fig. 3 Position tracking error of joints under IT-SMC and PD-SMC controllers

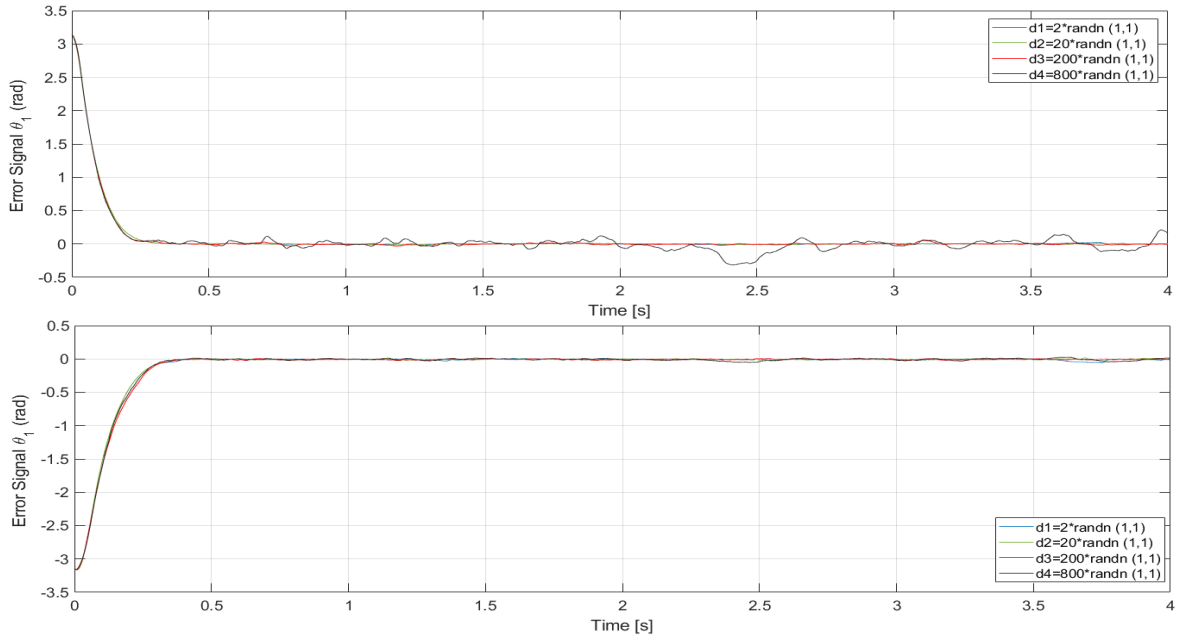


Fig. 4 Position tracking error of joints of the IT-SMC under random noises application

VII. CONCLUSION

This paper addresses trajectory tracking control for a 2-DOF robotic manipulator using dynamic modeling with IT-SMC and PD-SMC controllers. The system's dynamics are modeled by a second-order differential equation considering inertia, Coriolis, centrifugal, and gravity effects. An Evolutionary (EV) algorithm was employed to optimize the controllers' parameters. Simulation results showed that IT-SMC, with EV-optimized gains, outperformed PD-SMC, achieving lower errors and improved tracking accuracy. These results highlight the effectiveness of optimized control strategies in enhancing robotic manipulator performance.

ACKNOWLEDGMENT

The authors extend their sincere appreciation to the Telecommunications Signals and Systems Laboratory (TSS), University Amar Telidji, and the Engineering School of Vitoria, University of the Basque Country UPV/EHU, Vitoria, Spain

REFERENCES

[1] Brogårdh, Torgny. "Present and future robot control development—An industrial perspective." Annual Reviews in Control 31.1 (2007) : 69-79.
[2] Silaa MY, Barambones O, Bencherif A. A novel adaptive pid controller design for a pem fuel cell using stochastic gradientdescent with momentum enhanced by whale optimizer. Electronics. 2022;11(16):2610.
[3] Silaa MY, Barambones O, Cortajarena JA, et al. Pemfc current control using a novel compound controller enhanced by the black widow algorithm: A comprehensive simulation study. Sustainability. 2023;15(18):13823.
[4] Whig P, Bhatia B, Bhatia AB, et al. Renewable energy optimization system using fuzzy logic. In: Machine learning and metaheuristics: Methods and analysis. Springer; 2023. p. 177–198.
[5] Eker M, G¨undogan B. Demagnetization fault detection of permanent magnet synchronous motor with convolutional neural network. Electrical Engineering. 2023;1–14.
[6] Silaa, Mohammed Yousri, Oscar Barambones, and Aissa Bencherif. "Robust adaptive sliding mode control using stochastic gradient descent for robot arm manipulator trajectory tracking." Electronics 13.19 (2024): 3903.
[7] Jin M, Lee J, Chang PH, et al. Practical nonsingular terminal sliding-mode control of robot manipulators for high-accuracy tracking control. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2009;56(9):3593–3601.
[8] Bi M. Control of robot arm motion using trapezoid fuzzy two-degree-of-freedom pid algorithm. Symmetry. 2020;12(4):665.
[9] Jouila A, Nouri K. An adaptive robust nonsingular fast terminal sliding mode controller based on wavelet neural network for a 2-dof robotic arm. Journal of the Franklin Institute. 2020;357(18):13259–13282.
[10] Efe M ̈O. Fractional fuzzy adaptive sliding-mode control of a 2-dof direct-drive robot arm. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics). 2008; 38(6):1561–1570.
[11] Ouyang P, Acob J, Pano V. Pd with sliding mode control for trajectory tracking of robotic system. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2014;30(2):189–200.
[12] Rahmani, M., Komijani, H., & Rahman, M. H. (2020). New sliding mode control of 2-DOF robot manipulator based on extended grey wolf optimizer. International Journal of Control, Automation and Systems, 18, 1572-1580.
[13] Kumar A, Kumar V. Evolving an interval type-2 fuzzy pid controller for the redundant robotic manipulator. Expert Systems with Applications. 2017; 73:161–177.
[14] Lochan, Kshetrimayum, and Binoy Krishna Roy. "Control of two-link 2-DOF robot manipulator using fuzzy logic techniques: a review." Proceedings of Fourth International Conference on Soft Computing for Problem Solving: SocProS 2014, Volume 1. New Delhi: Springer India, 2014.
[15] Mahil, Samia M., and Ahmed Al-Durra. "Modeling analysis and simulation of 2-DOF robotic manipulator." 2016 IEEE 59th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS). IEEE, 2016.
[16] Kumar, Anupam, et al. "Design of a novel mixed interval type-2 fuzzy logic controller for 2-DOF robot manipulator with payload." Engineering Applications of Artificial Intelligence 123 (2023): 106329.
[17] Ghaleb, Nasr M., and Ayman A. Aly. "Modeling and control of 2-DOF robot arm." International Journal of Emerging Engineering Research and Technology 6.11 (2018): 24-31.
[18] Shtessel, Yuri, et al. Sliding mode control and observation. Vol. 10. New York: Springer New York, 2014.
[19] Utkin, Vadim I., and I. Vadim. "Sliding mode control." Variable structure systems: from principles to implementation 66 (2004): 1.
[20] Silaa, Mohammed Yousri, et al. "Design and implementation of high order sliding mode control for PEMFC power system." Energies 13.17 (2020): 4317.
[21] Qiao, Lei, and Weidong Zhang. "Trajectory tracking control of AUVs via adaptive fast nonsingular integral terminal sliding mode control." IEEE Transactions on Industrial Informatics 16.2 (2019): 1248-1258.
[22] Silaa, Mohammed Yousri, Aissa Bencherif, and Oscar Barambones. "Indirect adaptive control using neural network and discrete extended kalman filter for wheeled mobile robot." Actuators. Vol. 13. No. 2. MDPI, 2024.Mirjalili S, Mirjalili SM, Lewis A. Grey wolf optimizer. Advances in engineering software. 2014; 69:46–61.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

ICSIS

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Kocaeli Bölgesinde Gıda Üretim Alanı Temelli Floristik Çeşitlilik ve Biyoçeşitlilik İzleme Uygulaması

Tuğba Gelmez[1*], Şeker Naz Geçgel [2] ve Murat Eyvaz[1]

[1]*Çevre Mühendisliği / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye*
[2]*Çevre Mühendisliği / Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Türkiye*

[*]*(t.demirbas2020@gtu.edu.tr)*

Özet – Biyoçeşitlilik, sürdürülebilir kalkınmanın temel bileşenlerinden biri olarak, yalnızca ekosistem sağlığı değil, aynı zamanda insan refahı, gıda güvenliği ve iklim değişikliğiyle mücadele gibi küresel öncelikler açısından da kritik bir rol oynamaktadır. Endüstriyel üretim sahalarının doğrudan ya da dolaylı şekilde birden fazla ekosistemle etkileşim hâlinde olduğu göz önüne alındığında, bu alanlarda yürütülecek izleme faaliyetleri, hem çevresel etkilerin tespiti hem de önleyici stratejilerin geliştirilmesi bakımından önem arz etmektedir. Bu çalışma, Kocaeli bölgesinde bir gıda üretim alanında yürütülen biyoçeşitlilik izleme uygulamasını kapsamaktadır.

Çalışmanın temel amacı, üretim alanının yakın çevresindeki floristik çeşitliliği belirlemek ve sürdürülebilirlik ilkeleri çerçevesinde ekosistem sağlığına dair göstergeleri değerlendirmektir. Bu hedef doğrultusunda, 2023–2025 yılları arasında gerçekleştirilen saha çalışmaları ile endemik ve nadir türlerin dağılımı, habitat kalitesi, baskı unsurları ve tür değişim dinamikleri izlenmiştir. Veriler, floristik örnekleme, foto-dokümantasyon, yerel gözlem ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) analizleri kullanılarak toplanmıştır.

Sonuçlar, çalışma alanında yüksek floristik çeşitlilik bulunduğunu ve belirli mikrohabitatların nadir türler açısından kritik öneme sahip olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, sanayi faaliyetlerinin doğa ile uyumlu şekilde yürütülmesinin mümkün olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler – Gıda Sanayi, Sürdürülebilir Tarım. Biyoçeşitlilik ve Floristik Çeşitlilik, Endemik Türler, Kocaeli Bölgesi

I. GİRİŞ

Tesisimiz; Eurofresh olarak kullanımı kolay, sağlıklı, kaliteli, yıkanmış ve doğranmış sebze meyveleri tüketiciye ulaştırma hedefiyle başlatılan bu süreçte şu an Türkiye'nin lider taze doğranmış sebze ve meyve tedarikçisidir. Markamız adına üretim yapan birçok tedarikçi ve anlaşmalı çiftçimiz sayesinde, toprağımızı ve suyumuzu koruyan doğru tarım yöntemleriyle ürün yetiştirilmekte ve en doğru zamanda hasat edilmektedir. Hasat edilen taze mahsuller, 4 bin metrekarelik alana yayılan Türkiye'nin en geniş ve modern üretim parkurunda ayıklayıp yıkanmakta ve hiçbir katkı maddesi kullanmadan güvenle paketlenmektedir. BRC Gıda Güvenliği, ISO 22000, Global GAP, ITU belgelerine sahip fabrikada; Gıda Güvenliği (ISO 22000) kuralları çerçevesinde üretim yaparak müşteri memnuniyeti ve insan sağlığını ilk sıraya koyan yenilikçi, çevreye ve topluma saygılı bir üretim biçimi kalıcı olarak benimsenmektedir. Her gün fabrikamızdan çıkan 150 farklı ürün; önce soğuk zinciri kırmadan Türkiye'nin bini aşkın satış noktasına, oradan da en taze, en doğal haliyle müşterilerimize ulaştırılmaktadır. Türkiye'de taze doğranmış sebze meyve alanında ayrıcalıklı ürün, hijyen ve hizmet kalitesi ile ilk tercih edilen, müşteri memnuniyetine odaklanmış lider bir kuruluş olarak; doğru tarım, sıfır atık, tasarruflu su kullanımı gibi prosedürlerle hem dünyamızı korunmakta hem de iyi ve dengeli beslenmenin olmazsa olmazı; taze, güvenilir ve pratik ürünler müşterilere ulaştırılmaktadır. Tohumdan sofraya kadar doğru tarım yöntemleri

ile ürünlerimizi yetiştiren, hasat eden çiftçiler desteklenmekte ve yerel tarımın geleceğine katkı sağlanmaktadır.



Şekil 1. Tesis Çevresi Arazi Kullanım Haritası

Flora

Türkiye'nin fitocoğrafik konumu değerlendirildiğinde, ülkenin tamamının kuzey yarımkürenin ılıman ve soğuk iklim kuşaklarını kapsayan Holoarktik floristik bölge içerisinde yer aldığı görülmektedir. Bu geniş flora alemi, Türkiye topraklarında üç ana floristik alt bölgeyi bir araya getirmektedir. Bu bölgeler:

- Avrupa-Sibirya (Euro-Sibirya) Floristik Bölgesi,
- Akdeniz (Mediterranean) Floristik Bölgesi,
- İran-Turan Floristik Bölgesi olarak sınıflandırılmaktadır.

Türkiye, bu üç önemli floristik bölgenin kesişme noktasında bulunması sayesinde son derece zengin bir bitki örtüsüne ve yüksek düzeyde floristik çeşitliliğe sahip ender ülkelerden biri olarak değerlendirilmektedir.

Damarlı Bitkiler

İletim demeti taşıyan vasküler bitkiler, büyük ölçüde karasal, kısmen de sucul ortamlarda yaşamlarını sürdüren türleri kapsamaktadır. Bu grup; atkuyruğu, eğrelti ve tohumlu bitkileri (Gymnospermler ve Angiospermler) içermektedir. Küresel ölçekte günümüzde yaklaşık 390.000 vasküler bitki türünün yaşadığı bildirilmektedir. Türkiye, Holoarktik flora aleminin üç farklı floristik bölgesinin kesiştiği nadir coğrafyalardan biri olarak, geniş yükselti aralıkları, çeşitli iklim tipleri ve farklı toprak özellikleri gibi çok sayıda ekolojik faktöre ev sahipliği yapması sayesinde dikkate değer düzeyde bir bitki çeşitliliği barındırmaktadır [1].

Avrupa kıtasında yaklaşık 12.000 doğal bitki türü bulunurken, Türkiye'de bu sayı 10.000 vasküler tür seviyesindedir; bu da ülkenin floristik açıdan zenginliğini açıkça ortaya koymaktadır. Kocaeli ili, deniz seviyesinden 1601 metreye kadar ulaşan yükseklik farkıyla önemli bir ekolojik çeşitlilik sunmakta, karasal ve sucul habitatları, Akdeniz ve Oseyanik iklim özelliklerinin birlikte görüldüğü alanları barındırmaktadır. Güncel literatürde, Kocaeli'de toplam 1397 bitki taksonunun kaydedildiği

belirtilmektedir [2]. Bu taksonlardan 12'si her ne kadar Kocaeli ili sınırlarında gösterilmiş olsa da, gerçekte bu türlerin İstanbul, Sakarya ve Yalova sınırlarında toplandığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle, Kocaeli'de gerçek anlamda kayıtlı takson sayısı 1385 olarak değerlendirilmelidir. İncelenen saha ve çevresinde hem karasal hem de denizel ekosistemler bir arada bulunmakta olup, alanın rakımı yaklaşık 0 ila 200 metre arasında değişmektedir. Karasal vejetasyon, çeşitli ağaç, çalı ve otsu bitki türlerinden oluşurken, kıyı şeridinde dar bir kumul zonu, dik eğimli yamaçlar ve çakıllı zemin yapısı öne çıkmaktadır [2].

Gerçekleştirilen bu çalışmada, Kocaeli ili genelinde 1477 damarlı bitki taksonunun varlığı tespit edilmiştir. Daha önce literatürde yer almayan 92 bitki taksonunun bu çalışmayla birlikte kayıt altına alındığı ve ilin florasına eklendiği belirlenmiştir. Kocaeli'deki vasküler taksonların endemizm oranı ise %3,39 olarak hesaplanmıştır [2]. Ayrıca, İstanbul Üniversitesi'nden Doç. Dr. Sırrı Yüzbaşıoğlu tarafından süsengiller (Iridaceae) familyasına ait ve yalnızca Kocaeli'ye özgü olan Crocus keltepensis (Keltepe Çiğdemi) türü bilim dünyasına kazandırılmıştır [3].

Tohumsuz Bitkiler

Kocaeli ilinde, tohumsuz grubuna ait yapılan literatür çalışmalarında, genel olarak, Kocaeli bölgesi tohumsuz grubunda 69 familya, 101 cins, 178 tür, 3 alt tür ve 9 varyete tespit edilmiştir. Kocaeli ilinde yapılan çalışmalarda tespit edilen taksonlara ilişkin veriler ve gruplara göre dağılımı aşağıdaki Çizelgede özetlenmiştir [4].

Tablo 1 Kocaeli'nde yapılan çalışmalarda tespit edilen taksonlar ve gruplara göre dağılımı

Grup	Bölge	Familya	Cins	Tür	Alt tür	Varyete
Likenler	Kocaeli	25	37	86	3	3
Makrofunguslar	Kocaeli	41	61	89	0	6
Karayosunları	Kocaeli	3	3	3	0	0
Toplam	Kocaeli	69	101	178	3	9

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Eurofresh üretim tesisinin bulunduğu bölgedeki biyolojik çeşitliliğin korunmasına yönelik izleme ve değerlendirme faaliyetleri yürütülmüştür. Yöntemsel olarak saha çalışmaları, literatür taraması ve laboratuvar analizlerinden elde edilen veriler birlikte değerlendirilmiştir.

2.1. Çalışma Alanının Tanımı

Çalışma sahası, Kocaeli ili sınırlarında, deniz seviyesinden yaklaşık 200 m yüksekliğe kadar uzanan bir bölgede yer almaktadır. Bu bölge, Avrupa-Sibirya, Akdeniz ve İran-Turan floristik bölgelerinin kesişiminde yer alması sayesinde yüksek düzeyde floristik çeşitlilik barındırmaktadır [1], [2]. Arazi, çakıllı kıyı şeridi, kumullar ve karasal alanlar gibi mikrohabitatlarıyla farklı ekolojik nişler sunmaktadır. Arazi kullanım haritası Şekil 1'de sunulmuştur.

2.2. Floristik Örnekleme Yöntemi

Çalışma alanında floristik örnekleme, 2023-2025 yılları arasında vejetasyon döneminde (Nisan–Eylül aylarında) 10 farklı örnekleme noktasında gerçekleştirilmiştir. Rastgele seçilen alanlarda 10 m × 10 m'lik örnekleme kareleri oluşturularak damarlı ve tohumsuz bitkiler sistematik olarak kaydedilmiştir. Bitkiler sahada preslenmiş, numaralandırılmış ve herbaryum materyali haline getirilmiştir. Tür tayininde Davis (1965–1985) ve Türkiye Bitkileri Kırmızı Kitabı gibi referans kaynaklar kullanılmıştır [1], [2].

2.3. Tohumsuz Bitki Tespiti

Eğrelti, yosun ve ciğer otları gibi tohumsuz bitki gruplarına ait türler; mikroskobik ve morfolojik incelemeler ile tanımlanmıştır. Özellikle nemli habitatlarda (gölgelik alanlar, dere kenarları) yoğunluk gösteren bu türlerin tespiti için stereomikroskop ve dijital taksonomi rehberlerinden faydalanılmıştır [4].

2.4. İzleme Parametreleri ve Sıklığı

2023 yılında başlatılan izleme programı kapsamında, aşağıdaki göstergeler takip edilmiştir:

Tablo 2 İzleme programında takip edilen göstergeler

Göstergeler	İzleme Aralığı	Yöntem
Endemik/Nadir Tür Sayısı	6 ayda bir	Flora envanteri ve karşılaştırma
Habitat Kalitesi	Yılda bir	Gözlem + Foto-dokümantasyon
Ekosistem Baskı Unsurları	3 ayda bir	Gözlem + Yerel veri analizi
Tür Dağılımındaki Değişim	6 ayda bir	CBS (GIS) tabanlı analiz

Ekosistem üzerindeki potansiyel baskılar (yol yapımı, arazi kullanımı değişikliği, atık salımı vb.) periyodik olarak değerlendirilmiş, flora ve fauna üzerindeki etkileri kayıt altına alınmıştır.

2.5. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanımı

Saha çalışmalarından elde edilen veriler CBS ortamına aktarılmış; QGIS yazılımı kullanılarak tür dağılımı, habitat tipleri ve tehdit düzeyleri haritalanmıştır. Ayrıca, Şekil 2'de sunulan tür sıcak noktaları (biyoçeşitlilik hotspot'ları), izleme programının öncelikli alanlarını belirlemek açısından kullanılmıştır.

2.6. Verilerin Değerlendirilmesi

Toplanan veriler ışığında tür çeşitliliği, endemizm oranı ve habitat bütünlüğü gibi göstergeler analiz edilmiştir. Bulgular, Eurofresh üretim faaliyetlerinin çevresel etkilerini asgari düzeyde tutmak üzere geliştirilen stratejilerle ilişkilendirilmiştir. Özellikle nadir türlerin korunması amacıyla önerilen tampon bölgeler ve habitat restorasyon planları, tesis çevresindeki biyoçeşitliliğin sürdürülebilirliğini sağlama yönünde önem taşımaktadır [3].

III. BULGULAR

Bu çalışma kapsamında, Eurofresh üretim tesisinin bulunduğu Kocaeli ili çevresinde gerçekleştirilen izleme faaliyetleri ve floristik örneklemeler neticesinde zengin bir biyolojik çeşitlilik tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir:

3.1. Floristik Çeşitlilik

2023-2025 yılları arasında yürütülen örnekleme çalışmaları sonucunda toplam 1477 damarlı bitki taksonu kaydedilmiştir. Bu taksonlar arasında 92'si daha önce Kocaeli florasında bildirilmemiş olup, yeni kayıt olarak literatüre eklenmiştir [1]. Ayrıca, bu türler içerisinde %3,39 oranında endemizm tespit edilmiştir. En dikkat çekici bulgu ise yalnızca Kocaeli'ye özgü olan ve süsengiller (Iridaceae) familyasına ait Crocus keltepensis türünün tekrar gözlenmesidir [2].

3.2. Tohumsuz Bitki Dağılımı

Yapılan literatür taraması ve arazi gözlemleri sonucunda Kocaeli ilinde 69 familya, 101 cins, 178 tür, 3 alt tür ve 9 varyete ile temsil edilen tohumsuz bitkiler grubu tanımlanmıştır [3]. Bu türlerin çoğunlukla nemli habitatlarda (dereler, orman içi gölgeli alanlar) yoğunlaştığı belirlenmiştir.

3.3. Ekosistem Baskı Unsurları ve Gözlemler

Çalışma boyunca yapılan izleme faaliyetlerinde aşağıdaki gözlemler öne çıkmıştır:

- Habitat kaybı riski, özellikle yol yapımı ve plansız yapılaşmanın olduğu bölgelerde artış göstermiştir.
- Tesis çevresinde yer alan kumul ekosisteminde, insan kaynaklı faaliyetlerin azlığı sayesinde habitat bütünlüğü büyük oranda korunmuştur.
- Tarım alanlarında sürdürülebilir tarım uygulamaları ile pestisit ve gübre kullanımı sınırlandırılmış; bu durum özellikle otçul bitkilerin yayılımında olumlu etkiler yaratmıştır.
- Endemik türlerin çoğunlukla yamaç ve orman sınırı habitatlarında yoğunlaştığı ve bu alanların korunmasının kritik olduğu saptanmıştır.

3.4. Tür Dağılımı ve Biyoçeşitlilik Yoğunluğu

CBS analizleri ile hazırlanan haritada (Bkz. Şekil 2) tür zenginliğinin en yoğun olduğu alanlar görsel olarak tanımlanmıştır. Özellikle tesisin doğu ve kuzeydoğusunda yer alan ormanlık alanlarda tür yoğunluğu belirgin şekilde yüksektir. Bu bölgeler biyoçeşitlilik sıcak noktaları olarak nitelendirilmiş ve öncelikli koruma alanı olarak önerilmiştir.

3.5. İzleme Göstergelerine Göre Değerlendirme

Yılda bir gerçekleştirilen habitat kalitesi değerlendirmelerinde, çalışma sahasının genelinde "iyi" düzeyde bir ekosistem sağlığı tespit edilmiştir. Endemik tür sayısı ve habitat bütünlüğü gibi parametreler, sürdürülen izleme ve koruma stratejilerinin etkinliğini ortaya koymuştur. Ayrıca, gözlenen potansiyel tehditlere karşı geliştirilen önleyici stratejilerin (tampon bölgeler, bilinçlendirme çalışmaları, habitat restorasyonu gibi) olumlu sonuçlar verdiği anlaşılmıştır.

IV. TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında Kocaeli ili ve Eurofresh tesis çevresindeki floristik çeşitlilik, ekosistem sağlığı ve sürdürülen koruma stratejileri analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular hem bölgenin biyolojik zenginliğini ortaya koymakta hem de sürdürülebilir üretim faaliyetlerinin biyoçeşitlilik üzerindeki etkilerini değerlendirme fırsatı sunmaktadır.

4.1. Kocaeli'nin Floristik Zenginliği ve Endemizm

Kocaeli ili, üç büyük floristik bölgenin (Avrupa-Sibirya, Akdeniz ve İran-Turan) kesişim noktasında bulunması nedeniyle Türkiye'nin biyolojik çeşitlilik açısından en zengin illerinden biridir. 1477 damarlı bitki taksonunun tespit edilmesi ve bunların 92'sinin literatüre yeni kayıt olarak eklenmesi, bölgenin floristik araştırmalar açısından halen büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Endemik tür oranı olan %3,39, Türkiye ortalamasına kıyasla daha düşük olsa da bu oran özellikle kıyı kumulu gibi hassas mikrohabitatlarda yoğunlaşmaktadır [1][3].

4.2. Tesis Faaliyetlerinin Ekosistem Üzerindeki Etkisi

Eurofresh tesisinin çevreye duyarlı üretim prensipleri (doğru tarım, sıfır atık, su tasarrufu, soğuk zincir lojistiği vb.), çevre sağlığına zarar vermeden üretim yapılabileceğini göstermektedir. İzleme sonuçlarına göre özellikle tesis çevresinde yer alan doğal habitatlarda ciddi bir bozulma gözlenmemiştir. Bu durum, iyi uygulama örneklerinin çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağladığını desteklemektedir [4].

4.3. Kumul ve Orman Ekosistemlerinin Önemi

Arazi kullanımı haritası ve CBS analizleri, tür yoğunluğunun kıyı kumulları ve orman sınırları gibi alanlarda yüksek olduğunu göstermiştir. Bu habitatlar, birçok nadir ve endemik türe ev sahipliği yapması bakımından öncelikli koruma gerektirmektedir. Özellikle Crocus keltepensis gibi yalnızca bu bölgeye özgü türlerin varlığı, habitat tahribatının önlenmesinin ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır [2].

4.4. Sürdürülebilirlik Uygulamaları ve İzleme Faaliyetlerinin Etkinliği

Eurofresh'in yürüttüğü yıllık flora izleme ve habitat değerlendirme çalışmaları, tesis faaliyetlerinin doğal dengeyi bozup bozmadığını anlık olarak analiz etmeye olanak tanımaktadır. Bu izleme çalışmaları yalnızca yasal bir zorunluluk değil, aynı zamanda uzun vadeli çevresel yönetim stratejilerinin temelidir.

İyi tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması, yerel çiftçilerin desteklenmesi ve habitat restorasyonları gibi uygulamalar, bölgesel ölçekte olumlu etkiler yaratmaktadır [6][7].

4.5. Literatür ile Karşılaştırma

Literatürde yapılan benzer çalışmalarda, endüstriyel tesislerin doğal ekosistemler üzerindeki olumsuz etkileri sıkça raporlanmaktadır. Ancak Eurofresh örneğinde, sürdürülebilir üretim anlayışının, ekolojik tahribatı önlemede etkili olduğu görülmüştür. Bu yönüyle çalışma, sanayi ve doğa arasında uyumlu bir modelin mümkün olabileceğini gösteren örnek vakalardan biri olarak değerlendirilebilir [5][8].

V. SONUÇLAR

Bu çalışma, endüstriyel bir gıda üretim alanının yakın çevresindeki floristik çeşitliliğin korunması ve sürdürülebilir üretim faaliyetlerinin ekosistem üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesini amaçlamıştır. Yürütülen izleme ve örnekleme çalışmaları neticesinde, Kocaeli bölgesinde yüksek düzeyde biyolojik çeşitliliğin varlığı tespit edilmiştir. Bu çeşitliliğin, Avrupa-Sibirya, Akdeniz ve İran-Turan floristik bölgelerinin kesişiminde yer alan coğrafi konumdan kaynaklandığı belirlenmiştir. Çalışma süresince toplam 1477 damarlı bitki taksonu kaydedilmiş, bunlardan 92'si daha önce literatürde yer almayan yeni kayıtlar olarak tanımlanmıştır. Bu bulgu, bölgenin floristik açıdan hâlen yeterince keşfedilmediğine ve ileri düzey araştırmalara açık olduğuna işaret etmektedir.

Elde edilen veriler, endemik türlerin %3,39'luk bir orana sahip olduğunu ve bu türlerin çoğunlukla kıyı kumulları ile orman sınırı gibi hassas mikrohabitatlarda yoğunlaştığını göstermektedir. Bu alanların korunması, bölgesel biyoçeşitlilik açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca, ekosistem üzerindeki insan kaynaklı baskıların sınırlı düzeyde olduğu ve mevcut üretim yaklaşımlarının doğal dengenin korunmasına katkı sağladığı gözlemlenmiştir. Doğru tarım uygulamaları, atık yönetimi ve su tasarrufuna dayalı sürdürülebilirlik stratejilerinin etkinliği, ekolojik tahribatın önlenmesinde belirleyici bir rol oynamaktadır.

İzleme sonuçları, özellikle nadir ve endemik türlerin yoğunlaştığı habitatlarda koruma önlemlerinin güçlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Kumul ve orman ekosistemleri, tür çeşitliliğinin merkezinde yer almakta olup, bu alanlarda geliştirilecek yönetim planları, biyolojik çeşitliliğin sürekliliği açısından hayati bir işlev üstlenmektedir. Genel olarak bu çalışma, endüstriyel üretim alanlarında doğa ile uyumlu bir üretim modelinin mümkün olduğunu ortaya koymakta ve sürdürülebilir kalkınma ile biyoçeşitlilik koruması arasında dengeli bir yaklaşımın sağlanabileceğini göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma kapsamında veri sağlayan MB Eurofresh Gıda San. A.Ş. yönetimine teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

[1] Ekim, T., Koyuncu, M., Vural, M., Duman, H., Aytaç, Z., & Adıgüzel, N. (2000). *Türkiye Bitkileri Kırmızı Kitabı (Eğrelti ve Tohumlu Bitkiler)*. Ankara: Türkiye Tabiatını Koruma Derneği ve Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi.

[2] Duman, H., & Başer, K. H. C. (2015). *Kocaeli İli Florası ve Bitki Çeşitliliği Üzerine Bir Araştırma*. İstanbul Üniversitesi Yayınları.

[3] Yüzbaşıoğlu, S., & Özhatay, N. (2013). A new *Crocus* species (Iridaceae) from Kocaeli, northwestern Turkey. *Phytotaxa*, 99(1), 17–22. https://doi.org/10.11646/phytotaxa.99.1.2

[4] Öztürk, M., Altay, V., & Yılmaz, D. (2010). Kocaeli Yöresi Tozlaşma ve Tohumsuz Bitkiler Üzerine Bir İnceleme. *Bitki* Ekolojisi Dergisi, 18(2), 123–135.

[5] Eurofresh (2023). Sürdürülebilirlik ve Biyoçeşitlilik İzleme Raporu. Şirket iç yayını, Kocaeli.

[6] Kocaeli Büyükşehir Belediyesi. (2022). Kocaeli İl Çevre Durum Raporu 2022. Kocaeli: Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı Yayını.

[7] Kırmızı, L. (2018). Tohumsuz bitkilerde taksonomik çeşitlilik: Kocaeli örneği. Bitki Sistematiği Dergisi, 25(2), 145–159.

[8] Doğa Koruma Merkezi. (2019). Türkiye'nin Biyolojik Çeşitlilik Durumu ve Koruma Öncelikleri. Ankara: DKM Yayını.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

ICSIS

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Elektrolüminesans Görüntüleme ve Gelişmiş Makine Öğrenme Stratejileriyle Güneş Panellerinde Arıza Sınıflandırmasının Geliştirilmesi

Zübeyir Furkan Haroğlu[1] ve Fatih Demir[2*]

[1]*Ekobilişim Bölümü/ Ekobilişim Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Türkiye*
[2]*Yazılım Mühendisliği / Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Türkiye*

[*]*(fatihdemir@firat.edu.tr)*

Özet **–** Elektrolüminesans (EL) görüntüleme, güneş panellerinin üretim, kurulum ve işletiminin her aşamasında kusurları tespit etmek için en yaygın kullanılan teşhis tekniğidir. Bu yöntem, mikro çatlaklar ve parmak hatlarındaki kırılmalar gibi güneş paneli arızalarını tespit edip gidererek elektrik kesintilerini potansiyel olarak azaltabilir. EL testi güvenilir bir inceleme yöntemidir, ancak karmaşık hata modelleri ve heterojen arka planlar nedeniyle EL görüntülerini yorumlamak zor olabilir. Sonuç olarak, kusurlu hücreleri değerlendirmek ve bir sorunun ciddiyetini belirlemek özel bilgi gerektirir, bu da bu yöntemlerin her hücre için manuel olarak yürütülmesini zaman alıcı hale getirir. Bu nedenle, güneş pillerinin otomatik görsel denetimi çok önemli hale gelmektedir. Bu çalışmada, güneş pili hatalarının otomatik olarak belirlenmesi ve sınıflandırılması için derin öğrenme tabanlı bir model sunulmaktadır. Derin özellikleri çıkarmak için CNN tabanlı modelden çıkarılmıştır. Derin özellikler altı farklı makine öğrenmesi sınıflandırıcısında değerlendirilmiştir. Önerilen metodolojiyi test etmek için iki sınıflı popüler ELPV veri kümesi kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler – Elektrolüminesans görüntüleme, güneş panelleri, derin öğrenme, kusur, sınıflandırma

I. GİRİŞ

Son yıllarda, güneş enerjisi sistemleri önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak artan bir ilgi görmüştür. Küresel manzara, son on yılda kapsamlı güneş enerjisi santrallerinin kurulmasına tanık olmuş ve güneş enerjisi bileşenlerinin üretimine adanmış büyük ölçekli üretim tesislerinin kurulmasını teşvik etmiştir. Özellikle, 2018 ve 2020 yılları arasında, dünya çapında yıllık fotovoltaik (PV) üretimi yaklaşık 115 GW'a ulaşmış ve %12'lik bir artışa işaret etmiş ve kümülatif PV kapasitesi 627 GW olmuştur (REN21, 2020).

PV modülü, güneş enerjisi sistemleri içinde sistemin genel etkinliği için optimum operasyonel verimliliği gerektiren önemli bir bileşen olarak öne çıkmaktadır. Modül performansının hızlı bir şekilde değerlendirilmesi esastır ve özellikle orta ila yüksek kapasiteli güneş enerjisi sistemlerinde kaynak israfını önlemek için hızlı müdahaleler gerektirir. Üretim tesisleri için, genellikle dahil edilmeden önce her güneş hücresinin titiz bir şekilde incelenmesini içeren kalite kontrol önlemlerine uyulması zorunludur. Piyasada çeşitli PV modülleri mevcut olsa da, Kristalin-Silikon (c-Si) teknolojisi, köklü üretim yöntemleri ve maliyet etkinliği nedeniyle baskındır. c-Si teknolojisini kullanan monokristalin ve polikristalin sistemler, pazarın yaklaşık %96'sını oluşturmaktadır [1].

PV modülleri, yaşam döngüleri boyunca, yalnızca üretim sırasında değil, aynı zamanda sahadaki montaj, nakliye ve operasyonel aşamalarda da ortaya çıkan çeşitli kusurlara ve arızalara karşı hassas olabilir. Çatlaklar ve kırıklar gibi kusurlar, Potansiyel Endüklenen Gelişmeler (PID) ve kar, fırtına veya dolu gibi dış değişkenlerden kaynaklanabilir [2]. Silikon gofretin tekdüze olmaması nedeniyle, üretim prosedürleri, üretim aşamasında yerinden oynamış alanlar ve mikro çatlaklar gibi belirgin kusurlar üretebilir. Ayrıca, laminasyon kusurları, lehimleme hataları ve hücre bağlantılarının kesilmesi gibi hatalar, montaj aşamasında

meydana gelebilir. Bu sorunların tümü, PV modüllerinin performansı üzerinde farklı olumsuz etkilere sahip olabilir. PID, çatlak hücreler, hücre bağlantılarının kesilmesi ve kırıklar gibi arızalar, tüm modülün güç çıkışını önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir [3].

Termal-kızılötesi (IR), elektrolüminesans (EL) ve I-V eğrisi ölçümü, güneş sistemlerindeki kusurları bulmak için kullanılan ana tekniklerdir. I-V eğrisi yaklaşımı kullanılarak, fotovoltaik (PV) modül çıkış voltajı ve akımı belirli radyasyon koşulları altında ölçülür ve bulgular grafiksel olarak gösterilir. Bu yöntem, bir modülün genel durumunun değerlendirilmesine izin verirken, arızalı hücreleri veya tam yerlerini belirlemez [4].

Termal-IR görüntüleme, güneş modüllerinin ve hücrelerinin koşullarını görselleştirmek için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Akım akışındaki anormalliklerin neden olduğu sıcaklık değişimlerini belirleyerek kısa devreler, pasif panel hücreleri ve sıcak noktalar gibi arızaları belirleyebilir. Ancak, yöntemin çözünürlük sınırlamaları, özellikle mikro çatlakları tespit etmede zorluklara yol açar [5].

Elektrolüminesans görüntüleme, bu zorlukların bazılarının üstesinden gelir. Bu tahribatsız yöntem, fotovoltaik panellerdeki her bir hücrenin kapsamlı bir analizini sunarak, arızalı hücrelerin ve bölgelerin kolayca tespit edilmesini kolaylaştırır. Bu yetenek, modül durumu ve ömrünün kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlar. Bununla birlikte, EL görüntülerinin uzmanlar tarafından manuel olarak yorumlanması, zaman alıcı yapısı ve uzman personele ihtiyaç duyulması nedeniyle önemli bir dezavantaj olmaya devam etmektedir. Bu verimsizlik, özellikle büyük ölçekli üretim tesislerinde ve enerji santrallerinde belirgindir [6].

Bu sınırlamayı gidermek için, EL görüntülerinin otomatik olarak yorumlanması, önemli bir araştırma alanı olarak ortaya çıkmıştır. Bu geliştirme, üretimi hızlandırmayı, arıza tespitini geliştirmeyi ve q güç çıkışını iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Ancak, EL verilerinin otomatik olarak incelenmesi, kendi zorluklarını da beraberinde getirir. Güneş hücrelerinin karmaşık kristal yapısı, çeşitli arıza desenleriyle birleştiğinde, karmaşık otomatik yorumlama ve sınıflandırma gerektirir. Bu zorluk, tane sınırları ve düzensiz yapıları nedeniyle polikristalin hücreler için daha belirgin hale gelir ve arızalı ve arızasız hücre bileşenleri arasında ayrım yapmayı zorlaştırır. Dahası, güneş hücrelerinin karmaşık yapıları ve arıza ölçeklerindeki değişkenlik, sınıflandırma zorluklarını daha da artırır. Bu karmaşıklıklar ışığında, güneş hücresi sınıflandırması zorlu bir zorluk olmaya devam etmektedir [7].

Son yıllarda, derin öğrenme, özellikle elektrolüminesans (EL) görüntüleme üzerinde yoğunlaşarak, fotovoltaik (PV) hücrelerin analizi için popüler bir teknoloji haline gelmiştir. Çok sayıda araştırma çabası, makine ve derin öğrenme tekniklerini kullanarak EL görüntüleme üzerine yoğunlaşmıştır. Özellikle, yaklaşık 2010'dan bu yana, derin öğrenme modelleri (DML), özellikle evrişimli sinir ağı (CNN), bu alanda arıza tespiti ve sınıflandırmasını önemli ölçüde ilerletmiştir. AlexNet, VGG, ResNet, GoogleNet, MobileNet ve diğer DML'ler gibi öncü gelişmeler, CNN'lerin EL görüntü analizine uygulanmasında yeni kilometre taşlarına ulaşılmasında önemli bir rol oynamıştır [8]

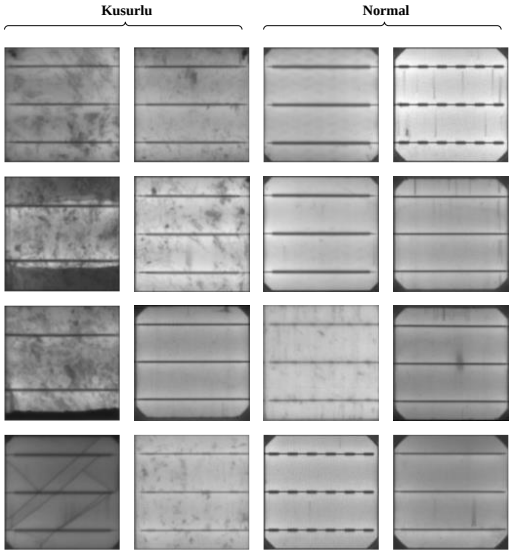
Pierdicca ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada [9], bir drone üzerine monte edilmiş termal kızılötesi görüntüleme, 50 metrelik sabit bir yükseklikten 880 arızalı ve 2500 normal PV güneş görüntüsü yakalamıştır. Yazarlar, yaklaşık %70'lik bir tespit doğruluğu üreten bir transfer öğrenme tabanlı yöntemde VGG-16'yı kullanmışlardır. Bartler ve ark. [10], 98.281 hücre verisi koleksiyonu oluşturmak için bozulma ve perspektif düzeltmesiyle kırpılan EL görüntüleri üretti. VGG-16'yı transfer öğrenme tarzında kullanarak, kaynak veri setindeki dengesizlikler ele alındıktan sonra yaklaşık %92'lik bir doğruluk elde edildi. Balzategui ve diğerleri [11], sınırlı veri boyutunun etkisini azaltmak için kayan bir pencere kullanarak yaklaşık %85'lik bir doğruluk elde ederek yüksek çözünürlükte (pc-Si hücreleri) EL görüntü analizi için CNN tabanlı bir model uyguladı. Özellikle pc-Si hücrelerine odaklanarak, Karimi ve diğerleri [12], EL resimlerini bozulmuş ve bozulmamış kategorilere ayırmak için gözetimsiz bir yöntem sundu. Ek kusur kategorizasyonu olmadan ikili sınıflandırmaya vurgu yaparak, Otamendi ve diğerleri [13], EL görüntüleme verilerini kullanarak tam güneş modüllerinden hücre düzeyindeki anomalileri tanımlamak, izlemek ve segmentlere ayırmak için uçtan uca derin öğrenme boru hattı sundu. EL görüntü kusurlarını ayrı gruplara ayırmak için çok sayıda yöntem oluşturuldu. Karimi ve diğerleri [14], üç sınıfı göz önünde bulundurarak CNN ve SVM kullanan bir sınıflandırma sistemi sundu: normal, hafif kusurlu ve çatlak. Korovin ve diğerleri [15], heterojunction güneş hücreleri için benzer sınıflandırmaları araştırdı. Tang ve diğerleri [16],

doğruluğu artırmak için veri artırmayı kullanarak ve VGG modellerine kıyasla azaltılmış test süresiyle yaklaşık %92'lik ortalama bir doğruluk elde ederek mc-Si PV hücrelerinin EL tabanlı sınıflandırmasını ele aldı. Lin ve diğerleri [17], yüksek geri çağırma ve hassasiyete sahip iki hafif-CNN ağı sunarak, bir kırpma aşaması aracılığıyla dengesiz EL veri kümelerini ele aldı. Chen ve diğerleri [8] tarafından EL görüntüleme analizi için açık kaynaklı bir sistem oluşturuldu. Farklı kusur türlerini belirlemek için YOLO, ResNet Modelleri ve RF gibi derin öğrenme ağlarını kullanır. Gerçek dünya EL veri kümeleri üzerindeki uygulamalar, yaklaşık 0,84'lük ortalama bir F1 puanı gösterdi. Bu yaklaşımlarda, veri kümelerinin seçimi eldeki soruna özgüydü ve farklı veri kümeleri arasında metodolojileri nesnel olarak karşılaştırırken dikkatli olma ihtiyacını vurguluyordu. [18]'de tanıtıldığı gibi 'ELPV' veri kümesi, halka açık tek EL görüntü veri kümesi olarak öne çıkıyor. Deitsch ve arkadaşları [5], ELPV veri kümesini kullanarak CNN modelleri geliştirdiler ve yaklaşık %88,4'lük ortalama bir doğruluk elde ettiler. Akram ve arkadaşları [19] da EL görüntülerinden kusur sınıflandırması için ELPV veri kümesini kullanarak %93 doğruluk elde ettiler. Demirci ve arkadaşları [20], PV panel hücrelerinde kusur sınıflandırması için EL görüntülerini kullanarak derin özellik çıkarmaya dayalı bir strateji tasarladılar. Çeşitli DNN'leri ve klasik makine öğrenimi yöntemlerini içeren şema, karmaşıklığı artmış olsa da sırasıyla 2 sınıf ve 4 sınıf veri kümeleri için %94,5 ve %90,6 sınıflandırma puanları elde etti.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

ELPV veri setinin yaratıcıları Buerhop ve diğerleridir [18] ve veri seti halka açıktır. Çeşitli polikristalin ve monokristalin PV hücrelerinden 2624 EL fotovoltaik panel fotoğrafı bu benzersiz veri setini oluşturur. Toplanan fotoğraflar, çeşitli bozulma durumlarında hem çalışan hem de bozuk güneş hücrelerini gösterir. Güneş hücrelerini her resimdeki kusur olasılığına göre sınıflandıran uzmanlar resimleri etiketlediler. Etiketlenen fotoğraflar, güneş enerjisi santrallerindeki güç verimliliği kaybını değerlendirmek ve çatlaklar, hasarlı ara bağlantılar, PID ve hücre kalitesi dahil olmak üzere çeşitli kusurları otomatik olarak tespit etmek için üretilir. Bu nedenle makine öğrenimi ve bilgisayarlı görüş tekniklerinin ilerlemesine uygulanabilir. Böylece, çok sayıda güneş paneli bulunan güneş enerjisi santrallerinde zamanında bakım faaliyetleri ile enerji verimliliği maksimum seviyede tutulacaktır.

Uzmanlar başlangıçta veri setini kusurların durumuna göre dört sınıfa ayırdılar. Bu sınıfların sınıflandırmaları şunlardır: Muhtemelen normal, Arızalı, Muhtemelen arızalı ve Arızasız. Bu sınıfların kusur oranları sırasıyla %33, %100, %66 ve %0'dır. Çalışmada veri seti iki ayrı sınıflandırma problemi için kullanılmıştır. İlkinde Kusurlu (715 örnek), Muhtemel Kusurlu (106 örnek), Normal (1508 örnek) ve Muhtemel Normal (295 örnek) sınıfları kullanılmıştır. Bu veri setindeki sınıf sayısına bakıldığında sınıflar arası veri dağılımında bir dengesizlik olduğu görülmektedir. Bu dengesizlik içerisinde sınıflandırma performansı hakkında sağlıklı yorumlar yapabilmek için doğruluk metriğinin yanı sıra duyarlılık (SEN), özgüllük (SPE), kesinlik (PREC) ve F-puanı ölçütlerinden yararlanılmıştır. İkinci sınıflandırma probleminde tespit edilen sınıf ile muhtemel tespit edilen sınıfın birleştirilmesiyle normal sınıf, tespit edilen sınıf ile muhtemel normal sınıfın birleştirilmesiyle normal sınıf oluşturulmuştur. Birleştirilmiş tespit edilen sınıf toplam 821 örnekten, birleştirilmiş normal sınıf ise 1803 örnekten oluşturulmuştur. Tüm örnekler PNG formatında kaydedilmiştir. Tüm sınıflar için ELPV veri setinden örnekler Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Her sınıf için ELPV veri setinden bazı örnekler

Önerilen yaklaşımın genel işleyişinin temsili bir örneği Şekil 2'de verilmiştir. Önerilen yaklaşım esasen üç aşamadan oluşur. İlk olarak, dikkat yapısı ve kalıntı yapının paralel olarak sıfırdan eğitildiği sağlam bir yeni CNN modeli tasarlanmıştır. Paralel eğitim stratejisi, hem kalıntı yapıdan hem de dikkat modelinden gelen ayırt edici özellikleri birlikte kullanma fırsatı sağlamıştır. Dikkat mekanizmalarını Evrişimli Sinir Ağı (CNN) modellerine entegre etmek, modelin karmaşık girdileri etkili bir şekilde işleme ve analiz etme yeteneğini artırarak çeşitli avantajlar sunar. Dikkat mekanizmaları, modelin bir girdi içindeki ilgili özelliklere seçici bir şekilde odaklanmasına, hesaplama kaynaklarını en kritik bölgelere veya desenlere yönlendirirken alakasız veya gürültülü sinyalleri bastırmasına olanak tanır. Örneğin, görüntü sınıflandırması, segmentasyon veya regresyon gibi görevlerde, dikkat mekanizmaları girdinin belirli alanlarını, örneğin nesnelerin kenarları veya benzersiz dokulara sahip bölgeleri vurgulayabilir ve önceliklendirebilir, böylece modelin doğru tahminler için önemli olan karmaşık desenleri ve bağımlılıkları yakalamasını sağlar. Bu seçici vurgu, odak bölgelerini kullanıcılar için daha şeffaf hale getirerek modelin yorumlanabilirliğini iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda özellikle belirgin bilgileri tanımlamanın çok önemli olduğu senaryolarda performansını da artırır [21]. Ek olarak, dikkat mekanizmaları odaklarını girdiye göre dinamik olarak uyarlar ve böylece ağın veri dağılımındaki, girdi özelliklerindeki ve gürültüdeki değişikliklere karşı sağlam kalmasını sağlar. Bu uyarlanabilirlik, modelin çeşitli veri kümeleri ve koşullar arasında tutarlı bir performans sürdürmesini sağlar [22]. Dahası, hesaplama çabalarını ilgili bölgelere yoğunlaştırarak, dikkat mekanizmaları hesaplama verimliliğine katkıda bulunur, gereksiz işlemleri azaltır ve alakasız sinyallerden kaynaklanan dikkat dağıtıcı unsurları önleyerek aşırı uyumu hafifletir [23].

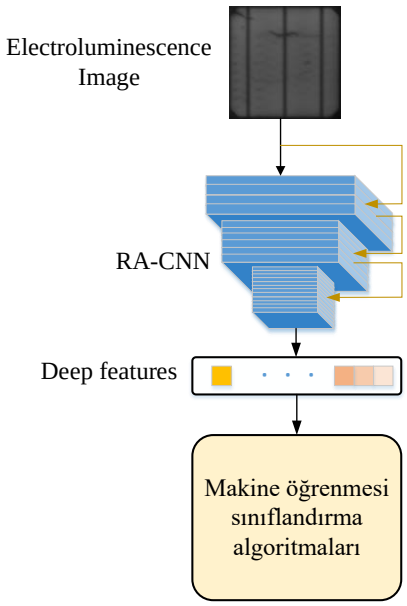
Öte yandan, kalıntı yapılar, kaybolan gradyan sorunu ve bozulma sorunları gibi derin CNN'leri eğitmekle ilişkili optimizasyon zorluklarını ele almada kritik bir rol oynar [24]. Geleneksel derin ağlar, katmanlar eklendikçe sıklıkla zorluklarla karşılaşır ve bu da gradyanları ağ boyunca etkili bir şekilde yaymadaki zorluklar nedeniyle performansın azalmasına veya hatta doğrulukta bozulmaya yol açar. Kalan bağlantılar, bir veya daha fazla katmanı atlayan atlama bağlantıları sunarak bunu hafifletir ve geri yayılım sırasında eğimlerin doğrudan ağ üzerinden akmasını sağlar [25]. Bu yapı, sığ ve derin özelliklerin eş zamanlı olarak öğrenilmesini kolaylaştırır ve optimizasyonu daha yönetilebilir ve verimli hale getirir. Kaybolan eğimler riskini ortadan kaldırarak, kalan bağlantılar ağın daha derin mimarileri kullanmasına ve böylece daha soyut ve hiyerarşik özellikler çıkarmasına olanak tanır. Bu, ağ hem derinlikten hem de etkili eğim yayılımından faydalandığı için sınıflandırma, nesne tanıma ve regresyon dahil olmak üzere çok çeşitli görevler için performansta önemli iyileştirmelerle sonuçlanır.

Birlikte, dikkat mekanizmalarının ve kalan yapıların bir CNN modeli içinde bütünleştirilmesi, modelin genel performansını ve sağlamlığını önemli ölçüde artıran sinerjik bir etki yaratır. Dikkat mekanizmaları, modelin en alakalı bilgileri önceliklendirmesini sağlarken, kalan yapılar optimizasyon zorluklarını ele alarak daha derin mimarilerin etkili bir şekilde eğitilmesini sağlar. Diyagramlar gibi görsel yardımcıların

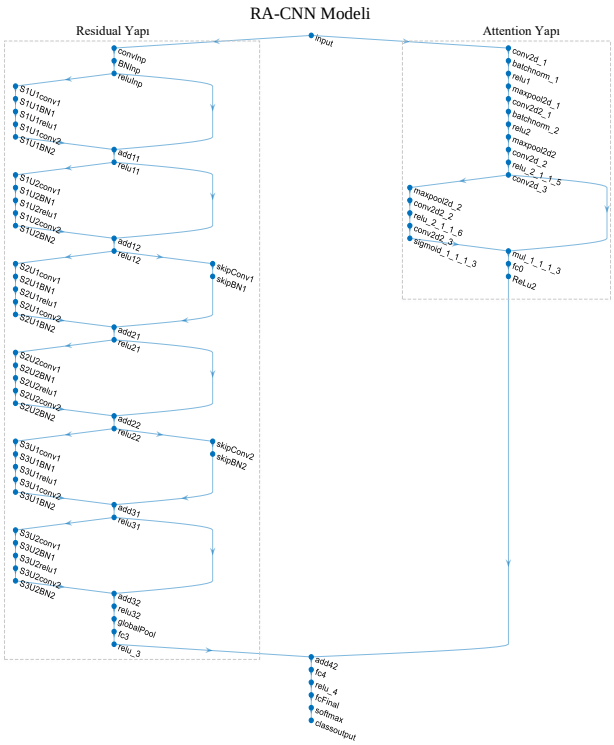
yanı sıra daha ayrıntılı bir metinsel açıklama, bu iki bileşenin nasıl etkileşime girdiğini ve modelin karmaşık verileri işleme yeteneğini geliştirmeye nasıl katkıda bulunduğunu açıklayabilir. Bu bütünsel yaklaşım, yalnızca metodolojiyi açıklığa kavuşturmakla kalmaz, aynı zamanda okuyucuların bu mimari geliştirmelerin bireysel ve birleşik faydalarını anlamalarına yardımcı olur.

Paralel olarak eğitilen bir Evrişimsel Sinir Ağı (CNN) modelinde kalıntı ve dikkat yapılarını birleştirmek, her iki mimarinin güçlü yanlarından aynı anda yararlanarak güçlü bir avantaj sunar. Kalıntı bağlantılar, derin ağlar boyunca eğimlerin etkili bir şekilde yayılmasını sağlayarak daha kolay optimizasyonu kolaylaştırır ve kaybolan eğim sorununu hafifletirken, dikkat mekanizmaları modelin ilgili özelliklere dinamik olarak odaklanmasına olanak tanır ve uzun menzilli bağımlılıkları ve ince ayrıntılı ayrıntıları yakalama yeteneğini artırır. Bu yapıları paralel olarak eğiterek, model tamamlayıcı bilgileri sinerjik olarak kullanabilir ve bu da özellikle karmaşık özellik çıkarma ve anlama gerektiren görevlerde gelişmiş performansla sonuçlanabilir.

Önerilen yaklaşımın ikinci adımında tasarlanan Residual Attention CNN (RA-CNN) modeli ile eğitim yapılmıştır. Önerilen RA-CNN modelinin ayrıntılı katman yapısı Şekil 3'te verilmiştir. Eğitilen RA-CNN modelinin tam bağlı katmanından derin özellikler çıkarılmıştır. Daha sonra çıkarılmış özellikler makine öğrenmesinde popüler sınıflandırıcı algoritmaları kullanılmıştır.



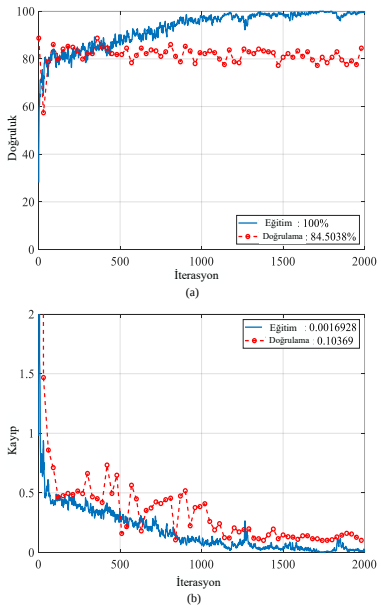
Şekil 2. Önerilen yaklaşımın temsili gösterimi



Şekil 3. RA-CNN modeli katman yapısı

III. BULGULAR

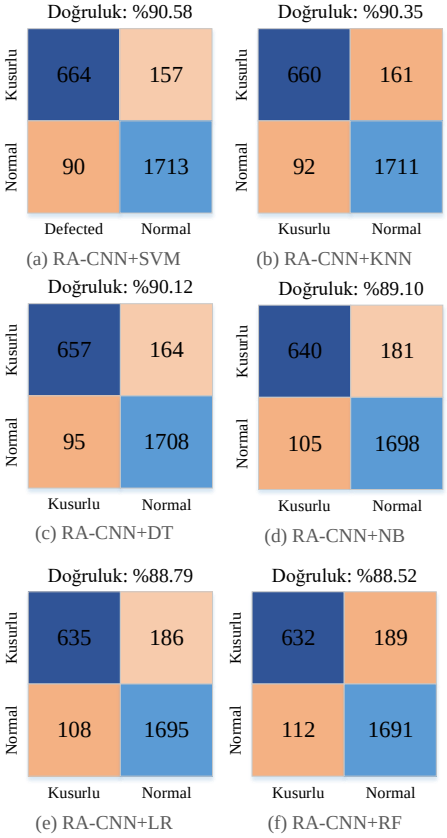
Deneyler için I9 Intel işlemcili, 64 GB DDR5 bellekli, RTX 4090 24 GB GDDR6 ekran kartı belleğine sahip ve Windows 11 işletim sistemine sahip bir masaüstü bilgisayar kullanıldı. Tasarlanan tüm CNN tabanlı modellerin kodlamaları MATLAB program ortamında test edildi. CNN tabanlı modelin eğitim aşamasında, başlangıç öğrenme oranı (0,001), dönem sayısı (50), mini-parti sayısı (64) ve doğrulama sıklığı (30) ayarlandı. Diğer tüm parametreler MATLAB programındaki eğitim seçeneği ayarlarında varsayılan olarak bırakıldı. SGDM, çoğu derin öğrenme modelinde iyi sonuçlar verdiği için optimizasyon çözücüsü olarak seçildi. RA-CNN modelinin eğitim ve doğrulama değişim grafiği Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. RA-CNN modelinin eğitim-doğrulama sürecinde doğruluk ve kayıp değişimi

İkili sınıflandırma için, Şekil 4, 2000 yineleme eğitim süreci boyunca RA-CNN modelinin eğitim ve doğrulama doğruluklarını (Şekil 4(a)) ve kayıplarını (Şekil 4(b)) göstermektedir. Şekil 5(a)'dan görülebileceği gibi, eğitim sürecinin sonunda eğitim doğruluğu %100 ve doğrulama doğruluğu %84.5 olmuştur. Şekil 4(b)'den görülebileceği gibi, eğitim kaybı 0.103 ve doğrulama kaybı 0.02 olmuştur.

Şekil 5'te Support Vector Machine (SVM), K-Nearest Neighbor (KNN), Decision Tree (DT), Naïve Bayes (NB), Logistic Regression (LR) ve Random Forest (RF) sınıflandırıcıları RA-CNN modelinden çıkarılan özellikler üzerinde denenmiştir. En iyi performans %90.38 SVM algoritması ile elde edilmiştir. En kötü performansı RF algoritması vermiştir. Ayrıca Şekil 5'teki konfüzyon matrisi değerleri kullanılarak Tablo 1'deki performans metrik değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 5. RA-CNN modelinin sınıflandırma algoritmaları ile performans sonuçları

Tablo 1. RA-CNN modelinin sınıflandırma algoritmaları ile performans metrik sonuçları

Model	**Duyarlılık**	**Özgüllük**	**Kesinlik**	**F1-Skoru**
RA-CNN+SVM	0.8806	0.8088	0.8088	0.8431
RA-CNN+KNN	0.8777	0.8039	0.8039	0.8393
RA-CNN+DT	0.8737	0.8002	0.8002	0.8353
RA-CNN+NB	0.8591	0.7795	0.7795	0.8173
RA-CNN+LR	0.8546	0.7734	0.7734	0.812
RA-CNN+RF	0.8495	0.7698	0.7698	0.8068

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada elektrolüminesans görüntülerden güneş enerji panelleri yüzeyindeki hatalar tespit edilmeye çalışılmıştır. Bunun için RA-CNN modeli tasarlanmıştır ve eğitilmiştir. Eğitilen RA-CNN modelinin tam bağlı katmanından derin özellikler çıkarılmıştır. Sınıflandırma performansını artırmak için makine öğrenmesinde popüler altı farklı sınıflandırıcı kullanılmıştır. Bu sınıflandırıcılar içerisinde en iyi

performansı %90.58 ile SVM algoritması vermiştir. En kötü performans ise %88.52 ile RF algoritması elde edilmiştir. Bu performans değerleri otomatik hata tespiti için umut verici olsa da ileri ki dönemlerde geliştirilmeye açıktır. Özellikle daha fazla sınıflı ve örneğe sahip veri setleri üzerinde son zamanlarda popüler olan transformer tabanlı gibi modellerle sınıflandırma performansı geliştirilebilir.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması Fırat Üniversitesi Ekobilişim ABD bünyesinde Doç. Dr. Fatih Demir danışmanlığında yürütülen "Güneş Enerji Sistemlerindeki Fotovoltaik Hücre Çatlaklarının Elektrolüminesans Görüntüler Üzerinden Makine Öğrenmesi Tabanlı Yaklaşımlarla Tespiti ve Sınıflandırılması" başlıklı yüksek lisans tezi kapsamında yapılmıştır.

KAYNAKLAR

[1] W. Tang, Q. Yang, K. Xiong, and W. Yan, "Deep learning based automatic defect identification of photovoltaic module using electroluminescence images," *Sol. Energy*, vol. 201, pp. 453–460, 2020.

[2] U. Jahn *et al.*, *Review on infrared and electroluminescence imaging for PV field applications*. 2018.

[3] M. Köntges *et al.*, "Review of failures of photovoltaic modules," 2014.

[4] V. E. Puranik, R. Kumar, and R. Gupta, "Progress in module level quantitative electroluminescence imaging of crystalline silicon PV module: A review," *Sol. Energy*, vol. 264, p. 111994, 2023.

[5] S. Deitsch *et al.*, "Automatic classification of defective photovoltaic module cells in electroluminescence images," *Sol. Energy*, vol. 185, pp. 455–468, 2019.

[6] K. G. Bedrich *et al.*, "Quantitative electroluminescence imaging analysis for performance estimation of PID-influenced PV modules," *IEEE J. Photovoltaics*, vol. 8, no. 5, pp. 1281–1288, 2018.

[7] D.-M. Tsai, S.-C. Wu, and W.-C. Li, "Defect detection of solar cells in electroluminescence images using Fourier image reconstruction," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 99, pp. 250–262, 2012.

[8] X. Chen, T. Karin, and A. Jain, "Automated defect identification in electroluminescence images of solar modules," *Sol. Energy*, vol. 242, pp. 20–29, 2022.

[9] R. Pierdicca, E. S. Malinverni, F. Piccinini, M. Paolanti, A. Felicetti, and P. Zingaretti, "Deep convolutional neural network for automatic detection of damaged photovoltaic cells," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 42, pp. 893–900, 2018.

[10] A. Bartler, L. Mauch, B. Yang, M. Reuter, and L. Stoicescu, "Automated detection of solar cell defects with deep learning," in *2018 26th European signal processing conference (EUSIPCO)*, IEEE, 2018, pp. 2035–2039.

[11] J. Balzategui *et al.*, "Semi-automatic quality inspection of solar cell based on Convolutional Neural Networks," in *2019 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, IEEE, 2019, pp. 529–535.

[12] A. M. Karimi, J. S. Fada, J. Liu, J. L. Braid, M. Koyutürk, and R. H. French, "Feature extraction, supervised and unsupervised machine learning classification of PV cell electroluminescence images," in *2018 IEEE 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC)(A Joint Conference of 45th IEEE PVSC, 28th PVSEC & 34th EU PVSEC)*, IEEE, 2018, pp. 418–424.

[13] U. Otamendi, I. Martinez, M. Quartulli, I. G. Olaizola, E. Viles, and W. Cambarau, "Segmentation of cell-level anomalies in electroluminescence images of photovoltaic modules," *Sol. Energy*, vol. 220, pp. 914–926, 2021.

[14] A. M. Karimi *et al.*, "Automated Pipeline for Photovoltaic Module Electroluminescence Image Processing and Degradation Feature Classification," *IEEE J. Photovoltaics*, vol. 9, no. 5, pp. 1324–1335, 2019, doi: 10.1109/JPHOTOV.2019.2920732.

[15] A. Korovin *et al.*, "Anomaly detection in electroluminescence images of heterojunction solar cells," *Sol. Energy*, vol. 259, pp. 130–136, 2023.

[16] W. Tang, Q. Yang, and W. Yan, "Deep learning based model for Defect Detection of Mono-Crystalline-Si Solar PV Module Cells in Electroluminescence Images Using Data Augmentation," in *2019 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, IEEE, 2019, pp. 1–5.

[17] K.-M. Lin, H.-H. Lin, and Y.-T. Lin, "Development of a CNN-based hierarchical inspection system for detecting defects on electroluminescence images of single-crystal silicon photovoltaic modules," *Mater. Today Commun.*, vol. 31, p. 103796, 2022.

[18] C. Buerhop-Lutz *et al.*, "A benchmark for visual identification of defective solar cells in electroluminescence imagery,"

in *35th European PV Solar Energy Conference and Exhibition*, 2018, pp. 1287–1289.

[19] M. W. Akram *et al.*, "CNN based automatic detection of photovoltaic cell defects in electroluminescence images," *Energy*, vol. 189, p. 116319, 2019.

[20] M. Y. Demirci, N. Beşli, and A. Gümüşçü, "Efficient deep feature extraction and classification for identifying defective photovoltaic module cells in Electroluminescence images," *Expert Syst. Appl.*, vol. 175, p. 114810, 2021.

[21] J. Fu *et al.*, "Dual attention network for scene segmentation," in *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*, 2019, pp. 3146–3154.

[22] S. Woo, J. Park, J.-Y. Lee, and I. S. Kweon, "Cbam: Convolutional block attention module," in *Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV)*, 2018, pp. 3–19.

[23] X. Zhang, Z. Li, C. Change Loy, and D. Lin, "Polynet: A pursuit of structural diversity in very deep networks," in *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2017, pp. 718–726.

[24] G. Huang, Z. Liu, L. Van Der Maaten, and K. Q. Weinberger, "Densely connected convolutional networks," in *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2017, pp. 4700–4708.

[25] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep residual learning for image recognition," in *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2016, pp. 770–778.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Nanofiber Production and Use with Electrospinning Technique

Ayşenur TAN[1], Mehmet Hakan ÇOLPAN[2], Murat YILDIRIM[1,*]

[1]*Department of Biotechnology, Faculty of Science, Selcuk University, 42130, Konya, Türkiye*
[2]*Deparment of Property Protectıon and Securıty, Kadınhanı Faik İçil Vocatıonal School Selcuk University, 42800, Konya, Türkiye*

[*]*muratyildirim@selcuk.edu.tr (Corresponding author)*

Abstract – Nanofibers (nanofibers) are nanometer (10^{-9} m) sized fibers, one thousandth the thickness of a human hair. Research in the field of nanotechnology is focused on discovering new properties of these materials. There are many different fields of study. Nanofibers with superior properties such as high surface area/volume ratio and aspect ratio are used in many fields such as filtration, tissue engineering, drug delivery, diagnostics, protective clothing and sensors. Thermal protection, biological protection, chemical protection and magnetic protection in protective materials; drug delivery, wound dressing and implant materials in the medical field; solar cells, fuel cells, polymer cells and batteries in energy; air and pollen filters, sound insulation, composite materials in the automotive sector; micro-greenhouses, vegetation and agricultural protection in agriculture; photocatalysts in the environment; air filtration, oil filtration, fuel filtration and liquid filtration in filtration; and performance textiles, windproof, waterproof, highly breathable and antibacterial properties in textiles. Electrospun polymer nanofibers (EPNFs) are among the most important nanomaterials in this field. The widespread applicability of nanofibers offers innovative solutions to problems in fields such as energy, biomedicine, medicine and the environment. Moreover, ZnO nanoparticles have various applications in many industries such as rubber, pharmaceuticals, cosmetics, textiles, optoelectronics and agriculture, while Mo/Cu nanoparticles, for example, are used in photocatalysts for the breakdown of organic pollutants to reduce environmental pollution and Boron-doped hydroxyapatite nanoparticles are used in biomedical fields, especially in bone tissue engineering.

Keywords – Electrospinning, Nanofiber, filtration, ZnO, Nanoparticle

I. INTRODUCTION

Electrospinning is a versatile and applicable method for the production of ultrafine nanofibers[1]. Polymers such as PGA, PLGA, PEVA, PVC, silk, chitosan, gelatin, cellulose, collagen, etc. can be used in electrospinning[2].It is used in areas such as drug release, tissue engineering, wound dressing/connection, cosmetics, cells and batteries, protective clothing, sensors, toxic waste removal, filtration[3].

Especially for use as sensors, but also in all other applications where interaction with the environment occurs, nanofiber materials are advantageous due to their large specific surface area. An interesting material for electrospinning is the semiconductor zinc oxide (ZnO), which is often used in photoelectric or sensory applications [4]. For different nanomaterials, additional properties such as mechanical strength, corrosion protection, selective absorption, low dielectric constant, improved thermal conductivity, photocatalytic activity, antibacterial activity, energy storage efficiency, more flexible structure, superhydrophobicity or superhydrophilicity, self-cleaning and enhancing biomolecule/drug functions as biomolecules or drug carriers have also been identified [5]-[6]. Today, nanofiber membranes are used in different applications

such as water desalination, water and wastewater treatment, membrane separation, oil/water separation. Nanofibers show high quality performance in separation or water treatment thanks to their selectivity and flexibility. Nanofibers obtained by electrospinning method are frequently used in water filtration as they have the ability to separate and degrade unwanted particles in wastewater at the same time. Nanofiber-based filters can easily separate particles of 3-10 micrometers in size from water without any decrease in flow rate. Nanofibers are also used for the removal of toxic ions and organic pollutants in water by physisorption, chemisorption and electrostatic attraction [7]-[8]. Recently, nanotechnology has been used to produce a new generation of nanoproducts with very different properties. One of the most important nanotechnology products developed is the nanosensor: it offers a fast, economical and reliable measurement and enables the production of nanometer-thin materials by electrical field attraction, so it can also be produced by electrospinning. With this method, which is used in many application areas including food, functional nanoscale sensors with new properties can be designed. Nanosensors can reduce the rate of foodborne poisoning by increasing food safety while providing quality control of the foods purchased by consumers [9].

II. Materials and Method

In the working principle of the device, firstly, the polymer solution in the syringe is sent to the feed end with the syringe pump. Meanwhile, an electric field is created with a high-voltage power supply connected to the feed end. If the voltage applied by the power supply is increased, the shape of the liquid at the syringe tip changes as the electrical forces will struggle with the viscoelastic forces of the solution at the feed end [10].

As soon as these forces are equalized, the liquid at the syringe tip turns into a conical shape defined as a Taylor cone. The voltage at the moment of this conical shape is called the critical voltage and this voltage causes a jet to form at the feed end. Meanwhile, the polymer solution goes through a kink instability and the solvent in the solution evaporates. As a result, the diameters of the particles moving towards the collector are reduced to micro- or nano-sizes and thus products with the desired properties are developed [11]-[12].

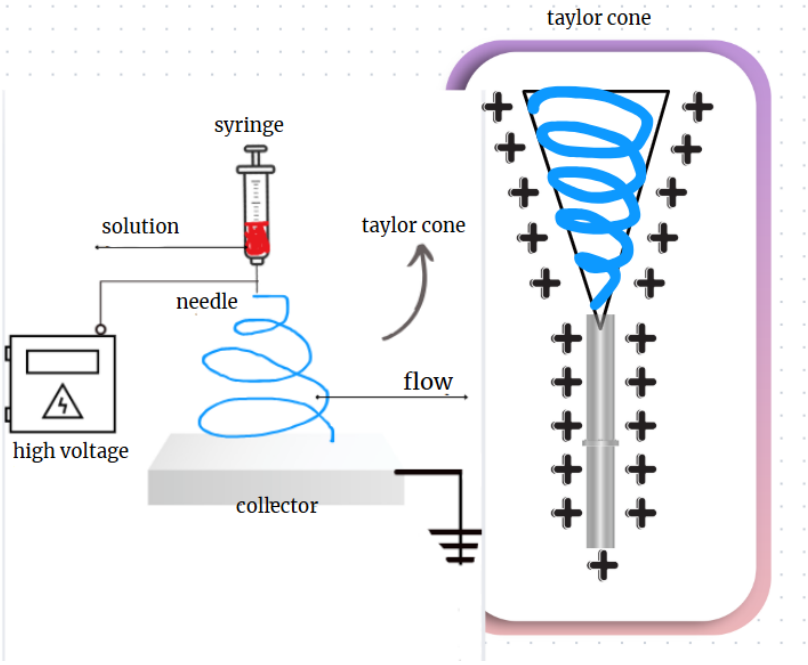


Figure1. Working principle of the electrospinning device

III. RESULTS

It is very easy to obtain nanofibers from polymers by electrospinning technique. This advantage offers the ease of use of nanofiber in many fields. Electrospinning technology has a wide range of applications from biomedical engineering to energy storage. In this wide range, it draws attention with its features such as high surface area, porosity and mechanical strength.

IV. DISCUSSION

Electrospinning is an innovative and effective method for nanofiber (nanofiber) production. This technique allows ultra-fine fibers to be obtained from polymer solutions or melts with the help of electrical forces. Nanofibers have a wide range of applications in many fields such as biomedical engineering, filtration, energy storage and textiles thanks to their properties such as high surface area, porosity and mechanical strength.

V. CONCLUSION

Polymer nanofibers produced by electrospinning have a significant potential in many industrial and technological fields thanks to their superior properties, ease of production and wide range of applications.

These nanofibers offer innovative solutions in areas such as energy, environment, health, textiles and agriculture, and attract attention thanks to their delicate structure, high surface area, biocompatibility and porous morphology. From increasing the mechanical strength of carbon composites to the development of protective textile surfaces, these structures provide effective results in many applications and offer significant advantages in areas such as filtration, water treatment, food quality control and sensor technologies. They can also be used effectively in drug delivery systems, tissue engineering scaffolds, wound dressings and diagnostic processes. This versatile structure of nanofibers offers a wide range of uses in both industrial and biomedical fields, enabling the development of more advanced and sustainable technologies in the future.

REFERENCES

[1] F. Altintaş *et al.*, "Nanofiberler ile Filtrasyon," *Res. J. Biomed. Biotechnol.*, vol. 4, pp. 1–11, 2023, [Online]. Available: www.dergipark.org.tr/rjbb

[2] C. Elmalı, D. S. Çirkin, M. Uzun, and E. Şahin, "Elektro Çekim Yöntemi ile Çörek Otu ve Yün Yağı Takviyeli Yara Örtüsü Geliştirilmesi," *Marmara Univ.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–14, Apr. 2020, doi: 10.35333/porta.2020.208.

[3] A. Nadaf *et al.*, "Recent update on electrospinning and electrospun nanofibers: current trends and their applications," *RSC Adv.*, vol. 12, no. 37, pp. 23808–23828, 2022, doi: 10.1039/D2RA02864F.

[4] T. Blachowicz and A. Ehrmann, "Recent developments in electrospun ZnO nanofibers: A short review," *J. Eng. Fiber. Fabr.*, vol. 15, Jan. 2020, doi: 10.1177/1558925019899682.

[5] Z. Sun *et al.*, "Experimental and simulation-based understanding of morphology controlled barium titanate nanoparticles under co-adsorption of surfactants," *CrystEngComm*, vol. 19, no. 24, pp. 3288–3298, 2017, doi: 10.1039/C7CE00279C.

[6] Z. Wu *et al.*, "Electrically Insulated Epoxy Nanocomposites Reinforced with Synergistic Core–Shell SiO 2 @MWCNTs and Montmorillonite Bifillers," *Macromol. Chem. Phys.*, vol. 218, no. 23, Dec. 2017, doi: 10.1002/macp.201700357.

[7] M. Toriello, M. Afsari, H. Shon, and L. Tijing, "Progress on the Fabrication and Application of Electrospun Nanofiber Composites," *Membranes (Basel).*, vol. 10, no. 9, p. 204, Aug. 2020, doi: 10.3390/membranes10090204.

[8] L. Veeramuthu *et al.*, "Conjugated Copolymers through Electrospinning Synthetic Strategies and Their Versatile Applications in Sensing Environmental Toxicants, pH, Temperature, and Humidity," *Polymers (Basel).*, vol. 12, no. 3, p. 587, Mar. 2020, doi: 10.3390/polym12030587.

[9] T. V. Duncan, "Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 363, no. 1, pp. 1–24, Nov. 2011, doi: 10.1016/j.jcis.2011.07.017.

[10] Z. Chen, Z. Chen, A. Zhang, J. Hu, X. Wang, and Z. Yang, "Electrospun nanofibers for cancer diagnosis and therapy," *Biomater. Sci.*, vol. 4, no. 6, pp. 922–932, 2016, doi: 10.1039/C6BM00070C.

[11] F. E. Ahmed, B. S. Lalia, and R. Hashaikeh, "A review on electrospinning for membrane fabrication: Challenges and applications," *Desalination*, vol. 356, pp. 15–30, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.desal.2014.09.033.

[12] A. Khalf and S. V. Madihally, "Recent advances in multiaxial electrospinning for drug delivery," *Eur. J. Pharm. Biopharm.*, vol. 112, pp. 1–17, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.ejpb.2016.11.010.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Green Synthesis of Nanoparticles: The Role of Nanoparticles in Drug Delivery System

Elif Zülalnur VURDU[1], Mehmet Hakan ÇOLPAN[2], Murat YILDIRIM[1,*]

[1]*Department of Biotechnology, Faculty of Science, Selcuk University, 42130, Konya, Türkiye*
[2]*Deparment of Property Protectıon and Securıty, Kadınhanı Faik İçil Vocatıonal School Selcuk University, 42800, Konya, Türkiye*

[*]*muratyildirim@selcuk.edu.tr (Corresponding author)*

Abstract – Recently, there has been an increasing interest in nanotechnology. The versatile application areas and high demand have paved the way for innovative methods for the synthesis of high quality nanomaterials. In the early days, traditional synthesis methods were used and the pollution problem resulting from traditional synthesis methods revealed the need for safer synthesis methods. The green synthesis method, which has lower energy processes by avoiding toxic production methods and aiming to use materials of natural origin, has made the beginning of nanomaterial synthesis. Nanotechnology is mainly used in the fields of medicine and health, electronics and computer technologies, energy, environmental technologies, food, agriculture and textiles. In the field of medicine and health, it has been used mainly in drug delivery systems and has provided many revolutionary advantages in modern medicine. Basically; based on targeted therapy, the drug is delivered only to the diseased area, the drug is released slowly over time with its controlled release, and more therapeutic effect is achieved with less drug with low dose - high effect. It also has the advantage that healthy tissues are less affected. Chemotherapeutic agents used in cancer treatment often cause serious side effects, so controlled drug release systems are a promising area in cancer treatment and allow the development of targeted and effective treatment approaches. In this study, the effect of nanoparticles produced using green synthesis method on drug delivery system was reviewed and the methods of use were studied.

Keywords – Green synthesis, Nanoparticles, Drug delivery, Targeting

I. INTRODUCTION

Nanotechnology is the science of controlling matter at the molecular level. Nanotechnology encompasses many disciplines that aim to produce materials at the atomic and molecular levels with superior properties [1]. Nowadays, it is becoming an intensively researched and developed field in the biomedical sector due to its optimized controllable physicochemical and biological properties. Nanoparticles have shown promising applications as efficient carriers for various bioactive compounds [2]. Due to their small size and large surface area, nanoparticles can overcome biological barriers more effectively than conventional drug formulations. This advance is particularly important for the treatment of diseases such as cancer, where precision is key. Made from a variety of materials such as polymers, metals and lipids, nanoparticles enable a high level of customization to meet specific needs [3].

Naturally occurring biodegradable polymers are abundant in nature and are widely used in drug delivery due to their biodegradability, biocompatibility and low toxic effects. These include protein-based polymers such as albumin, gelatin, soy, collagen and polysaccharides such as chitosan, agarose, dextran, hyaluronic acid, alginate, carrageenan and cyclodextrin [4]. For example, chitosan nanoparticles have the

ability to interact with negatively charged cell membranes and improve drug transport efficiency. Likewise, hyaluronic acid-based nanoparticles have a great ability to load and deliver the drug, so they are preferred in targeted drug delivery for cancer therapy. Chen et al. demonstrated the possibility of using starch-based nanoparticles as anticancer drug delivery systems. Ching et al. demonstrated that curcumin encapsulated in cellulose nanoparticles can be used to deliver curcumin to the stomach and upper small intestine. Cellulose-based nanoparticles are particularly favored in the context of target specificity and persistence of therapeutic effects because the properties of nanoparticles can be easily modified to alter their chemical, mechanical and physical properties [3].

Targets and features of the targeted nanoscale drug delivery system

1. Increase the drug concentration in the tumor as follows:
   a) Passive targeting
   b) Active targeting
2. Reduce drug concentration in normal tissue
3. Improve pharmacokinetic and pharmacodynamic profiles
4. Increases drug solubility, allowing intravenous administration
5. Minimal drug release during transportation
6. Maximum drug release to the targeted area
7. Improve drug stability to reduce drug degradation
8. Improve internalization and intracellular transmission
9. Biocompatible and biodegradable [5].

II. Materials and Method

Passive and active targeting are strategies in which nanoparticles deliver drugs to the target site. Passive targeting is based on the EPR effect, which shows that nanoparticles can accumulate in tumor tissues due to vascular permeability. Active targeting is the process of conjugating ligands on the surface of nanoparticles anchored to the specific receptor overexpressed in target cells, thus increasing the selectivity and efficiency of the drug delivery system [3].

Passive Targeting: Nanocarriers are transported through leaky tumor capillaries into the tumor tissue network and cells by convection (movement of molecules in fluids) or passive diffusion.

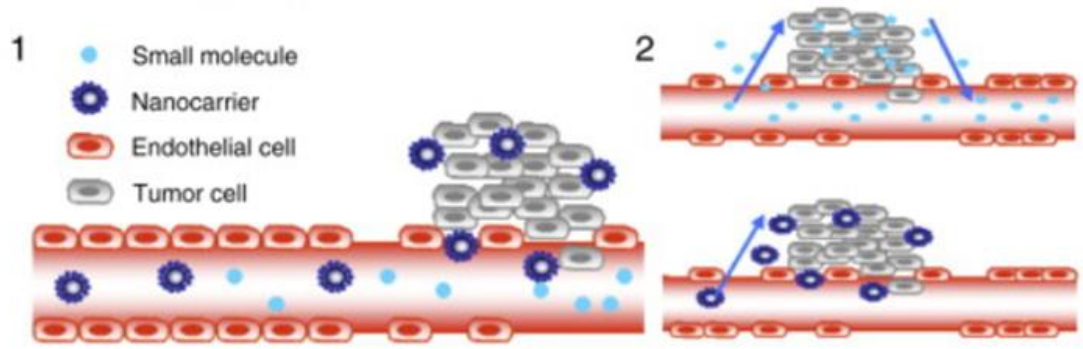


Figure 1. Passive Targeting with Nanocarriers 1) Nanocarriers selectively reach tumors through the leaky vessels surrounding tumors. 2) Drugs by themselves, due to their small size, freely enter and exit the tumor blood vessels and their effective concentration in the tumor decreases rapidly. Thus, drug-loaded nanocarriers cannot diffuse back into the bloodstream due to their large size, resulting in gradual accumulation: EPR effect.

The EPR effect is increasingly becoming the gold standard in cancer targeted drug design.

Active Targeting: In active targeting, targeting ligands attach or bind to the surface of the nanocarrier to bind to appropriate receptors expressed at the target site. The ligand is selected to bind to a receptor that is overexpressed by tumor cells and not expressed by normal cells.

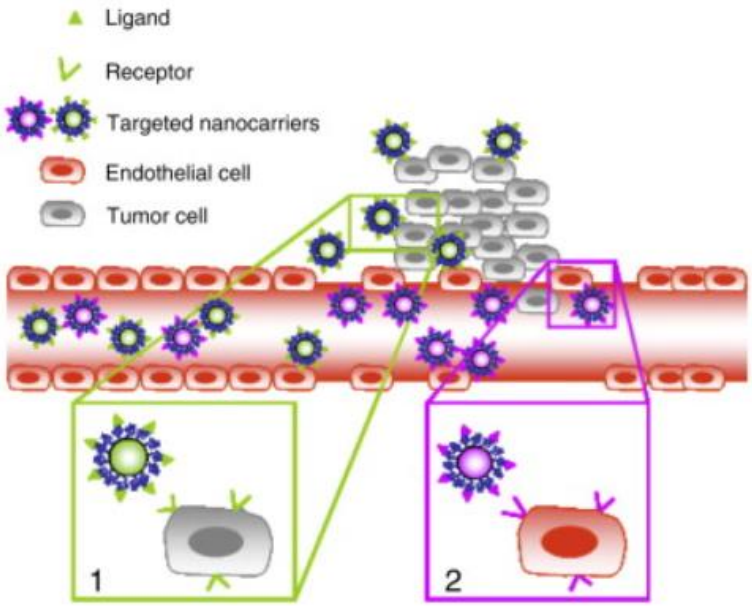


Figure 2. Active Targeting with Nanocarriers. Ligands bound to the surface of nanocarriers bind to receptors expressed by (1) cancer cells or (2) endothelial cells [5].

III. DISCUSSION

Nanocarriers can escape from the tumor vasculature through the leaky endothelial tissue surrounding the tumor and then accumulate in specific solid tumors by EPR action. This phenomenon is called "passive targeting". Target ligands attached to the surface of nanocarriers may function in specific delivery of the drug to specific tissues and cells. Among the various ligands, some target tumor endothelial cells while others target cancer cells themselves. This phenomenon is called "active targeting" [5].

IV. CONCLUSION

Drug delivery based on nanoparticles is one of the most revolutionary developments in the field of pharmacology. This review noted that nanoparticles have advantages such as better solubility, higher bioavailability and longer and more controlled release time of the drug to the target site, which can overcome the disadvantages of the conventional drug delivery system such as instability, rapid degradation and untargeted delivery. Future research should target various aspects such as improvements in NP formulations, identification of new materials and application of advanced technologies [3].

REFERENCES

[1] V. K. Linima, R. Ragunathan, and J. Johney, "Biofabrication of iron and silver nanoparticles using Desmodium triflorum and their antimicrobial activity in vitro," *Pharmacol. Res. - Nat. Prod.*, vol. 7, p. 100204, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.prenap.2025.100204.

[2] H. K. T. Ta *et al.*, "Development and characterization of magnetic-based biodegradable periodic mesoporous organosilica nanoparticles for enhanced biomedical applications," *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 142, pp. 563–569, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.jiec.2024.07.061.

[3] Z. Chenxi, A. Hemmat, N. Thi, and M. Afrand, "Nanoparticle-enhanced drug delivery systems: An up-to-date review," *J. Mol. Liq.*, vol. 424, p. 126999, Apr. 2025, doi: 10.1016/j.molliq.2025.126999.

[4] A. George, P. A. Shah, and P. S. Shrivastav, "Natural biodegradable polymers based nano-formulations for drug delivery: A review," *Int. J. Pharm.*, vol. 561, pp. 244–264, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.ijpharm.2019.03.011.

[5] F. Danhier, O. Feron, and V. Préat, "To exploit the tumor microenvironment: Passive and active tumor targeting of nanocarriers for anti-cancer drug delivery," *J. Control. Release*, vol. 148, no. 2, pp. 135–146, Dec. 2010, doi: 10.1016/j.jconrel.2010.08.027.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

ICSIS

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Determinants of Customers' Intention to Use Online Banking: An Extended Technology Acceptance Model Perspective in the Albanian Context

Migena PETANAJ[1], Lorena ÇAKËRRI[1]

[1]*Finance and Accounting/Faculty of Economy, University of Vlora 'Ismail Qemali, Albania*

migena.petanaj@univlora.edu.al

Abstract – In recent years, technological advancements have brought transformative changes to the banking sector, with Albania witnessing a rapid increase in the adoption of online banking services. This study introduces an extended conceptual framework grounded in the Technology Acceptance Model (TAM), enriched by the inclusion of the subjective norm construct. The primary objective is to explore the critical factors that shape customers' intentions to adopt online banking, offering insights into user behaviour in a digitally evolving financial environment. Data were collected from 150 Albanian customers and analysed using a Partial Least Squares Structural Equation Modelling (PLS-SEM) approach. The results indicate that perceived ease of use, perceived usefulness, and subjective norm all have a significant positive influence on the intention to use online banking. The results suggest that to increase online banking adoption, banks should focus on improving platform usability and perceived value while also leveraging social influence through targeted communication strategies.

Keywords – online banking, customers, TAM, Albania

I. INTRODUCTION

Advancements in internet services and technologies have significantly transformed the way most commercial and non-commercial systems are operated and managed, with banking services being no exception [1]. Among these sectors, banking has been particularly impacted due to its heavy reliance on technology for processing and delivering service information efficiently to users [2]. As key drivers of a country's economic development [2] banks have embraced electronic banking (e-banking) as one of the most transformative innovations. Online banking has effectively removed traditional constraints of time and location, allowing customers to access their accounts and conduct transactions virtually anytime and from anywhere through computers and internet connectivity ([3].

In Albania, internet banking ranks second as a payment instrument in terms of the total number of transactions. The rapid growth in the use of remote banking services (home banking) reflects a greater public familiarity with this instrument, as well as efforts by the banking system to promote it. The number of payments made through mobile banking reached 3.1 million transactions. Electronic money payments within the banking system increased during 2023; however, their total value remains at low levels [4].

This study explores and empirically analyses the key factors that influence Albanian customers' behavioural intention and actual adoption of online banking services. It offers valuable insights by revealing the core elements considered by Albanian banking clients when deciding whether to adopt or avoid e-

banking. Consequently, the findings can guide bank managers in effectively designing and promoting e-banking as a self-service technology.

II. LITERATURE REVIEW

Understanding and forecasting customer intentions and the adoption of internet banking have become a central theme in recent research worldwide. This topic has experienced significant expansion in the academic literature concerning online banking channels [5].

In the field of information systems, various theoretical frameworks with distinct constructs have been developed to explain how individuals accept and use new technologies. Notable among these are the Theory of Reasoned Action (TRA) [6], the Theory of Planned Behaviour (TPB)[7], the Technology Acceptance Model (TAM) [8], and the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT) [9].

The original TAM proposed that two constructs—perceived usefulness (PU) and perceived ease of use (PEOU)—are primary determinants of an individual's behavioural intention (BI) to use an information technology (IT) [8]. Building on this foundation, TAM has been applied in various e-business contexts and has shown considerable reliability in predicting user acceptance of new Information Technology solutions, such as electronic commerce, online banking [10] and online shopping [11].

This study aims to investigate the key factors influencing customers' intention to use online banking in Albania by applying an extended Technology Acceptance Model (TAM). To enhance the model's explanatory power and provide a more holistic understanding of behavioural intention, the construct of subjective norm has been incorporated alongside the core TAM variables. Specifically, the study examines how perceived ease of use, perceived usefulness, and subjective norms affect the intention to adopt online banking services. Data were collected from 150 Albanian customers and analysed using Partial Least Squares Structural Equation Modelling (PLS-SEM), offering insights into the underlying determinants that drive online banking adoption in the Albanian context. The revised research model is presented in Figure 1.

Hypotheses and Conceptual Framework

Perceived ease of use (PEOU) refers to the extent to which customers feel confident that online banking services are easy to use [12]. In the field of banking technology, this concept is closely related to effort expectancy, which reflects the perceived ease or difficulty of using a system. Effort expectancy includes dimensions such as simplicity, perceived complexity, and the overall ease of understanding and using the new technology [13].

It has been demonstrated that self-confidence in managing technical systems plays a vital role, directly influencing the intention to use them [14]. Supporting this, [15], in their study on the factors influencing the acceptance and use of mobile payment systems in India, found that effort expectancy positively impacts users' intention to adopt such services. Similarly, [16] developed a framework to examine the relationship between effort expectancy and behavioural intention to adopt FinTech services, confirming a strong and positive correlation. In line with these findings, [17] also reported similar results. Based on the above arguments, we formulate the following hypothesis:

H1: Perceived ease of use significantly and positively impacts consumers' behavioural intention toward online banking services.

Subjective norm (SN) refers to the degree to which individuals perceive that people important to them—such as family, friends, colleagues, media, and social media influencers—think they should use a specific technology [18]. This social influence plays a crucial role in shaping user perceptions and behaviour.

Previous studies have provided empirical evidence supporting the influence of the subjective norm (SN) on technology adoption across various contexts [19]. Moreover, several empirical investigations have highlighted the strong association between social influence and users' behavioural intention to adopt financial technology (FinTech) services. For instance, [20], in a survey conducted in China found that social influence significantly predicts users' intention to use FinTech services. Experimental studies by [21] and [22] also, confirm that social influence is a key factor positively affecting customers' intention to use online banking. Furthermore, recent research by [23] demonstrates that when influential individuals endorse new technologies, customers are more inclined to accept and adopt them. Based on the above arguments, we formulate the following hypothesis:

H2: Subjective norm significantly and positively impacts consumers' behavioural intention toward online banking services.

Perceived usefulness (PU) is defined as "the degree to which the use of a technology will provide benefits to consumers in carrying out certain activities" [24]. In the context of e-banking, PU is recognised as a critical factor influencing users' behavioural intention to adopt such services [25]. It plays a significant role in customers' acceptance of online banking options [26]. For instance, e-banking offers distinct advantages not available through traditional banking channels, such as 24/7 access to services from any location [27] . Recent studies examining the determinants of online banking adoption consistently highlight the positive impact of PU on customers' intention to use these services [18], [28]. Based on the above arguments, we formulate the following hypothesis:

H3: Perceived usefulness significantly and positively impacts consumers' behavioural intention toward online banking services.

Figure 1 presents a summary of the hypotheses underpinning the proposed framework model

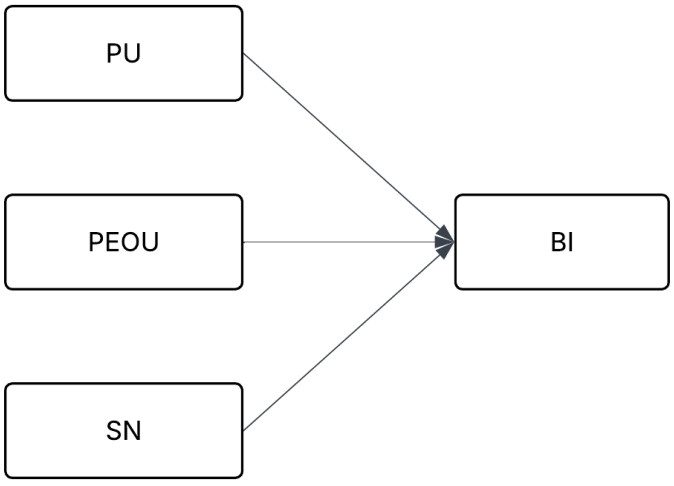


Figure 1. Proposed framework model

III. MATERIALS AND METHOD

A structured, web-based questionnaire was developed using Google Docs, incorporating a five-point Likert scale ranging from strongly disagree (1) to strongly agree (5). The questionnaire link was disseminated via

online platforms, including Facebook, LinkedIn, and WhatsApp groups, to ensure broad reach and accessibility. The data collection yielded a final sample of 160 respondents.

This study employs PLS-SEM to analyse the data. PLS-SEM is a statistical technique used to assess complex relationships between variables. It has been widely applied in recent studies involving the Technology Acceptance Model (TAM), the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT), and its extension, UTAUT2, particularly in the field of e-banking.

To estimate the proposed framework model, Smartpls version 3.2.9 was utilised. The PLS-SEM analysis was conducted in two stages. The first stage involved the evaluation of the measurement model, while the second stage focused on the structural model [29].

The statistics used to assess the measurement model include average variance extracted (AVE), composite reliability (CR), and factor loadings. All factor loadings should exceed 0.70. Additionally, to demonstrate a high level of internal consistency for the latent constructs, composite reliability values should be greater than 0.60 [30]. Furthermore, to confirm convergent validity, AVE values must exceed 0.50.

After the reliability and validity of the measurement model are determined, the structural model is evaluated. This involves examining the path coefficients and their significance to assess the hypothesised relationships within the model. The explanatory power of the model is measured using the R^2 value [31].

IV. RESULTS

The sample comprises 51.2% female and 48.8% male respondents, indicating a relatively balanced gender distribution. Analysis of the age and educational qualification variables reveals that the sample predominantly consists of young individuals, with approximately 37.2% of respondents aged below 25 years. Furthermore, 42% of participants reported holding a bachelor's degree.

An analysis of table 1 indicates that all indicator loadings exceed the recommended threshold of 0.70, ranging from 0.815 to 0.940. The Composite Reliability (CR) values fall within the acceptable range of 0.895 to 0.926, and the Average Variance Extracted (AVE) values for each construct range from 0.741 to 0.856. These results provide strong evidence that the constructs satisfy the recommended criteria for both reliability and convergent validity.

Table 1. Statistics of the measurement model

Constructs and indicators	Outer loadings	CR	AVE
Behavioural intention (BI)		0.926	0.807
BI1	0.891		
BI2	0.821		
BI3	0.815		
Subjective norm (SN)		0.923	0.746
SN1	0.854		
SN2	0.883		
SN3	0.855		
Perceived ease of use (PEOU)		0.895	0.856
PEOU1	0.940		
PEOU2	0.910		
PEOU3	0.902		
Perceived usefulness (PU)		0.896	0.741
PU1	0.901		
PU2	0.831		

The latent constructs included in the proposed framework account for 62.6% (R^2) of the variance in behavioural intention to use online banking.

As reported in Table 2, all estimated path coefficients were statistically significant at. Specifically, Perceived Usefulness (PU) exhibited a positive and significant effect on BI ($\beta = 0.324$, $t = 2.920$, $p < .05$), as did PEOU ($\beta = 0.304$, $t = 2.519$, $p < .05$), and SN ($\beta = 0.278$, $t = 3.907$, $p < .05$). These results provide robust support for hypotheses H1, H2, and H3, confirming the hypothesised positive relationships. Figure 2 presents the model along with the path coefficient values.

Table 2. Estimated path coefficients of the structural model

Hypothesis	Path coefficients	P-Values	T- statistic
SN → BI	0.278	0.012	3.907
PU → BI	0.324	0.004	2.920
PEOU → BI	0.304	0.000	2.519

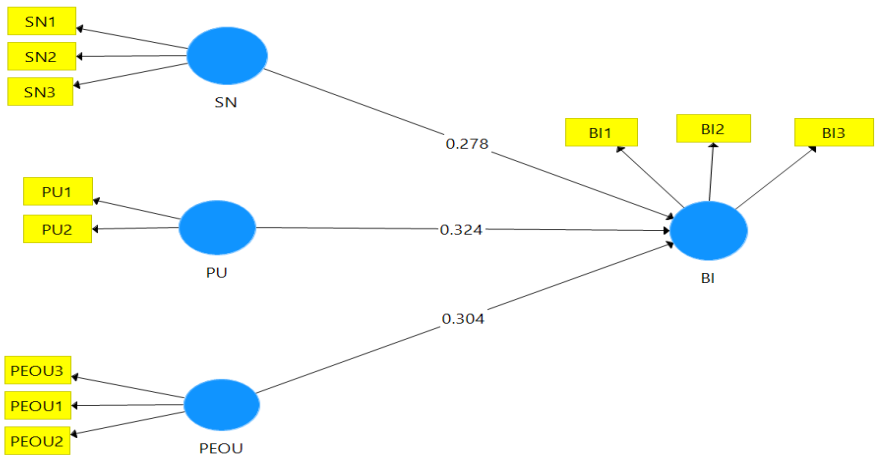


Figure 2. Proposed model with the results of the path coefficient value.

V. CONCLUSIONS

The findings of this study reveal that perceived ease of use, perceived usefulness, and subjective norm significantly and positively influence individuals' intention to adopt online banking. From a managerial perspective, banks should focus on enhancing the user-friendliness and practical value of their digital platforms while leveraging social influence through targeted marketing strategies such as peer testimonials and referral programmes. Academically, these results underscore the importance of integrating constructs from both TAM and UTAUT models in understanding technology adoption, encouraging further research on moderating variables such as age and digital literacy, as well as cross-cultural comparisons.

REFERENCES

[1] R. Priya, A. V. Gandhi, and A. Shaikh, "Mobile banking adoption in an emerging economy: An empirical analysis of young Indian consumers," *Benchmarking*, vol. 25, no. 2, 2018, doi: 10.1108/BIJ-01-2016-0009.

[2] E. H. Abualsauod and A. M. Othman, "A study of the effects of online banking quality gaps on customers' perception in Saudi Arabia," *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, vol. 32, no. 8, pp. 536–542, Dec. 2020, doi: 10.1016/J.JKSUES.2019.09.001.

[3] Y. Y. Shih and K. Fang, "The use of a decomposed theory of planned behavior to study Internet banking in Taiwan," *Internet Research*, vol. 14, no. 3, 2004, doi: 10.1108/10662240410542643.

[4] Bank of Albania, "Annual Report," Tirane, Jul. 2024.

[5] M. Purwanegara, A. Apriningsih, and F. Andika, "Snapshot on Indonesia Regulation in Mobile Internet Banking Users Attitudes," *Procedia Soc Behav Sci*, vol. 115, pp. 147–155, Feb. 2014, doi: 10.1016/J.SBSPRO.2014.02.423.

[6] M. Fishbein and I. Ajzen, "Belief, Attitude, Intention, and Behaviour: An Introduction to Theory and Research," *Addison-Wesley Publishing Company*, 1975.

[7] I. Ajzen, "Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. Organizational Behavior and Human Decision Processes, 50(2), 179–211. doi:10.1016/0749-5978(91)90020-TThe theory of planned behavior," *Organ Behav Hum Decis Process*, vol. 50, no. 2, 1991.

[8] F. D. Davis, "Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology," *MIS Q*, vol. 13, no. 3, 1989, doi: 10.2307/249008.

[9] V. Venkatesh, M. G. Morris, G. B. Davis, and F. D. Davis, "User acceptance of information technology: Toward a unified view," *MIS Q*, vol. 27, no. 3, 2003, doi: 10.2307/30036540.

[10] P. A. Pavlou, "Consumer acceptance of electronic commerce: Integrating trust and risk with the technology acceptance model," *International Journal of Electronic Commerce*, vol. 7, no. 3, 2003, doi: 10.1080/10864415.2003.11044275.

[11] D. Gefen, "TAM or just plain habit: A look at experienced online shoppers," *Journal of End User Computing*, vol. 15, no. 3, 2003.

[12] H. Baber, "E-SERVQUAL and its impact on the performance of Islamic Banks in Malaysia from the customer's perspective," *Journal of Asian Finance, Economics and Business*, vol. 6, no. 1, 2019, doi: 10.13106/jafeb.2019.vol6.no1.169.

[13] A. H. T. Pham, D. X. Pham, E. I. Thalassinos, and A. H. Le, "The Application of Sem–Neural Network Method to Determine the Factors Affecting the Intention to Use Online Banking Services in Vietnam," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 10, 2022, doi: 10.3390/su14106021.

[14] M. Fridin and M. Belokopytov, "Acceptance of socially assistive humanoid robot by preschool and elementary school teachers," *Comput Human Behav*, vol. 33, 2014, doi: 10.1016/j.chb.2013.12.016.

[15] B. Gupta, S. Dasgupta, and A. Gupta, "Adoption of ICT in a government organization in a developing country: An empirical study," *The Journal of Strategic Information Systems*, vol. 17, no. 2, pp. 140–154, Jun. 2008, doi: 10.1016/J.JSIS.2007.12.004.

[16] P. K. Senyo and E. L. C. Osabutey, "Unearthing antecedents to financial inclusion through FinTech innovations," *Technovation*, vol. 98, p. 102155, Dec. 2020, doi: 10.1016/J.TECHNOVATION.2020.102155.

[17] A. C. Aseng, "Factors Influencing Generation Z Intention in Using FinTech Digital Payment Services," *CogITo Smart Journal*, vol. 6, no. 2, 2020, doi: 10.31154/cogito.v6i2.260.155-166.

[18] L. Cakerri, M. Petanaj, and R. Kosova, "Factors influencing intention to use e-banking: An integrated model approach," *International Journal Innovative Research and Scientific Studies*, vol. 8, no. 1, Jan. 2025.

[19] E. Moriuchi, V. M. Landers, D. Colton, and N. Hair, "Engagement with chatbots versus augmented reality interactive technology in e-commerce," *Journal of Strategic Marketing*, vol. 29, no. 5, 2021, doi: 10.1080/0965254X.2020.1740766.

[20] J. Xie, L. Ye, W. Huang, and M. Ye, "Understanding fintech platform adoption: Impacts of perceived value and perceived risk," *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, vol. 16, no. 5, 2021, doi: 10.3390/jtaer16050106.

[21] R. Yadav, S. K. Sharma, and A. Tarhini, "A multi-analytical approach to understand and predict the mobile commerce adoption," *Journal of Enterprise Information Management*, vol. 29, no. 2, 2016, doi: 10.1108/JEIM-04-2015-0034.

[22] A. M. Baabdullah, A. A. Alalwan, N. P. Rana, H. Kizgin, and P. Patil, "Consumer use of mobile banking (M-Banking) in Saudi Arabia: Towards an integrated model," *Int J Inf Manage*, vol. 44, pp. 38–52, Feb. 2019, doi: 10.1016/J.IJINFOMGT.2018.09.002.

[23] M. Farzin, M. Sadeghi, F. Yahyayi Kharkeshi, H. Ruholahpur, and M. Fattahi, "Extending UTAUT2 in M-banking adoption and actual use behavior: Does WOM communication matter?," *Asian Journal of Economics and Banking*, vol. 5, no. 2, 2021, doi: 10.1108/ajeb-10-2020-0085.

[24] S. Rahi, M. Mansour, and M. Alnaser, "Integration of UTAUT model in internet banking adoption context. The madiating role of performance expectancy and eefort expectancy," *Journal of Research in Interactive Marketing*, vol. 13, no. 3, pp. 411–435, Jul. 2019.

[25] R. F. Malaquias and Y. Hwang, "Mobile banking use: A comparative study with Brazilian and U.S. participants," *Int J Inf Manage*, vol. 44, 2019, doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2018.10.004.

[26] V. Venkatesh, J. Y. L. Thong, and X. Xu, "Consumer acceptance and use of information technology: Extending the unified theory of acceptance and use of technology," *MIS Q*, vol. 36, no. 1, 2012, doi: 10.2307/41410412.

[27] A. Shankar, C. Jebarajakirthy, and M. Ashaduzzaman, "How do electronic word of mouth practices contribute to mobile banking adoption?," *Journal of Retailing and Consumer Services*, vol. 52, 2020, doi: 10.1016/j.jretconser.2019.101920.

[28] R. Chan, I. Troshani, S. Rao Hill, and A. Hoffmann, "Towards an understanding of consumers' FinTech adoption: the case of Open Banking," *International Journal of Bank Marketing*, vol. 40, no. 4, 2022, doi: 10.1108/IJBM-08-2021-0397.

[29] J. F. Hair, J. J. Risher, M. Sarstedt, and C. M. Ringle, "When to use and how to report the results of PLS-SEM," 2019. doi: 10.1108/EBR-11-2018-0203.

[30] C. M. Ringle and M. Sarstedt, "Gain more insight from your PLS-SEM results," *Industrial Management & Data Systems*, vol. 116, no. 9, 2016, doi: 10.1108/imds-10-2015-0449.

[31] E. Xhafaj, D. H. Qendraj, and D. Salillari, "A novel hybrid procedure of PLS-SEM, ANN and fuzzy TOPSIS for online banking," *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, vol. 46, no. 2, 2024, doi: 10.3233/JIFS-235388.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Financial Literacy and Decision-Making in Albanian SMEs: Insights from a Qualitative Study

Lorena ÇAKËRRI [*], Migena PETANAJ [2]

[1]*Finance and Accounting/Faculty of Economy, University of Vlora 'Ismail Qemali, Albania*
[2]*Finance and Accounting/Faculty of Economy, University of Vlora 'Ismail Qemali, Albania*

[*]*(lorena@gmail.com)*

Abstract **–**As Albania advances its integration into global markets and undertakes reforms in its financial sector, small and medium-sized enterprises (SMEs) are increasingly challenged by the dynamics of a developing financial environment. This study explores how varying levels of financial literacy among business owners and managers influence critical areas of financial decision-making, including investment strategies, budgeting practices, access to finance, and long-term planning. Utilizing a qualitative research approach, data were collected through a structured questionnaire incorporating both open-ended and closed-ended questions. The questionnaire was distributed to 300 participants, specifically targeting business owners and administrators—individuals actively engaged in financial decision-making processes within their enterprises. The findings reveal that financial literacy significantly enhances the quality of financial decisions, supporting better strategic alignment and resilience within SMEs. These results underscore the need for targeted financial education initiatives tailored to the specific needs of SME decision-makers, offering practical implications for policy development and business support programs in Albania.

Keywords –Financial Literacy, Financial Decision-Making, Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs), Albania

I. INTRODUCTION

Small and medium-sized enterprises (SMEs) are essential to Albania's economic development, significantly contributing to GDP, employment, and innovation. According to the Albanian Institute of Statistics (INSTAT), in 2023, SMEs accounted for 99.9% of total active enterprises. SME employed 82.5% of the workforce, also they managed to generate 81.3% of the total turnover, and were responsible for 78.2% of the value added in the economy, a very important figure [1]. As Albania progresses toward integration in global markets, small and medium-sized enterprises (SMEs) are facing challenges in coping with the development of the financial environment, necessary for integration in the world value chain. These dynamics put in light the very important role that financial literacy has in enhancing the capacity of SME decision-makers, a capacity very important in ensuring long-term organizational resilience.

Financial literacy is crucial for effectively applying financial skills such as budgeting, investing, and long-term financial planning. Such knowledge is crucial for people actively engaged in decision-making, especially business owners and managers, supporting better financial decision-making and business performance [2]. Research suggests that higher levels of financial literacy can enhance strategic planning, boost access to finance, promoting this way long-term business sustainability [3]. Through mastering financial literacy, people are more prone to make savvy financial decisions because of a better understanding of the information. This translates to being more comfortable with financial instruments and, in general, making decisions.[4]. For these reasons, financial education programs in Albania are now

considered to be vital tools, aiming to increase awareness of different financing options available for SMEs. SMEs by better understang of financial literacy can improve credit application procedures. Improved decision-making capabilities support the long-term financial resilience of enterprises. [5].However, empirical evidence in the Albanian SME context remains limited. This is the reason for this study. This study aims to explore the impact of financial literacy on decision-making in SMEs by analyzing the level of financial literacy of business owners and administrators and how it affects investment strategies, budgeting, financing, and long-term planning. Adopting a qualitative research approach, data were collected through a structured questionnaire combining open-ended and closed-ended questions. The questionnaire was distributed to 300 SME representatives from diverse sectors in Albania who are actively engaged in financial decisions.

The study's findings are very important in understanding the actual relationship between financial literacy and decision-making capacity among SME actors in Albania. The results suggest that financial education initiatives are important and need to be customised properly, reflecting the specific needs of SMEs. Our findings carry significant practical implications, important for policymakers engaged in the mission of enhancing financial literacy across the sector.

II. LITERATURE REVIEW

The connection between financial literacy and the performance of SMEs has been massively studied in international research. Numerous studies have concluded that financial literacy significantly influences financial decision-making, affecting the possibilities of business growth, enhancing profitability, and ensuring long-term sustainability. These studies typically examine how SMEs' understanding of financial concepts, such as cash flow management, budgeting, investment planning, and access to financial resources, impacts their success.

Theoretical Foundations: Financial Literacy and SME Decision-Making

Financial literacy is a very important competency for business owners and managers. The level of understanding of financial concepts such as budgeting, saving, investing, and managing financial risks directly impacts the ability to make informed financial decisions. [6]. The Resource-Based View theory (RBV) suggests that a firm's internal resources, one of them such as human capital, are essential for achieving competitive advantages [7]. In the case of SMEs, financial literacy is an intangible asset that enhances decision-making and fosters operational effectiveness. Theories like Behavioral Finance aim to explain how cognitive biases, such as overconfidence and loss aversion, can distort financial decisions of the individuals engaged in the process of decision making [8]. Financially literate managers are better equipped and more prone to overcome these biases, which can lead to more rational and effective financial strategies [9]. Moreover, Risk Management Theory highlights the important role of financial literacy in mitigating business risks, thus enabling the ability of the SMEs to develop long-term strategies that aim for stability and growth. [10]. [11].

Empirical Evidence: Financial Literacy and SMEs

In developing economies, access to available financial literacy remains a barrier to the growth and sustainability of SMEs. In many of these countries, limited access to formal financial education and services challenges SMEs in accessing credit and managing financial risks. [12]. For example, the financial literacy level of business owners and managers significantly influences their ability to access financing sources and make informed investment decisions. [13]. Higher levels of financial literacy produce more sound financial behaviors, one of them for instance, maintaining accurate financial records. These behaviors, in turn, enhance their ability to access credit from formal financial institutions, as one of the important decisions the SMEs face [14].

Research supports the fact that financial literacy plays a crucial role in better financial management practices. These businesses that were attentive to financial literacy were more adept at budgeting and forecasting, a proper way to face financial challenges, leading to higher survival rates and sustainable growth, according to the life cycle of these entities. [15].

SMEs in developed economies generally can benefit easily from the financial infrastructure and have better access to financial education programs, which are tailored to their specific needs. For instance, higher levels of financial literacy among SME managers and owners are directly linked to more effective budgeting strategies, improved investment strategies, and risk management practices. [16]. Similarly, SMEs with financially literate individuals actively engaged in decision-making demonstrated a greater ability to cope with financial crises, diversify their funding sources, and enhance profitability in the short and long term. [17].

So well-developed financial education systems can have a profound impact on the ability that SMEs' managers and owners to make strategic decisions. In particular, financially literate managers can better use financial tools and strategies, thereby better mitigating this way market risks. SMEs led by individuals with higher financial literacy are more prone to perform better, secure financing sources more adequately, and more easily. This underlines the significance of financial knowledge for SME success and economic growth. By addressing the financial literacy gap through education and targeted financial support, countries can support SMEs through their full potential, ensuring a more prosperous economic future for them and the country in general. [18]

Financial Literacy in Albania and the Western Balkans

In the context of Western Balkan countries, financial literacy knowledge among SME managers is relatively low, which significantly inhibits the region's SME growth and their competitiveness. In Albania, which is the focus of our study, SMEs face challenges such as limited access to financing and a lack of advanced financial knowledge. This can negatively impact the effectiveness of their budgeting processes. A lack of financial expertise can lead to inappropriate investment and financing decisions in SMEs. [19].

So SMEs in Albania, more concretely individuals engaged in decision-making, often lack the necessary financial skills to make informed decisions regarding different activities of their businesses, such as investment, financing, and long-term business planning. The high level of informality in the local economy makes as results in the fact that many businesses do not maintain accurate financial records[20]. This is a reason that financial statements are not used for their predictive abilities, very important in the management process. The level of financial literacy of Albanian individuals is low, especially when compared to the average of individuals in the world. [21].

Lack of knowledge in basic financial principles can lead to limited access to formal financing and can also produce inefficient capital allocation. [22]. Financial literacy programs targeting SME managers are now more widespread than before. One of them, German Sparkassenstiftung for International Cooperation (DSIK), the development-policy arm of the Sparkassen-Finanzgruppe and an implementing agency of the German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ), is now implementing a project with the overall objective of Strengthening Financial Literacy in the Republic of Albania to improve the socio-economic living conditions of the population in Albania. This is done by supporting individuals, small businesses, and micro businesses through financial literacy training programs and sustainably promoting and providing financial and vocational education. Also, the Bank of Albania plays a crucial role in promoting financial inclusion and enhancing financial education among individuals in Albania, with initiatives aimed at improving financial literacy and accessibility to financial services. These efforts are

integral to fostering a more inclusive financial system and empowering individuals to make informed financial decisions. But often in underdeveloped countries, there are limited abilities of the target population to effectively interact with financial institutions and utilize available resources. The Financial Knowledge Index for Albania is 55 (out of 100), and only 39% of people in Albania have a minimum level of financial knowledge (answering at least 5 out of 7 questions correctly), compared with 50% and 58% respectively for the average countries in the survey and the OECD. Regarding concepts as compound interest and money time value, Individuals in Albania have a low understanding. However, they have a better knowledge of the meaning of the loan interest rate and of simple interest rate [23].

Entrepreneurship and financial literacy are the focus of national education strategies in the Western Balkans. In collaboration with international partners such as the OECD, the European Union, and other development organizations, countries in the Western Balkans have launched numerous initiatives aimed at enhancing the financial knowledge of their populations. Thus, in the Republic of Serbia and North Macedonia, entrepreneurial education and financial literacy concepts have been in intensive focus in the last ten years, aiming to improve the financial literacy levels of their population[24].

Almost every Western Balkan country behaves the same. North Macedonia and Montenegro are focusing their efforts on further developing financial literacy skills such as budgeting, understanding of interest, inflation, and risk diversification, as well as liquidity in the short run and payment capacity in the long run. [25]. But still, a lot has to be done. North Macedonia, in particular, lacks financial literacy programs, which are seen as an obstacle to the further development of MSMEs. Low financial literacy levels of SMEs impair access to finance, resulting in inappropriate financing instruments for businesses in North Macedonia. [26].

Studies in Bosnia and Herzegovina indicate that SMEs that participated in financial literacy programs for young entrepreneurs showed improvements in financial planning and resource allocation. These SMEs perform better in their long-term sustainability[27]. The findings indicate that such training programs significantly improve financial planning and resource allocation capabilities, contributing to the long-term sustainability of SMEs. Higher-quality financial reporting, indicative of higher financial literacy levels, is associated with lower interest rates on loans and better debt financing options. Information asymmetry within lenders can be reduced by financially literate SME managers and owners[28].

In conclusion, these findings highlight the importance of financial education initiatives, better in specific the needs to enhance practical financial management skills, access to digital financial tools, and improving interactions with financial institutions.

III. Materials and Methods

The above literature review reveals that financial literacy significantly influences SME performance, consistent with previous studies, showing that higher financial literacy levels of SME managers and owners promote entrepreneurs' financial management capabilities. This, in turn, can contribute to better outcomes, pointing out that adequate access to financial education programs boosts the level of apprenticeship of financial literacy [29].

To gain a deeper understanding of the impact of financial education on SME decision-making, qualitative approaches have provided the opportunity to examine the experiences and perceptions of individuals directly involved in managing finances. Qualitative approaches may include in-depth interviews, structured questionnaires, and focus group analyses, which offer an insightful perspective on how individuals interpret and use financial information in the process of decision-making. This enables a deeper analysis of the level of financial knowledge among decision-makers and also explains how this contributes to strategic decision-making and the long-term development of SMEs.

To assess the level of financial literacy among small and medium-sized enterprises (SMEs) in Albania, this study employs the OECD/INFE (2020) "OECD/INFE Survey Instrument to Measure the Financial Literacy of MSMEs" as its methodological foundation. This instrument is designed to comprehensively evaluate important dimensions of financial literacy: knowledge, behavior, and attitudes of small business owners and managers. However, given that the original instrument was developed within an international context with different economic and institutional conditions than those in Albania, a careful process of translation, adaptation, and contextualization has been undertaken.

The adaptation involved not only a linguistic translation into the Albanian language. We also modified the terminology and questions to reflect the specific characteristics of the Albanian market. These features, like the structure of financial institutions, the level of informality in the economy, access to credit, and financial training, were contextually reviewed. This approach ensures both the methodological rigor of the internationally recognized instrument and its empirical relevance within the Albanian context. As a result, the collected data remains internationally comparable while also capturing the unique realities of the Albanian business environment. This is a prerequisite in the study's academic value and its utility for evidence-based policymaking in the future.

The questionnaire was specifically targeting business owners and administrators of SMEs. The questionnaire was distributed through various online platforms, such as Facebook, LinkedIn, and WhatsApp groups, to maximize reach and accessibility. As a result, data collection produced a final sample consisting of 300 respondents who met the criteria of being individuals actively engaged in financial decision-making processes within their enterprises.

IV. RESULTS

The study on financial literacy among small and medium-sized enterprises (SMEs) in Albania provided valuable insights into the level of financial literacy of SME individuals engaged in active decision-making processes and also the effect of this knowledge on all dimensions of management activities. The survey, which included 300 SME owners and managers, revealed a significant correlation between financial literacy and the usage of formal financial practices. Among the participants, 35% demonstrated a strong understanding of basic financial concepts such as interest rates, inflation, and investment diversification. Of these, 68% engaged in regular budgeting practices, 45% had some kind of written financial strategies, and 50% reported applying for financing from financial institutions such as banks and financial institutions. This suggests that SMEs that have individuals with a high level of financial literacy are more likely to adopt formal financial practices, contributing this way to better business management and decision-making practices.

Despite these positive findings, the study concluded for significant gaps in the financial preparedness of SMEs. Only 28% of the surveyed businesses conducted regular cash flow forecasts, which are essential for managing liquidity and planning for future financial needs. This is, in fact, in concordance with the reality of financial and accounting practices of SMEs in Albania. Furthermore, only 30% of the businesses maintained an emergency fund, which is crucial for handling unforeseen financial challenges. These figures point to a clear lack of risk management practices among SMEs, leaving them vulnerable to economic fluctuations and unforeseen events. But this is also affected by a lack of free funds. In terms of financial decision-making, while 72% of participants expressed confidence in managing their business finances, only 48% used financial statements to support their decisions. This discrepancy highlights a mismatch between self-perceived financial competence and the actual practices employed, suggesting that many SMEs may be operating without the tools or expertise necessary to make fully informed financial decisions. This can also be explained by a high level of informal economy.

Access to finance was another major challenge identified in the study. 54% of the respondents reported that they had never applied for a bank loan or line of credit, indicating a hesitancy or lack of awareness regarding available financing options. Among those who had applied for credit, 65% faced significant obstacles in securing the funding they needed. The main barriers cited were lack of proper documentation (39%), low financial literacy (32%), and high interest rates (29%). These results point to the need for greater financial education to close the knowledge gap that may be preventing many businesses from effectively accessing financial resources. Additionally, 48% of respondents felt that financial institutions did not fully understand the specific needs of SMEs, suggesting a disconnect between the business community and lenders, and a need for more tailored financial products and services, especially according to the industry and their life cycle.

The study also demonstrated the impact of financial training on the financial practices of SMEs. 62% of the businesses that had participated in financial seminars, workshops, training programs, or had studied financial literacy in school or university reported improved financial management practices. These businesses were more likely to use financial indicators for performance evaluation (57%) and make investment decisions based on data analysis (60%). This highlights the importance of financial education in equipping SMEs with the knowledge and skills necessary to make better-informed decisions. Sectoral differences were observed in the adoption of financial practices. SMEs in the manufacturing (61%) and services (58%) sectors were more likely to use financial projections compared to those in the agriculture (42%) and trade (45%) sectors. This sectoral variation suggests that financial education programs should be tailored to address the specific needs and challenges faced by different industries.

These findings modestly point to the role that financial literacy plays in improving the financial decision-making and overall business management practices of SMEs in Albania. The study concludes that the level of financial literacy among SME owners and managers is low, even thou they express confidence in their ability to manage finances. Practices like emergency funds and regular financial forecasting are not common among decision-makers. Insufficient recording of documentation, as a result of the informal economy, continues to hinder the growth and sustainability of SMEs.

V. CONCLUSIONS

The findings of this study demonstrate that the level of financial literacy among individuals actively engaged in decision-making in SMEs in Albania is relatively low. This is in concordance with the previous studies. The SMEs perceived it as difficult to access financial literacy programs, confirming the impaired availability of financial literacy in developing countries. SMEs, in the majority of them, base their financial decision beyond their experience, and a minority of them base this decision on technical financial analyses, such as budgeting and forecasting, even from the informal economy. This caused SMEs to fail in maintaining emergency funds or regularly conducting financial projections. This exposes them to more risks, particularly during times of economic volatility.. SMEs whose owners and managers demonstrate a higher level of financial literacy are more likely to engage in financial practices. Barriers to accessing finance are also a significant concern. The lack of proper documentation, low financial literacy, and high interest rates are major obstacles faced by SMEs when attempting to secure funding. The study also emphasizes the importance of financial training in improving business outcomes. SMEs that have participated in financial education programs demonstrate stronger financial management practices, such as using financial indicators for performance evaluation and making decisions.

These findings suggest that structured, sector-specific financial education programs can have a positive impact on the financial decision-making of SMEs, leading to more formalized and effective business management.

These findings highlight the need for improvements in financial literacy and its availability, which could help business owners better navigate the financial landscape. This can be better done by keeping in mind that financial education must be accessible and tailored to different sectors and business sizes. By addressing these challenges, Albania can strengthen its SME sector, contributing to greater economic growth and development.

REFERENCES

[1] INSTAT, Statistics on Small and Medium Enterprises 2023. Albanian Institute of Statistics, 2025.

[2] OECD, OECD/INFE 2020 International Survey of Adult Financial Literacy. OECD Publishing, 2020.

[3] OECD, Financial Literacy and Digitalisation for MSMEs in South East Europe, 2023.

[4] A. Lusardi and F.-A. Messy, "The importance of financial literacy and its impact on financial wellbeing," Journal of Financial Literacy and Wellbeing, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2023. doi:10.1017/flw.2023.8.

[5] C. Ciptawan, "The Multifaceted Influence of Financial Literacy and Education on SME Financing Decisions in Different Economic Contexts," International Journal of Social, Policy and Law, vol. 2, no. 2, pp. 47–57, 2021. doi:10.8888/ijospl.v2i2.155.

[6] A. Lusardi and O. S. Mitchell, "The economic importance of financial literacy: Theory and evidence," Journal of Economic Literature, vol. 52, no. 1, pp. 5–44, 2014.

[7] J. Barney, "Firm resources and sustained competitive advantage," Journal of Management, vol. 17, no. 1, pp. 99–120, 1991.

[8] Z. Ahmad, H. Ibrahim, J. Tuyon, "Institutional investor behavioral biases: syntheses of theory and evidence," Management Research Review, vol. 40, no. 5, pp. 578–603, 2017. doi:10.1108/MRR-04-2016-0091.

[9] T. Kaiser and L. Menkhoff, "Does Financial Education Impact Financial Literacy and Financial Behavior, and If so, When?" DIW Berlin Discussion Paper No. 1562, 2017. Available: https://ssrn.com/abstract=2753510.

[10] C. Hermansson and S. Jonsson, "The impact of financial literacy and financial interest on risk tolerance," Journal of Behavioral and Experimental Finance, vol. 29, 100450, 2021.

[11] A. G. Korkmaz, Z. Yin, P. Yue, and H. Zhou, "Does financial literacy alleviate risk attitude and risk behavior inconsistency?" International Review of Economics & Finance, vol. 74, pp. 293–310, 2021.

[12] L. Xu and B. Zia, "Financial literacy around the world: An overview of the evidence with practical suggestions for the way forward," World Bank Policy Research Working Paper No. 6107, 2012.

[13] G. O. C. Bongomin, J. M. Ntayi, J. C. Munene, and C. A. Malinga, "The relationship between access to finance and growth of SMEs in developing economies: Financial literacy as a moderator," Review of International Business and Strategy, vol. 27, no. 4, pp. 520–538, 2017. doi:10.1108/RIBS-04-2017-0037.

[14] A. Atkinson and F. Messy, "Measuring Financial Literacy: Results of the OECD/INFE Pilot Study," OECD Working Papers on Finance, Insurance and Private Pensions, no. 15, 2012. doi:10.1787/5k9csfs90fr4-en.

[15] A. A. Eniola, H. Entebang, and K. L. S. Law, "Financial literacy and SME firm performance," International Journal of Research Studies in Management, vol. 5, no. 1, 2015. doi:10.5861/ijrsm.2015.1304.

[16] S. A. Basha, H. Bennasr, and M. Goaied, "Financial literacy, financial development, and leverage of small firms," International Review of Financial Analysis, vol. 86, 2023.

[17] K. M. M. C. B. Kulathunga, J. Ye, S. Sharma, and P. R. Weerathunga, "How Does Technological and Financial Literacy Influence SME Performance," Information, vol. 11, no. 6, 297, 2020. doi:10.3390/info11060297.

[18] T. O. Hilal, R. N. Suwarni, and S. Y. Hamdan, "Financial Literacy and the Growth of Processing Small and Medium Firms in Japan," Journal of Finance and Accounting, vol. 7, no. 10, pp. 12–20, 2023. doi:10.53819/81018102t5278.

[19] A. Doko, "Budgeting Process in Small and Medium-Sized Enterprises: Statistical Analysis of SMEs in Albania," Journal of Information Systems & Operations Management, vol. 18, no. 2, Dec. 2024.

[20] European Commission, Albania 2022 Report, Communication on EU Enlargement policy, 2022.

[21] E. Dushku, Evidence on financial literacy and financial inclusion in Albania, Apr. 2022.

[22] European Investment Bank, Albania Assessment of financing needs of SMEs in the Western Balkans countries, Aug. 2016.

[23] E. Dushku, Financial Literacy and Well-being of Adults in Albania: Results from the 2023 Round 4 (100), Bank of Albania (BOA), 2025.

[24] A. J. Bogdanović, M. Dimić, and M. Vučić, "Financial literacy and entrepreneurial education in Serbia and North Macedonia," International Journal of Economics and Law, vol. 12, no. 35, 2022.

[25] OECD, Financial Literacy of Adults in South East Europe, 2020.

[26] M. Guadamillas et al., North Macedonia - Growth Acceleration Plan: SME Finance - Aide Memoire, 2023.

[27] M. Bruhn and B. H. Zia, "The Impact of Business and Financial Literacy Training for Young Entrepreneurs in Bosnia and Herzegovina," 2011.

[28] World Bank Centre for Financial Reporting Reform, Empirical Study on Financial Information and Cost of Finance in Serbia, 2019.

[29] W. Abdallah, A. Harraf, H. Ghura, and M. Abrar, "Financial literacy and SME performance: the moderating role of financial access," Journal of Financial Reporting and Accounting, vol. 20, no. 1, pp. 90–112, 2024

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Investigation of the Propagation Potential of the Beylik Olive (*Olea europaea* L.) Cultivar by Cuttings

Sabriye Atmaca[*1] and Halil İbrahim Yolcu [1]

[1]*Department of Plant and Animal Production, Department of Organic Agriculture / Manavgat Vocational School, Akdeniz University, Türkiye*

[*]*(uysalsabriye@akdeniz.edu.tr)*

Abstract – This study aimed to determine the rooting ability of semi-hardwood cuttings of the Beylik olive (*Olea europaea* L.) cultivar, which was registered in 2020. The experiment was conducted at the Ilıca Campus of the Organic Agriculture Program, Manavgat Vocational School. Different concentrations of Indole-3-Butyric Acid (IBA) (1000 ppm, 2000 ppm, 4000 ppm, 6000 ppm, 8000 ppm) and Naphthalene Acetic Acid (NAA) (1000 ppm, 2000 ppm, 4000 ppm, 6000 ppm, 8000 ppm) were applied in the study. Each treatment was arranged in three replications, with five cuttings per replication, totaling 165 semi-hardwood olive cuttings. At the end of the study, the cuttings were removed from the rooting medium, and rooting percentage (%), number of roots (no), root length (cm), number of shoots (no), and number of leaves (no) were recorded. According to the results, it was determined that the propagation of the Beylik olive cultivar by cuttings is difficult.

Keywords – Olea europaea L., Beylik, Cutting Propagation, Indole-3-Butyric Acid, Naphthalene Acetic Acid

I. INTRODUCTION

The olive (*Olea europaea* L.) is a species belonging to the *Oleaceae* family, native to tropical and warm temperate regions of the world [1]. It is one of the oldest, most widespread, and economically significant crops of the Mediterranean basin. Consequently, numerous olive genotypes are cultivated, resulting in a high degree of morphological and biological diversity ([2], [3]). The Mediterranean region alone accounts for 99% of the world's olive oil production, hosting a rich diversity of olive cultivars [4].

The Beylik olive is a local cultivar traditionally grown for both table consumption (as green olives) and oil production in the Manavgat district of Antalya, Türkiye. Registration studies were conducted by the Seed Registration and Certification Directorate between 2018 and 2019. In 2020, the cultivar was officially registered by the Olive Research Institute and has since been preserved in the Olive Field Gene Bank. The trees of this cultivar have a spreading growth habit, with a moderately dense canopy and intermediate internode length. The leaves are long-elliptic in shape, medium in length and width, with a flat longitudinal curvature on the leaf blade. The fruits are characterized by their large size, elongated asymmetric form, pointed apex, truncated base, and the presence of a nipple-like formation. The color transition initiates at the fruit apex and surface, turning dark purple at full maturity. The oil content of fresh samples was classified as medium (18%), while the oil quality was determined to be high [5]. Özen and Mutlu [6] reported that olive oil obtained from Beylik olives harvested in October, November, and December of 2017 in Manavgat was of Extra Virgin Olive Oil quality.

Among fruit species, olives can be propagated through various vegetative organs including suckers, tuberous and near-tuberous roots, thick branch cuttings, and semi-hardwood cuttings, with the exception of leaves and roots. The most widely used propagation method is through semi-hardwood cuttings due to its minimal harm to the mother plant, the absence of juvenile sterility problems [7], and its suitability for mass propagation being simple, cost-effective, and efficient [8]. However, significant differences in rooting

potential have been reported among cultivars and clones within a species ([9], [10]). This has also been demonstrated in studies conducted on different olive cultivars ([9], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18]). It has been stated that there are significant differences in rooting potential among olive cultivars, and they can be classified into three groups: easy, moderate, and difficult-to-root cultivars ([15], [19]).

Since the mid-1930s, it has been established that auxins stimulate root growth. Indole-3-Butyric Acid (IBA) and α-Naphthaleneacetic Acid (NAA) are considered the most reliable auxins for inducing root formation in cuttings ([8], [20], [21]). IBA, in particular, has been reported as the most effective rooting promoter for enhancing rooting percentage, accelerating root initiation, and increasing the number of roots in olive cuttings [22].

To date, no information is available regarding the propagation potential of the recently registered, locally cultivated Beylik olive cultivar in Manavgat, Antalya through cuttings. Therefore, this study aimed to investigate the rooting ability of semi-hardwood cuttings of the Beylik cultivar and evaluate the effects of different concentrations of indole-3-butyric acid and naphthalene acetic acid on rooting and shoot development.

II. Materials and Method

In this study, the plant material consisted of semi-hardwood cuttings of the Beylik olive (Olea europaea L.) cultivar. The cuttings were collected from a grower's orchard located in the Manavgat district of Antalya province on April 7, 2021 (Figure 1). The cuttings were prepared as semi-hardwood segments, each 20 cm in length. For the rooting treatments, different concentrations of Indole-3-Butyric Acid (IBA) (1000 ppm, 2000 ppm, 4000 ppm, 6000 ppm, 8000 ppm) and Naphthaleneacetic Acid (NAA) (1000 ppm, 2000 ppm, 4000 ppm, 6000 ppm, 8000 ppm) were used as rooting solutions. The basal 3–4 cm portions of the cuttings were dipped into the hormone solutions for 10 seconds using the quick-dip method and subsequently planted in rooting trays under greenhouse conditions. The rooting medium consisted of a 1:1 mixture of perlite and peat. Each treatment was arranged in a completely randomized design with three replications, and five cuttings per replication, making a total of 165 semi-hardwood olive cuttings (Figure 2). On January 17, 2022, the following parameters were recorded: rooting percentage (%), average number of roots per cutting, average root length per cutting (cm), average number of shoots per cutting, and average number of leaves per cutting.



Fig. 1 Images of the Beylik olive (*Olea europaea* L.) cultivar (07.04.2021)



Fig. 2 General view of the cuttings placed in the rooting medium (07.04.2021)

III. RESULTS

The effects of different concentrations of IBA and NAA on the rooting percentage of cuttings taken from the Beylik olive cultivar are presented in Table 1. The highest rooting percentage was obtained from the 1000 ppm IBA treatment with 20.00%. This was followed by the 1000 ppm NAA treatment, which resulted in a 13.30% rooting rate. A rooting percentage of 6.66% was recorded for the 6000 ppm NAA, 8000 ppm NAA, and control (untreated) treatments. No rooting was observed in the treatments of 2000, 4000, 6000, and 8000 ppm IBA, as well as 2000 and 4000 ppm NAA applications.

Table 1. Effects of different concentrations of IBA and NAA on rooting percentage, number of roots, root length, number of shoots, and number of leaves in cuttings of the Beylik olive cultivar.

Treatment	Concentration (ppm)	Rooting Percentage (%)	Number of Roots (no)	Root Length (cm)	Number of Shoots (no)	Number of Leaves (no)
Control	0 ppm	6,66	1,00	14,00	1,00	14,00
Indole-3-Butyric Acid	1000 ppm	20,00	12,00	20,00	3,30	21,33
	2000 ppm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	4000 ppm	3,66	0,00	0,00	2,00	3,00
	6000 ppm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	8000 ppm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Naphthalene Acetic Acid	1000 ppm	13,30	0,00	0,00	3,00	15,00
	2000 ppm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	4000 ppm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	6000 ppm	6,66	1,00	13,00	2,00	17,00
	8000 ppm	6,66	0,00	0,00	2,00	3,00

The number of roots formed per cutting is presented in Table 1. The highest number of roots per cutting, 12, was obtained with the 1000 ppm IBA treatment. It was observed that only one root formed per cutting in the 6000 ppm NAA and control treatments, and no rooting occurred in other treatments (Figure 2).

As a result of the treatments, the root lengths in the cuttings that developed roots were recorded as 20 cm for the 1000 ppm IBA treatment, 14 cm for the control treatment, and 13 cm for the 6000 ppm NAA treatment (Table 1). In the 4000 ppm IBA, 1000 ppm NAA, and 8000 ppm NAA treatments, shoot formation was observed, but no rooting occurred.

In terms of average number of shoots per cutting, the highest rate was 3.30 in the 1000 ppm IBA treatment, and the lowest was 1.0 in the control treatment (Table 1).

Among the cuttings that formed shoots, the highest average number of leaves per cutting was 21.33, which was recorded for the 1000 ppm IBA treatment, while the lowest average of 3.00 leaves was obtained from the 4000 ppm IBA and 8000 ppm NAA treatments (Table 1).

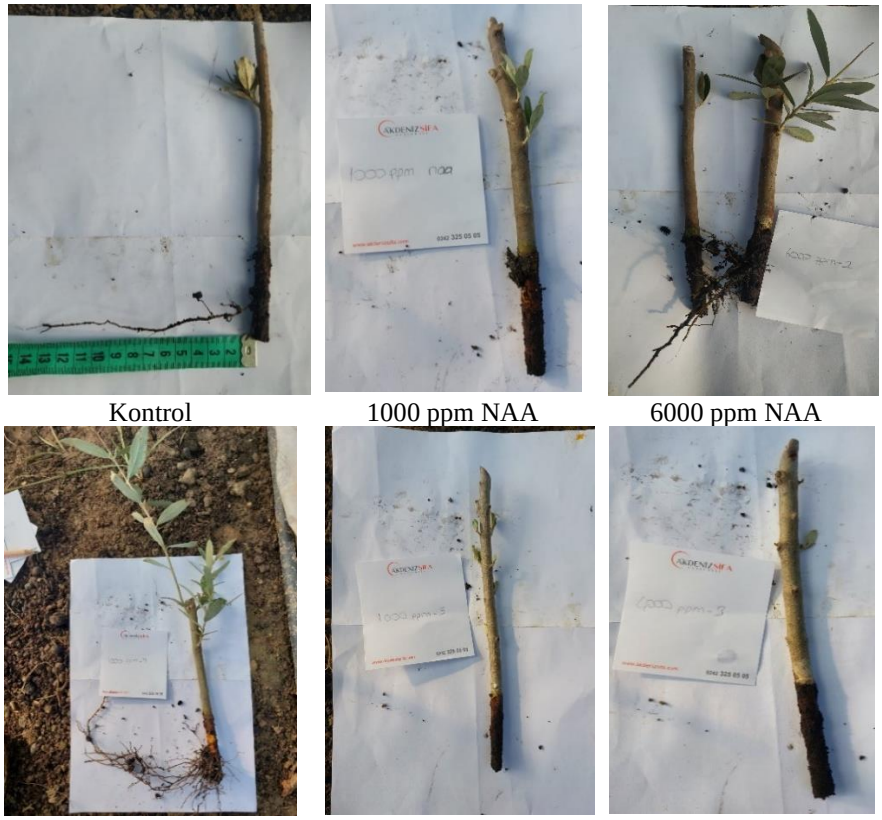


Fig. 3 Images of rooted and sprouting cuttings of the Beylik olive cultivar

IV. DISCUSSION

The highest rooting percentage (20%) was obtained with the 1000 ppm IBA treatment. Minimal or no effects were observed in other treatments. In the present study, the Beylik olive cultivar was found to be among the difficult-to-root cultivars. It has also been reported that a rooting percentage below 20% indicates that vegetative propagation is not economically feasible [15]. Ülger [19] reported rooting percentages of 0.973% for the Tavşan Yüreği cultivar, 3.889% for the Memecik cultivar, and 12.222% for the Kan Olive cultivar. The study concluded that the very low rooting percentage in the Tavşan Yüreği cultivar was due to the genetic characteristics of the cultivar.

In some treatments, although shoots were formed, no roots were produced. It was determined that the IBA treatment was more effective than the NAA treatment in promoting root formation. A similar result was observed in the study by İsfendiyaroğlu and Özeker [12], which focused on the difficult-to-root Domat olive cultivar.

In some treatments, no rooting or shoot formation was observed. A similar result was reported in a study on the Domat, Gemlik, and Sarı Ulak olive cultivars, where no rooting occurred in any treatment, including the control, when humic acid, seaweed, and biotarm were applied to induce rooting and shoot formation [18].

V. CONCLUSION

The main conclusions of the study should be summarized in a short Conclusions section. In this study, which aimed to investigate the propagation potential of the newly registered Beylik olive cultivar by cuttings, no positive results were obtained. It was concluded that the cuttings of the Beylik olive cultivar are among the difficult-to-root cultivars, making cutting propagation challenging for commercial cultivation. Investigating the most suitable propagation method for the Beylik cultivar is crucial for its preservation and widespread cultivation.

ACKNOWLEDGMENT

We extend our deepest thanks to Mr. Ali Osman ÇEVİK, whose great efforts in the registration and preservation of the Beylik olive cultivar facilitated the free provision of the cuttings used in this experiment.

REFERENCES

[1] Ghanbari, R., Anwar, F., Alkharfy, K. M., Gilani, A. H., & Saari, N. (2012). Valuable nutrients and functional bioactives in different parts of olive (Olea europaea L.)—a review. *International journal of molecular sciences*, *13*(3), 3291-3340.

[2] Rugini, E., Mencuccini, M., Biasi, R., & Altamura, M. M. (2005). Olive (Olea europaea L.). *Protocol for somatic embryogenesis in woody plants*, 345-360.

[3] Kafkaletou, M., Ouzounidou, G., & Tsantili, E. (2021). Fruit ripening, antioxidants and oil composition in Koroneiki olives (Olea europea L.) at different maturity indices. *Agronomy*, *11*(1), 122.

[4] Loumou, A., & Giourga, C. (2003). Olive groves: The life and identity of the Mediterranean. *Agric. Hum. Values* 2003, *20*, 87–95.

[5] Kaya, H., Hakan, M., Güloğlu, U., Sefer, F., Çetin, Ö., Mete, N., & Uluçay, N. (2023). "BEYLİK" Zeytin Çeşidi. *Meyve Bilimi*, *10* (Özel Sayı), 37-40.

[6] Özen, N.D., & Keçeli Mutlu, T. (2019). Hasat döneminin Beylik zeytini ve zeytinyağının kalite kriterlerine etkisinin belirlenmesi. Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi Yıl 2019 Cilt: 37-1

[7] Çelik, M., & Özkaya, M.T. (1998). Zeytin Olea Europeae L. çeliklerinin köklenme mekanizması üzerine araştırmalar. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırmalar Kurumu (TÜBİTAK), Tarım Orman ve Gıda Araştırma Grubu. Proje No: TOGTAG-1259, Ankara.

[8] Hamooh, B. T. (2014). The Effects of cutting collection time, auxin types and auxin concentrations on rooting of olive (Olea europaea L.) cuttings under arid land conditions. *Int. J. Eng. Res. and Technol.(IJERT)*, *3*(1), 1389-1395.

[9] Karasu, İ. (2014). Bazı yabancı zeytin çeşitlerinde çeliklerin köklendirilmesi üzerine bir araştırma. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Bölümü Yüksek Lisans Tezi, 43 sayfa, Şanlıurfa.

[10] Yousif Ali, A., & Abdulqader, S. M. (2022). Effect of current intensity and shock timing of cuttings on rooting of hard wood cuttings for two olive tree (Olea europea L.) cultivars. *ProEnvironment Promediu*, *15*(50).

[11] Gerakakis, A. Ç., & Özkaya, M. T. (2005). Effects of cutting size, rooting media and planting time on Rooting of Domat and Ayvalik olive Olea europaea L. cultivars in shaded polyethylene tunnel Spt. *Journal of Agricultural Sciences*, *11*(03), 334-338.

[12] İsfendiyaroğlu, M., & Özeker, E. (2008). Rooting of Olea Europaea 'Domat' cuttings by auxin and saliycylic acid treatments. *Pak. J. Bot*., 40(3): 1135-1141, 2008.

[13] Kumlay, A.M., & Eryiğit, T. (2011). Bitkilerde büyüme ve gelişme düzenleyici maddeler: Bitki Hormonları. Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der. / *Iğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech.* 1(2): 47-56, 2011

[14] Awan, A. A., Ullah, E., Abbas, S. J., Khan, O., & Masroor, S. (2012). Growth response of various olive cultivars to different cutting lengths. *Pak. J. Agri. Sci*, *49*(3), 283-287.

[15] Lazaj, A., Rama, P., & Vrapi, H. (2015). The interaction with season collection of cuttings, Indol Butyric Acid (IBA) and juvenility factors on root induction in Olea europaea L.(Cultivar 'Kalinjot'). *Intl. Refereed J. Eng. Sci*, *4*(3), 32-38.

[16] Tunç, Y., & Yılmaz, K. U. (2022). Hatay ili Hassa ilçesinde bulunan bazı yabani (delice) zeytin (Olea europaea L. subps. oleaster) genotiplerinin çelikle köklenebilme durumlarının araştırılması. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, *5*(2), 44-49.

[17] Duzcan, F. (2019). Çelik alma zamanı ve farklı IBA dozlarının zeytin (*Olea europaea* L.) çeliklerinin köklenmesi üzerine etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Artvin, 2019.

[18] Dölek, C., & Özkaya, M. T. (2024). Bazı zeytin çeşitlerinde biyogübre uygulamalarının çelik köklenmesine etkileri. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, *39*(2), 282-295.

[19] Ülger, S. (1989). Farklı Ortamlarda, Hormon Kullanımıyla, Değişik Zeytin Çeşitlerinin Köklendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Bölümü, Antalya, 48 pp.

[20] Sebastiani, L., & Tognetti, R. (2004). Growing season and hydrogen peroxide effects on root induction and development in Olea europaea L.(cvs 'Frantoio'and 'Gentile di Larino') cuttings. *Scientia Horticulturae*, *100*(1-4), 75-82.

[21] Centeno, A., & Gomez-del-Campo, M. (2008). Effect of root-promoting products in the propagation of organic olive (Olea europaea L. cv. Cornicabra) nursery plants. *HortScience*, *43*(7), 2066-2069.

[22] Saeed, G. M. (2021). Effect of cultivars, date, and iba on vegetative growth of semi-hard wood olive cuttings (Olea europaea L.). *Journal of Duhok University*, *24*(1), 134-142.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

A Novel Bipolar Pulse Generator with Variable Pulse Width

Burak Arıcıoğlu[1*]

[1]*Faculty of Technology, Electrical-Electronics Engineering, Sakarya University of Applied Sciences, Serdivan 54050, Turkey and*
Biomedical Technologies Application and Research Center (Biyotam), Sakarya University of Applied Sciences, Serdivan 54050, Turkey

[*]*(baricioglu@subu.edu.tr) Email of the corresponding author*

Abstract – This paper presents the design and simulation of a novel transmission line-based bipolar pulse generator capable of producing both symmetric and asymmetric pulses with variable durations. Bipolar pulse generators are essential in numerous applications such as ultra-wideband communications, biomedical treatments, and plasma processing due to their ability to generate high peak power pulses without a direct current component. The proposed circuit topology utilizes a transmission line and three controlled switches to precisely modulate the pulse width and polarity. The generator achieves flexible pulse shaping by adjusting the switching times, enabling the production of symmetric or asymmetric bipolar waveforms. The generator also can produce unipolar pulses. Simulation studies are conducted using a 20-meter RG58 coaxial cable, with a characteristic impedance of 50 ohms and matched load conditions. Results demonstrate successful generation of pulses with durations ranging from 11.08 ns to over 100 ns, depending on control parameters. Both maximum-duration symmetric pulses and finely tuned shorter pulses are achieved by varying a key switching-time parameter. Asymmetric operation is also demonstrated, allowing independent control of the positive and negative pulse widths. The results confirm the effectiveness of the proposed design in generating high-voltage, precisely timed bipolar pulses. This flexible approach offers a promising solution for advanced pulsed power systems requiring adaptable waveform control.

Keywords –pulsed power, unipolar pulse generator, bipolar pulse generator, transmission line,

I. INTRODUCTION

Pulsed power technology, fundamentally concerned with the accumulation of energy over relatively long durations and its subsequent rapid discharge into a load within a significantly shorter timeframe, represents a critical enabling technology across numerous scientific and industrial domains [1]. This process generates high peak power pulses, offering distinct advantages over continuous-wave direct current (DC) or alternating current (AC) power sources. These advantages include the ability to create unique physical conditions, such as high-energy density plasmas or intense electromagnetic fields, and to improve the efficiency or selectivity of various processes, from material modification to biological interactions [1].

Within the broad field of pulsed power, bipolar pulse generators constitute a specific and increasingly important class of devices. They are characterized by their ability to produce electrical pulses exhibiting both positive and negative voltage (or current) excursions relative to a common reference potential, typically ground [2]. This contrasts with unipolar generators, which produce pulses of only a single polarity. Compared to unipolar pulses, bipolar waveforms can offer superior performance or enable entirely new functionalities. For instance, bipolar pulses eliminate the DC component present in unipolar pulse trains, which significantly improves the radiation efficiency in applications like ultra-wideband

(UWB) systems [3]. In biomedical applications such as electroporation, bipolar pulses have been shown to reduce undesirable side effects like muscle contractions and may offer enhanced efficacy in tissue ablation or microbial inactivation due to the reversing electrical and mechanical stresses they induce [4]. Similarly, in plasma processing and industrial applications like reactive sputtering or wastewater treatment, bipolar pulses can lead to improved process stability, coating quality, or treatment efficiency [5]. This strong application pulls, stemming from the tangible advantages of bipolar waveforms in fields ranging from medicine and biology to plasma science and materials processing, serves as a primary driver for the ongoing development and refinement of bipolar pulse generator topologies and technologies [2].

In this paper a transmission line based novel bipolar pulse generator with adjustable pulse duration is presented. The generator consists of a transmission line and three switches. The proposed method enables the producing of both symmetric and asymmetric bipolar pulse.

The remainder of this paper is organized as follows: Section II gives the circuit topology of the proposed generator. Section III presents the simulation results. Finally, Section IV concludes the paper and suggests directions for future work.

II. Bipolar Pulse Generator

In this section, the novel transmission line based bipolar pulse generator with adjustable pulse duration is introduced. The proposed generator for symmetrical pulses is given in Figure 1.

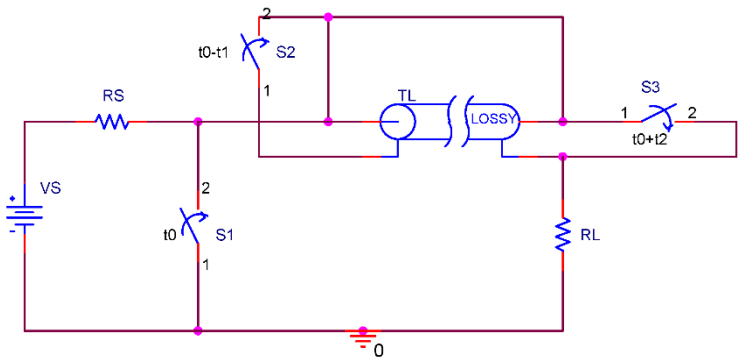


Figure 1. The novel bipolar pulse generator.

The t_d parameter in the figure is the elapsed time for a wave to propagate from one end of the transmission line to the other. In other words, it is the transmission line propagation delay, and it can be calculated as

$$t_d = \frac{l}{u_p}. \quad (1)$$

Here l is the length of the transmission line and u_p is the phase velocity. For lossless or low-loss transmission line, the phase velocity is

$$u_p = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2)$$

Here L and C is the inductance and capacitance of the transmission line per unit length.

In Figure 1, the t_1 parameter controls the width of the negative pulse while the t_2 parameter controls the width of the positive pulse. The maximum value of t_2 can be

$$t_{2_{max}} = 2t_d \quad (3)$$

For $t_2 > 2t_d$, the pulse shape will be exactly the same as at $t_2 = 2t_d$.

For bipolar pulse generation the minimum value of t_2 is

$$t_{2_{min}} = t_0 + t_d \quad (4)$$

The width of the negative pulse is

$$PW_{negative\ pulse} = t_d - t_1 \quad (5)$$

and the width of the positive pulse is

$$PW_{positive\ pulse} = t_2 + t_1 - t_d \quad (6)$$

For symmetric operation t_2 must be

$$t_2 = 2(t_d - t_1) \quad (7)$$

The maximum pulse width in symmetric bipolar pulse generation mode is t_d for each pulse (when $t_1 = 0$). The parameter t_1 is controlled the width of each pulse. In symmetric bipolar pulse generation mode, the pulse widths are

$$PW_{negative\ pulse} = PW_{positive\ pulse} = t_d - t_1 \quad (8)$$

The parameter t_1 must be selected as lesser than both t_0 and t_d.

The designed bipolar pulse generator can be also used to generate unipolar pulse, by appropriately selecting switching time of S2 and S3.

To generate only negative pulse

$$t_1 = t_0, \quad t_2 < t_0 + t_d \quad (9)$$

To generate only positive pulse

$$t_1 < t_0 - t_d, \quad t_0 < t_2 \leq 2t_d \quad (10)$$

The voltage across the load for all operation mode can be calculated as

$$V_L = \frac{R_L}{R_L + Z_0} V_s \quad (11)$$

Here Z_0 is the characteristic impedance of the transmission line. For lossless or low-loss transmission line, the characteristic impedance is

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (12)$$

III. Simulation Results

In this section simulation results are given. In all the simulations, RG58 coaxial cable of 20m long is used. For this length, the maximum pulse duration for each pulse is 101.08 ns (t_d =101.08 ns). The characteristic impedance of the RG58 cable is about 50 Ω. The load resistance is also selected as 50 Ω. The rise time of the switches is set as 30 ns [6].

In the first simulation, the symmetric bipolar pulse width maximum pulse duration results are shown in Figure 2. For this, t_1 parameter is selected as 0.

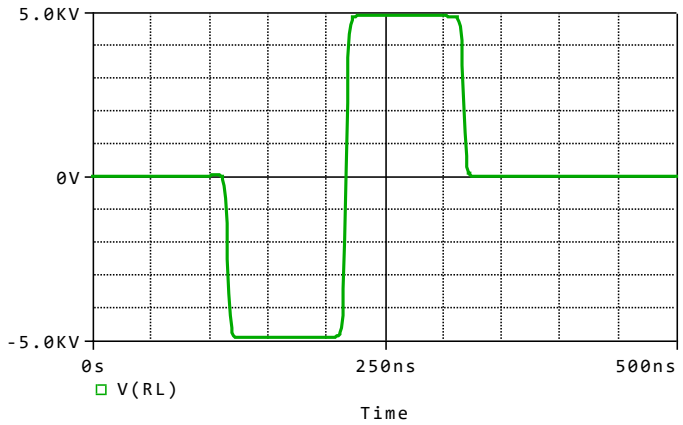


Figure 2. The symmetric bipolar pulse for maximum pulse duration, switches S1 and S2 is closed at 100 ns and S3 is closed at 302.16ns. All the switches have a rise time of 30 ns.

By changing the value of parameter t_1, symmetric bipolar pulse with shorter pulse duration is obtained. For this, an example simulation result is shown in Figure 3 when the value of $t_1 = 20$ ns. For this case, each pulse has a width of 81.08 ns.

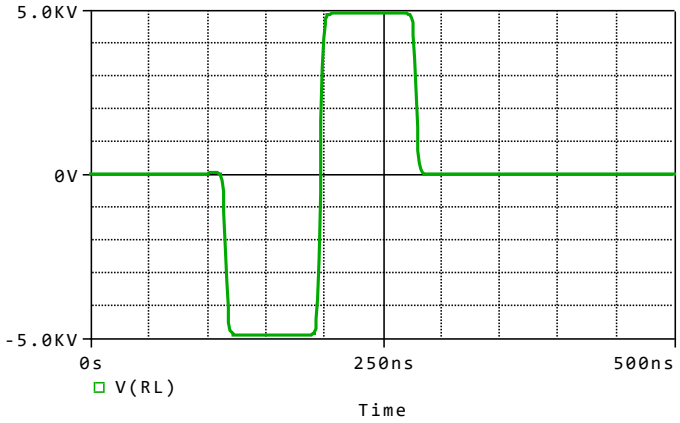


Figure 3. The symmetric bipolar pulse for pulses with pulse duration of 80ns, switches S1 is closed at 100 ns, S2 is closed at 80 ns and S2 is closed at 262.16ns. All the switches have a rise time of 30 ns.

As a next case, the value of t_1=90ns. For this case the pulse duration becomes 11.08 ns.

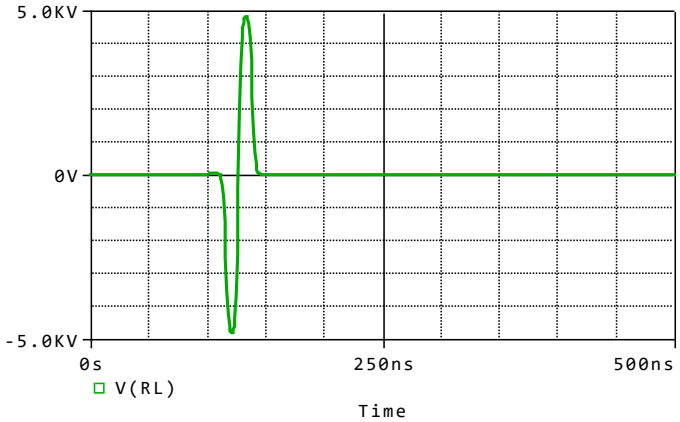


Figure 4. The symmetric bipolar pulse with pulse duration of 10ns, switches S1 is closed at 100 ns, S2 is closed at 10 ns and S3 is closed at 122.16ns. All the switches have a rise time of 30 ns.

As seen in Figure 2,3 and 4, the simulation results of the proposed symmetric bipolar pulse generator show that the proposed method is successful.

For asymmetric bipolar pulse generator mode, only the pulse duration of the positive and negative pulse can be asymmetric. Figure 5 and Figure 6 gives the simulation results for the asymmetric bipolar pulse generation.

In Figure 5, switches S1 is closed at 100 ns, S2 is closed at 50 ns and S3 is closed at 252 ns. The negative pulse duration is 52 .16 ns and the positive pulse duration is 100 ns.

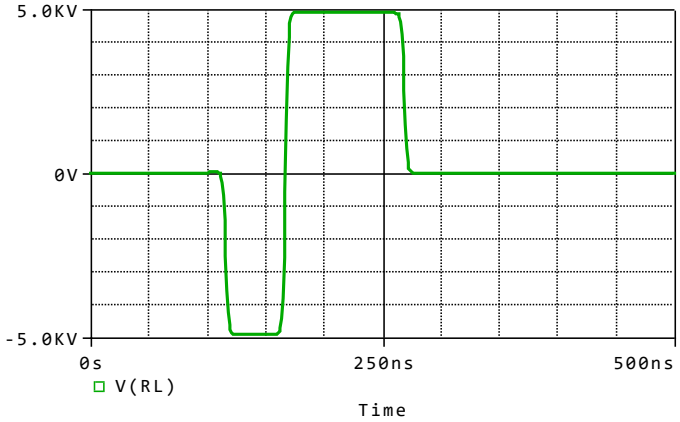


Figure 5. The asymmetric bipolar pulse when switches S1 is closed at 100 ns, S2 is closed at 100 ns and S3 is closed at 222 ns.

In Figure 6, switches S1 is closed at 100 ns, S2 is closed at 100 ns and S3 is closed at 222 ns. The negative pulse duration is 102 .16 ns and the positive pulse duration is 20 ns.

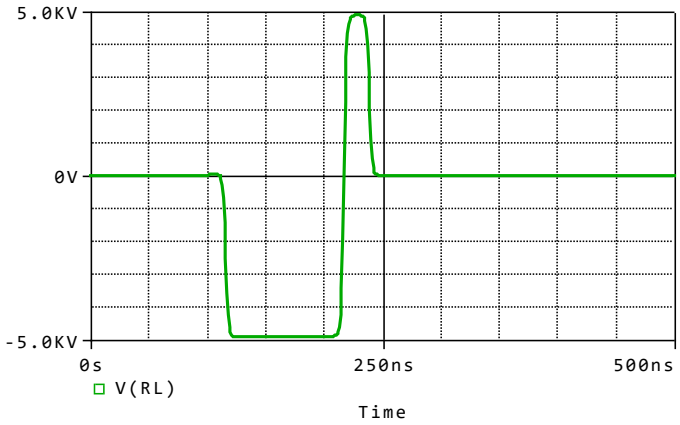


Figure 6. The asymmetric bipolar pulse when switches S1 is closed at 100 ns, S2 is closed at 100 ns and S3 is closed at 222 ns.

In Figure 7, simulation result for a negative pulse generation mode is given.

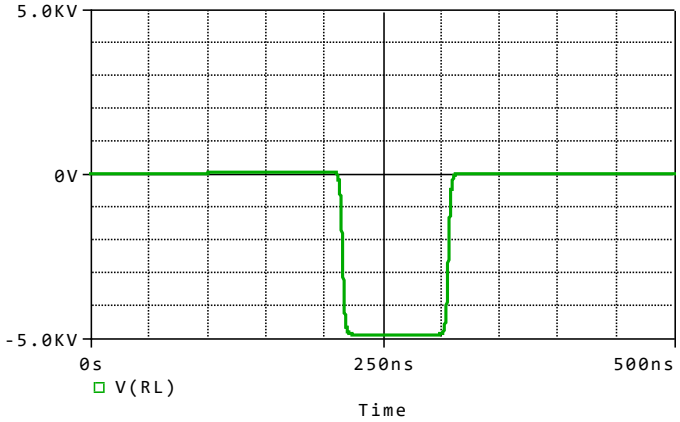


Figure 7. The unipolar negative pulse when switches S1 is closed at 200 ns, S2 is closed at 200 ns and S3 is closed at 280 ns.

In Figure 8 simulation result for a positive pulse generation mode is given.

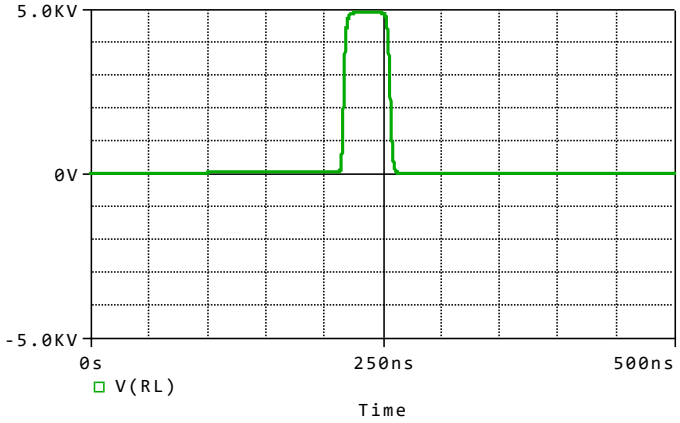


Figure 8. The unipolar negative pulse when switches S1 is closed at 200 ns, S2 is closed at 99 ns and S3 is closed at 240 ns.

These results confirm the generator's capability to produce flexible, high-voltage pulse waveforms suitable for various applications.

IV. DISCUSSION

The simulation outcomes demonstrate the robustness and versatility of the proposed bipolar pulse generator design. By adjusting the timing parameters and, the generator enables precise control over both

the duration and polarity of the output pulses. This control is critical for applications where pulse timing, symmetry, or asymmetry can influence system performance, such as in biomedical procedures requiring controlled tissue interaction or plasma discharges necessitating tailored energy delivery profiles.

One of the key strengths of this design lies in its simplicity. The use of only three switches in conjunction with a standard transmission line makes it both economical and easily scalable. The ability to produce unipolar, symmetric, and asymmetric bipolar pulses within the same architecture enhances its utility across a broad spectrum of use cases. Furthermore, the use of matched load conditions and standard RG58 cable suggests ease of implementation in practical hardware scenarios.

However, the results are based on idealized simulations. Factors such as switch jitter, parasitic effects, and cable losses in real-world hardware could affect performance. Future work should thus focus on experimental validation, integrating faster switches and evaluating performance under varying loads and environmental conditions.

V. CONCLUSION

This study introduced a simple, yet highly adaptable bipolar pulse generator based on a transmission line and three switches. Capable of producing precise high-voltage waveforms with variable duration and polarity, the design proved effective in simulation for a wide range of configurations, including symmetric, asymmetric, and unipolar outputs. The results highlight its potential in high-voltage pulsed power systems, especially in biomedical, UWB, and plasma applications. Future work will involve building a physical prototype and evaluating its performance under practical conditions Future work will focus on hardware implementation and experimental validation.

REFERENCES

[1] Zhuge, Y., Liang, J., Fu, M., Long, T., & Wang, H. (2023). Comprehensive overview of power electronics intensive solutions for high-voltage pulse generators. IEEE Open Journal of Power Electronics, 5, 1-20.

[2] Zhang, W., Lin, M., Li, H., & Qi, X. (2025). A Novel Ultrashort Bipolar High-Voltage Pulsed Power Generator. IEEE Transactions on Industrial Electronics.

[3] Wu, Z., Lu, W., Ding, E., Bao, X., Yang, Z., & Song, F. (2021). A compact high-power ultra-wideband bipolar pulse generator. Laser and Particle Beams, 2021, e5.

[4] Yao, C., Dong, S., Zhao, Y., Mi, Y., & Li, C. (2016). A novel configuration of modular bipolar pulse generator topology based on Marx generator with double power charging. IEEE Transactions on Plasma Science, 44(10), 1872-1878.

[5] Bae, S., Kwasinski, A., Flynn, M. M., & Hebner, R. E. (2010). High-power pulse generator with flexible output pattern. IEEE Transactions on Power Electronics, 25(7), 1675-1684.

[6] Ito, H., Igawa, K., Kitamura, I., & Masugata, K. (2007). Bipolar pulse generator for intense pulsed ion beam accelerator. Review of scientific instruments, 78(1).

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

ICSIS

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Working Principle of Supercritical CO_2 Extraction and Its Use in Recent Years

Memik Can KARATAŞ[1], Mehmet Hakan ÇOLPAN[2], Murat YILDIRIM[1,*]

[1]*Department of Biotechnology, Faculty of Science, Selcuk University, 42130, Konya, Türkiye*
[2]*Deparment of Property Protectıon and Securıty, Kadınhanı Faik İçil Vocatıonal School Selcuk University, 42800, Konya, Türkiye*

[*]*muratyildirim@selcuk.edu.tr (Corresponding author)*

Abstract **–** Supercritical carbon dioxide (CO_2) extraction is an innovative method that is increasingly replacing traditional solvents due to its environmentally friendly nature and efficiency. CO_2 enters a supercritical phase at 31.1°C and 73.8 atm, gaining the ability to diffuse like a gas and dissolve substances like a liquid. This dual property enhances the solubility of compounds, enabling high-purity and residue-free extraction. The method's sustainability is particularly noteworthy as it does not require the use of chemical solvents. Supercritical CO_2 extraction is widely used in the food, pharmaceutical, cosmetic, and biotechnology industries. In the food industry, it yields superior results in processes such as decaffeination of coffee and extraction of aromatic oils. In pharmaceuticals, it is preferred for obtaining plant-based antioxidants, flavonoids, and vitamins with high purity. In cosmetics, it stands out as an effective method for purifying essential oils and plant extracts. These applications contribute to improved product quality and consumer safety. Despite its advantages, supercritical CO_2 extraction comes with certain challenges. The systems require high initial investment for setup and operation. Achieving supercritical conditions also demands significant energy input. Moreover, since each compound has unique solubility parameters, precise control of the process is essential. Overall, supercritical CO_2 extraction is a promising technology in both environmental and economic terms. With advancing engineering solutions and growing environmental awareness, this method is expected to become more widespread and accessible.

Keywords – Supercritical carbondioxide extraction, Green technology, High-purity extraction, Food and pharmaceutical applications, Sustainable processes

I. INTRODUCTION

Supercritical CO_2 extraction stands out as a much more environmentally friendly and efficient alternative to traditional extraction methods, particularly in the food, pharmaceutical, cosmetic, and biotechnological industries. CO_2 is naturally an eco-friendly compound, and when in its supercritical state, its solvent capacity increases significantly. This makes it possible to obtain various natural products without the use of harmful chemicals. This advantage of supercritical CO_2 is driving a major transformation in industrial production processes [1].

Among the foremost advantages of supercritical CO_2 extraction are its minimal environmental impact, efficient solvent recovery, low operational temperatures, and high extraction efficiency. In comparison to conventional solvent-based methods, SC-CO_2 generates significantly less chemical waste while enabling the extraction of a wide range of bioactive compounds with high purity. This thesis aims to present a comprehensive examination of supercritical CO_2 extraction, encompassing its fundamental principles, practical applications, and the associated challenges encountered in its implementation [2].

A. Fundamental Principles and Physical Properties of Supercritical CO_2

Supercritical CO_2 is formed when carbon dioxide reaches its critical point, where the distinction between its liquid and gas phases ceases to exist. Under these conditions, CO_2 exhibits both gas-like diffusivity and liquid-like solvating power. This unique state enables supercritical CO_2 to enhance the solubility of various compounds, facilitating the efficient extraction of different components. One of the key advantages of supercritical CO_2 is that its solvating capacity can be finely tuned by adjusting temperature and pressure Critical Temperature (Tc): 31.1°C, Critical Pressure (Pc): 73.8 atm.These values define the precise thermodynamic conditions necessary for CO_2 to transition into its supercritical state. Once these parameters are achieved, supercritical CO_2 exhibits an enhanced ability to dissolve various compounds, thereby enabling significantly more efficient extraction processes [2].

Applications

Food Industry

Supercritical CO_2 extraction is widely employed in the food industry, particularly for the extraction of flavors and oils. One of the most well-known applications is the removal of aroma compounds from coffee and tea. Compared to traditional solvent-based methods, extraction with supercritical CO_2 yields products of significantly higher purity and quality. Furthermore, one of the major advantages of this technique is the preservation of nutritional value during the extraction process [3]. For instance, the extraction of caffeine from coffee beans is carried out using supercritical CO_2. This enables the production of decaffeinated coffee in a more efficient and environmentally friendly manner.

Pharmaceutical and Biotechnological Applications

In the pharmaceutical industry, the extraction of biologically active compounds from plant-based sources holds significant importance [4]. The use of supercritical CO_2 is particularly effective for the extraction of biological and pharmaceutical compounds with high levels of purity. One of the key advantages of this technique is the absence of solvent residues in the final product, which significantly enhances the safety and quality of pharmaceutical applications. For instance, active compounds such as antioxidants, vitamins, and flavonoids are efficiently extracted using supercritical CO_2.

Cosmetic Industry

In the cosmetics industry, supercritical CO_2 is widely used for the extraction of plant-based extracts and essential oils. It has proven highly effective, particularly in the purification of volatile oils and other natural compounds. This method enables the production of pure, high-quality extracts without leaving behind chemical residues. For example, supercritical CO_2 is commonly employed in the purification of cosmetic compounds such as argan oil and aloe vera extracts [5].

Discussion and Challenges

While supercritical CO_2 extraction offers numerous advantages, there are also several challenges associated with its use. These challenges include:

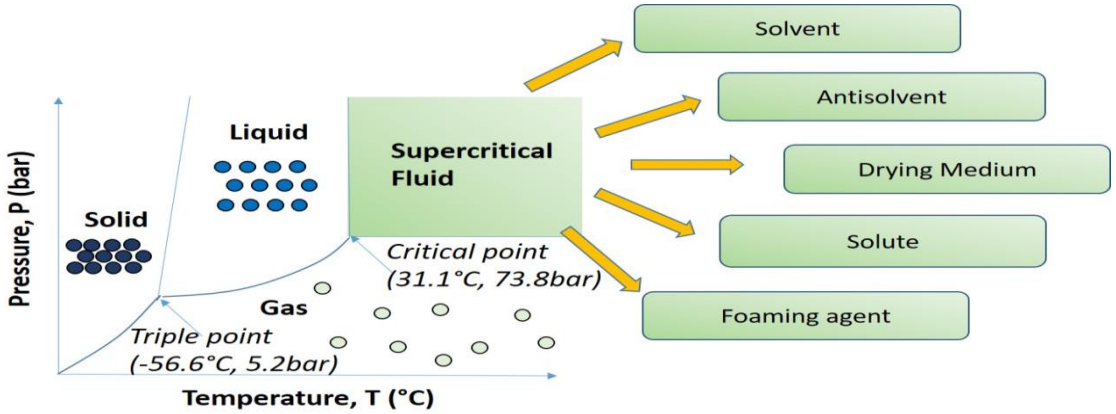


Figure 1 Supercritical phase diagram [6]

The phase diagram above illustrates the phase transitions a substance undergoes in response to changes in temperature and pressure. In addition to the solid, liquid, and gas phases, when a substance is subjected to conditions above a specific temperature and pressure (critical point: 31.1°C, 73.8 bar), it transitions into the "supercritical fluid" state. Supercritical fluids, while exhibiting low viscosity and high diffusion capacity similar to gases, can also have high density, akin to liquids. Due to these unique properties, supercritical fluids are employed in various industrial and scientific fields.

Supercritical fluids can be utilized for a range of purposes, such as solvents, antisolvents, drying media, solutes, or foaming agents. These versatile applications make them valuable in disciplines such as pharmaceuticals, food industry, chemistry, and materials engineering, offering environmentally friendly and efficient processes [6].

High Initial Cost: The setup and operation of supercritical CO_2 extraction systems require significant initial investment, which can pose challenges for small-scale production. Energy Consumption: Since the production of supercritical CO_2 requires high pressure, energy consumption is elevated. This could represent a significant limitation from a sustainability perspective. Solubility Capacity: The solubility of certain compounds in supercritical CO_2 is limited. Therefore, it is essential to determine the optimal solubility parameters for each specific compound. Operational Challenges: To optimize the efficiency of supercritical CO_2 extraction systems, system parameters (such as temperature, pressure, and time) must be carefully adjusted.

Model	150L*2
Annual Capacity,kg(24*7*360)	108000
Capacity/24 Hours,kg[Ibs]	300[661]
Extractor	150L*2
Separator	30L*2/3
Extractor's Working Pressure,Mpa[psi]	≤40[5800]
Separator's Working Pressure,Mpa[psi]	≤16[2320]
Working Temperature,°C	≤85
Power,KW	110
CO_2 Flowrate,L/H	1000
Material	SUS304/316/316L/321
L*W,M[ft]	10*10[33*33]
Workshop Height,M[ft]	≥6[19.68]

Figure 2 Supercritical working principles [7]

This table summarizes the technical specifications of a supercritical CO_2 extraction system consisting of two 150-liter extractors and three separators, including key parameters such as operating pressure, temperature, capacity, and material composition [7].

II. Materials and Method

In this study, plant-based samples were used to evaluate the feasibility of supercritical CO_2 extraction. A laboratory-scale supercritical fluid extraction unit was chosen for the extraction processes. The CO_2 used in the experiments was obtained in a liquefied form with a purity of 99.9%. The plant materials under investigation were dried and then ground into a homogeneous powder. This process was carried out to enhance extraction efficiency [8][9].

At the beginning of the experimental process, CO_2 was transferred from the tank to the system, and the system was stabilized using heating and pressure control units until supercritical conditions were reached [10]. In order for CO_2 to transition into a supercritical state, the system temperature was set to 40°C, and the pressure was adjusted to 80 atm. The extraction process was carried out at different durations (30, 60, and 90 minutes) to perform a time-dependent yield analysis [11].

At the end of the extraction, CO_2 was converted back into the gas phase for separation, and the collected extracts were weighed and analyzed. The obtained samples were evaluated using UV-Vis spectroscopy and/or gas chromatography (GC) for content determination [12].

Throughout the method, each experimental step was conducted with constant parameters to ensure reproducibility, and all measurements were performed in triplicate [13]. In addition, critical parameters such as temperature and pressure were continuously monitored and recorded throughout the process. This method was used to evaluate the performance of supercritical CO_2 extraction in terms of both yield and purity [14].

III. DISCUSSION

Supercritical CO_2 extraction presents a significant advancement in green extraction technologies by combining high efficiency with environmental sustainability. The method's ability to extract high-purity compounds without the use of harmful solvents offers a major advantage across industries such as food, pharmaceuticals, and cosmetics. Additionally, the ability to fine-tune the solvating power of CO_2 by adjusting pressure and temperature allows for selective extraction of specific bioactive compounds. However, despite these benefits, certain limitations hinder the broader application of supercritical CO_2 extraction. The high initial investment cost for equipment and the substantial energy requirement to maintain supercritical conditions represent major economic challenges, particularly for small and medium-sized enterprises. Furthermore, the solubility behavior of target compounds must be carefully studied and optimized for each application, which can increase the complexity and cost of process development.Nevertheless, continuous improvements in system design, energy efficiency, and engineering solutions are expected to make supercritical CO_2 extraction more accessible in the future. As industries increasingly prioritize sustainability and product purity, this method holds strong potential for wider adoption. Future research should focus on overcoming current limitations by developing cost-effective and energy-efficient extraction systems.

IV. CONCLUSION

Supercritical CO_2 extraction stands out as an environmentally friendly, safe, and highly efficient separation method. Its ability to operate at low temperatures, absence of solvent residues, and selectivity

offer significant advantages, especially in the food, cosmetic, and pharmaceutical industries. The studies conducted have shown that this method contributes to sustainable production while preserving product quality. However, the high installation cost of the system and energy requirements are the main barriers to its widespread adoption. In future studies, the development of lower-cost systems and improvements in energy efficiency will make it possible to use this method in a broader range of applications. Supercritical CO_2 extraction is a powerful alternative that aligns with today's production approach, which supports innovative and environmentally friendly solutions.

REFERENCES

[1] T. Ahmad, Supercritical Fluid Extraction : A Review Supercritical Fluid Extraction : A Review, (2019).

[2] S.D. Manjare, K. Dhingra, Supercritical fluids in separation and purification: A review, Mater. Sci. Energy Technol. 2 (2019) 463–484. doi:10.1016/j.mset.2019.04.005.

[3] M. Herrero, J.A. Mendiola, A. Cifuentes, E. Ibáñez, Supercritical fluid extraction: Recent advances and applications, J. Chromatogr. A. 1217 (2010) 2495–2511. doi:10.1016/j.chroma.2009.12.019.

[4] M. Yılmaztekin, H. Erten, T. Cabaroğlu, Gıda Biyoteknolojisinde Aroma Maddelerinin Süperkritik Akışkan Yöntemiyle Ekstraksiyonu, Gıda. 30 (2005).

[5] E. Öztaş, F. Galip, A. Murathan, SÜPERKRİTİK AKIŞKAN ÖZÜTLEMESİYLE BÖĞÜRTLENDE (RUBUS FRUCTICOSUS) DOĞAL ANTİOKSİDAN TESPİTİ, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimar. Fakültesi Derg. 26 (2013).

[6] S.H. Soh, L.Y. Lee, Microencapsulation and Nanoencapsulation Using Supercritical Fluid (SCF) Techniques, Pharmaceutics. 11 (2019) 21. doi:10.3390/pharmaceutics11010021.

[7] https://www.careddisupercritical.com/300l-150Lx2-Industrial-Scale-Supercritical-Co2-Extraction-Machine-pd46108306.html?utm_source=, (n.d.).

[8] V. Khandare, S. Walia, M. Singh, C. Kaur, Black carrot (Daucus carota ssp. sativus) juice: Processing effects on antioxidant composition and color, Food Bioprod. Process. 89 (2011) 482–486. doi:10.1016/j.fbp.2010.07.007.

[9] H. Li, M. Zhang, H. Li, H. Yu, S. Chen, W. Wu, P. Sun, Discovery of Venturicidin Congeners and Identification of the Biosynthetic Gene Cluster from Streptomyces sp. NRRL S-4, J. Nat. Prod. 84 (2021) 110–119. doi:10.1021/acs.jnatprod.0c01177.

[10] R. Ekinci, M.F. Genişel, F.M. Kılınç, S. Kaya, A. Onay, Evaluation of Supercritical Carbon Dioxide Extraction Method and Some Conventional Extraction Methods for The Determination of Fatty Acid Content from Peganum harmala L. Seed, Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Derg. 23 (2018) 293–299.

[11] U. Değirmenci, Geleneksel Tıpta Kullanılan Tıbbi ve Aromatik Bitkilerden Süperkritik Akışkan (CO2) Ekstraksiyon Yöntemiyle Ekstre Eldesinin Avantajları, Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folk. Tıp Derg. 12 (2022) 1–2.

[12] K. KASAPOĞLU, E. DEMİRCAN, M. ÖZGÜVEN, B. ÖZÇELİK, Siyah Kuşburnu Meyvesinden Süperkritik CO2 Ekstraksiyonu ile Doğal Pigment Eldesinin Yüzey Yanıt Yöntemi Kullanılarak Modellenmesi ve Optimizasyonu, Eur. J. Sci. Technol. (2020). doi:10.31590/ejosat.747799.

[13] L. Nuralın, A. Tosun, F. Erol, F.B. Akgün, M. Gürü, Süper kritik CO2 özütlemesi ile iğde çekirdeklerinden quercetin miktarının yüzey cevap metodu ile optimizasyonu, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimar. Fakültesi Derg. 32 (2017) 1233–1242. doi:10.17341/gazimmfd.369655.

[14] E. Hoşgün, B. Bozan, MODELING OF SUPERCRITICAL FLUID EXTRACTION KINETIC OF FLAXSEED OIL BY DIFFUSION CONTROL METHOD, Anadolu Univ. J. Sci. Technol. A - Appl. Sci. Eng. 14 (2013) 39–45.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

ICSIS

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Experimental Application of Tilt Integral Derivative (TID) Controller on PMSM Speed Control System with Using Simulink and TI F28335 DSP

Erdem Ilten*

Department of Electrical-Electronics Engineering, Balikesir University, Türkiye

**(erdemilten@balikesir.edu.tr) Email of the corresponding author*

Abstract – This study is about the application of tilt integral derivative (TID) control method to the speed control system of permanent magnet synchronous motor (PMSM) in an experimental environment. 0.4 kW PMSM with optical encoder is used in the experimental setup. The motor is driven via the inverter circuit with TI F28335 DSP. Necessary algorithms are prepared in Simulink environment and compiled with *Embedded Coder* tool and loaded to the DSP card. The system can be monitored in real time via a user panel prepared in Simulink environment. The reference speed value in the system is changed every 10 seconds and the tracking performance of the TID speed controller is examined. The results are presented in the form of RPM-time graph.

Keywords – TID control, PMSM, Simulink, Embedded Coder, DSP

I. INTRODUCTION

Tilt Integral Derivative (TID) control is a variant of classical PID (Proportional-Integral-Derivative) control that is particularly well-suited for systems exhibiting rotational or angular dynamics. TID control is often applied in balance-oriented control systems such as self-balancing robots, gimbals, and inverted pendulum systems, where "tilt" refers to angular deviation from a desired equilibrium. In a TID controller, the "Tilt" component typically replaces the proportional term found in standard PID control, offering a more tailored response to angular errors. It directly addresses the system's tilt or angular position, making it more intuitive and effective for applications requiring stability and quick correction of angular displacement. Just like PID control, TID incorporates:

- **Tilt (T):** Measures angular error or deviation.
- **Integral (I):** Accounts for accumulated tilt error over time to eliminate steady-state error.
- **Derivative (D):** Predicts future tilt based on the rate of change, helping to dampen oscillations and improve system stability.

By focusing on tilt as the primary control variable, TID controllers can provide smoother and more responsive control in dynamic, balance-sensitive systems. Their application is especially valuable where rapid correction of angular motion is crucial to maintaining system stability.

Permanent Magnet Synchronous Motors (PMSMs) are a class of electric motors that combine high efficiency, compact size, and excellent performance, making them a popular choice in modern applications such as electric vehicles [1,2], industrial automation, robotics [3], and home appliances. A PMSM operates using permanent magnets embedded in or attached to the rotor, which generate a constant magnetic field. The stator, on the other hand, produces a rotating magnetic field when energized with a three-phase AC supply [3]. The interaction between the rotor's magnetic field and the stator’s rotating field produces torque,

causing the rotor to spin in sync with the stator's magnetic field—hence the term synchronous. PMSMs offer several key advantages:

- High efficiency due to the absence of rotor current losses.
- High power density and torque-to-weight ratio.
- Smooth and precise control, especially at high speeds.
- Low maintenance due to the lack of brushes and slip rings.

There are two main types of PMSMs:

- **Surface-mounted PMSM (SPMSM):** Magnets are mounted on the rotor surface.
- **Interior PMSM (IPMSM):** Magnets are embedded within the rotor, offering better performance under high-speed and high-load conditions.

With the growing demand for energy-efficient and high-performance electric drive systems, PMSMs have become a cornerstone technology in the shift toward electrification and smart motor control systems.

Microcontrollers (MCUs) and Digital Signal Processors (DSPs) are two fundamental types of embedded processors widely used in modern electronic systems. Both play crucial roles in enabling intelligent control, data processing, and automation across a broad range of applications—from consumer electronics to industrial machinery and automotive systems.

Microcontrollers (MCUs):

A microcontroller is a compact integrated circuit designed to govern specific operations in embedded systems. It typically includes a processor core (CPU), memory (RAM and flash), and peripherals such as timers, analog-to-digital converters (ADC), and communication interfaces (like UART, SPI, and I²C), all integrated on a single chip. Microcontrollers are optimized for control-oriented tasks, such as reading sensors [4,5], managing actuators [6,7], and handling user interfaces [8,9]. They are commonly found in applications like home appliances, wearable devices, automotive control systems [10], and smart home products. Key features:

- Low power consumption
- Real-time control
- Cost-effective and easy to program
- Ideal for simple to moderately complex control tasks

Digital Signal Processors (DSPs):

Digital Signal Processors are specialized microprocessors designed specifically for high-speed numerical computations required in digital signal processing [11,12]. They excel at tasks like filtering, audio and video processing, and real-time data analysis. DSPs feature optimized architectures for fast arithmetic operations (e.g., multiply-accumulate), parallel processing, and low-latency execution. These capabilities make them suitable for computationally intensive applications such as voice recognition, image processing, telecommunications, and radar systems. Key features:

- High-speed mathematical processing
- Efficient handling of real-time signal data
- Specialized instruction sets for DSP algorithms
- Often used alongside MCUs in complex systems

While MCUs provide general-purpose control for a wide range of tasks, DSPs are used where rapid data processing and real-time computation are critical. In many advanced systems, both may be used together to leverage the strengths of each.

Simulink is a graphical programming environment integrated with MATLAB, widely used for modeling, simulating, and analyzing dynamic systems. It allows engineers to build block diagrams that represent

mathematical models of systems such as control algorithms, signal processing chains, and physical systems like motors or mechanical structures [13,14]. Key capabilities of Simulink include:

- Intuitive drag-and-drop interface for system modeling
- Real-time simulation and visualization of system behavior
- Integration with MATLAB for scripting and data analysis
- Support for continuous, discrete, and hybrid systems

Simulink is widely used across industries like automotive, aerospace, robotics, and energy for designing and testing control systems before hardware implementation.

Embedded Coder extends the capabilities of Simulink and MATLAB by enabling automatic code generation for embedded systems. It generates high-quality, readable, and efficient C or C++ code from Simulink models, suitable for deployment on microcontrollers, DSPs, and other embedded processors [15,16]. Key benefits of *Embedded Coder* include:

- Generation of production-grade code for real-time embedded systems
- Customization of code to match target hardware and coding standards
- Support for software-in-the-loop (SIL), processor-in-the-loop (PIL), and hardware-in-the-loop (HIL) testing
- Seamless integration with embedded development workflows

By using Simulink and *Embedded Coder* together, engineers can dramatically reduce development time, improve design accuracy, and ensure consistency between simulation and real-world implementation.

II. Materials and Method

The fractional method was preferred as the TID controller. For this, the FOMCON toolbox was used in Simulink. The TID controller equation is given below [17,18].

$$u(s) = K_t \cdot \frac{e(s)}{\frac{1}{s^n}} + K_i \cdot \frac{e(s)}{s} + K_d \cdot s \cdot e(s) \tag{1}$$

In Equation (1), K_t, K_i and K_d are tilt, integral and derivative coefficients, respectively. $1/n$ is the order of the integral. The block diagram of the system is presented in Fig. 1.

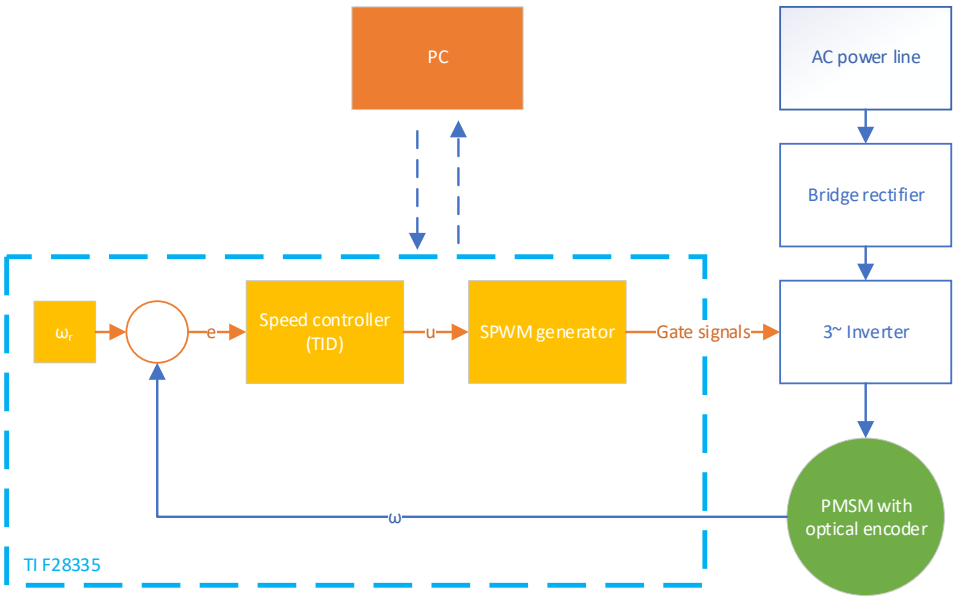


Fig. 1 Block diagram of the PMSM speed control system.

The experimental setup is given in Fig. 2. The experimental setup consists of 1 0.4 kW PMSM with optical encoder, 1 bridge rectifier circuit, 1 inverter driver circuit, 1 TI F28335 DSP and 1 PC.

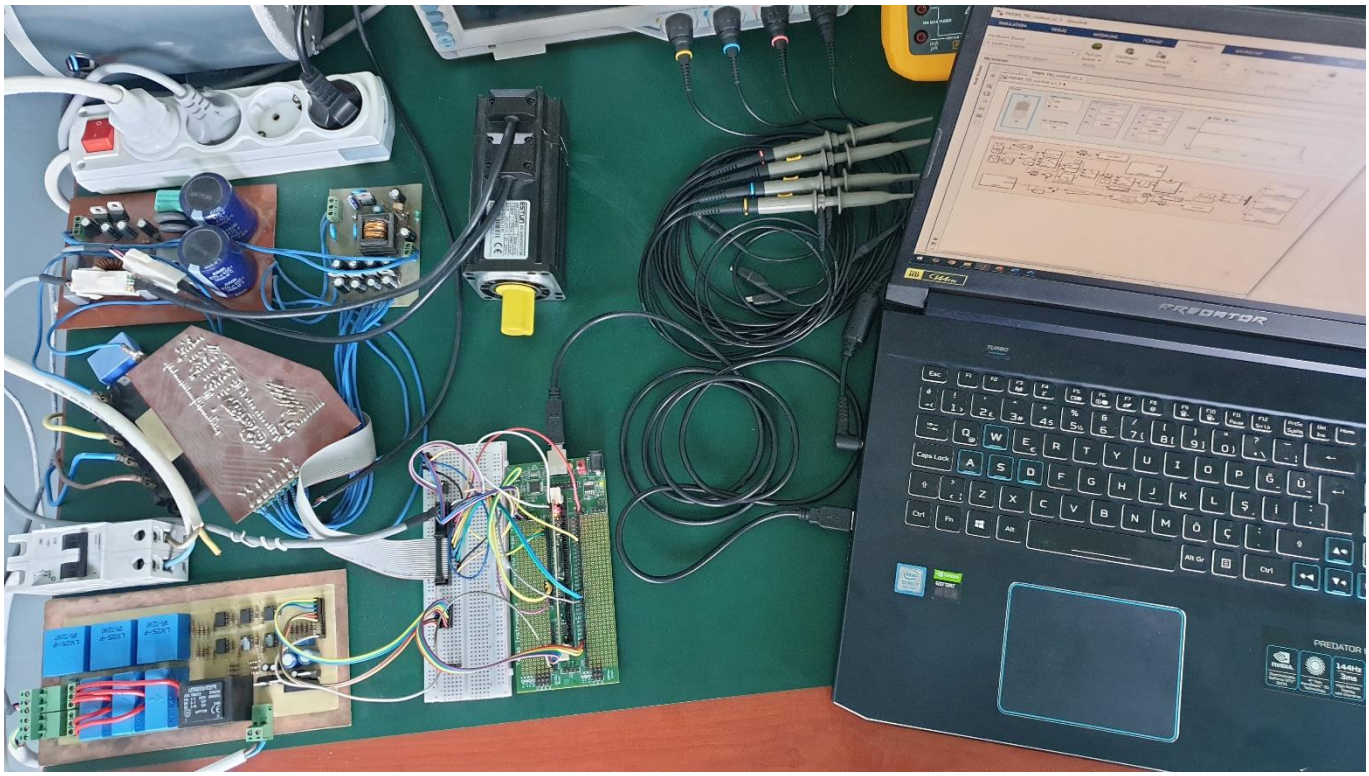


Fig. 2 The experimental setup.

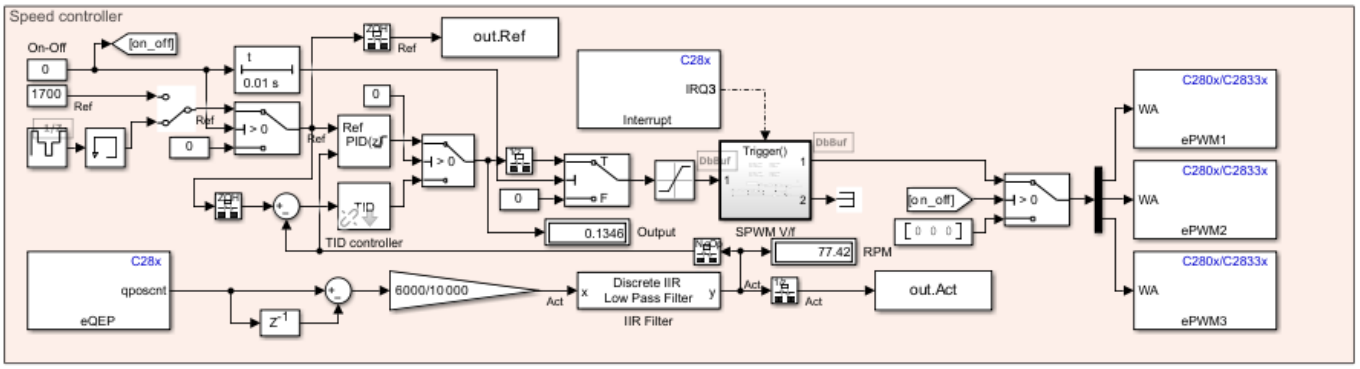


Fig. 3 Simulink block diagram for TI 28335 DSP.

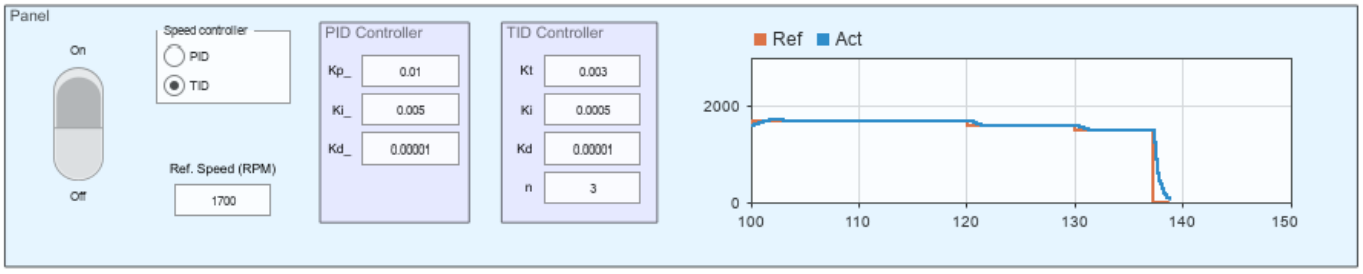


Fig. 4 PC control panel.

The codes prepared in the Simulink environment for DSP are presented in Fig. 3. Here, the TID controller block is used from the FOMCON toolbox [17]. The speed is calculated by taking the derivative of the position information read from the encoder with respect to time. The measured speed is compared with the reference speed value and the speed controller blocks (PID or TID) operate according to the error value in between. The value produced by the speed controller is converted within the SPWM block and gate signals for the inverter are obtained. These gate signals are sent to the PWM outputs of the DSP card via ePWM blocks.

The panel designed for monitoring and controlling the system via PC is presented in Fig. 4. The system can be turned on and off via this panel, PID or TID method can be selected, coefficient values for PID and TID can be entered. In addition, measured and reference speed values are plotted in real time.

III. RESULTS

TID based PMSM speed control system is tested on the experimental setup. The reference speed value is changed at 1600 RPM, 1700 RPM, 1600 RPM, 1500 RPM, 1600 RPM values respectively. The speed tracking performance of the TID controller for this case is presented in Fig. 5. In this study, no coefficient optimization was performed for TID. The obtained data are the results of the experiment with coefficients determined by the user. These coefficients are K_t=0.003, K_i=0.0005, K_d=0.00001 and n=3. When Fig. 5 is examined, it is seen that there is an overshoot in the sudden reference speed change regions. However, it is also noticeable that the system recovers quickly.

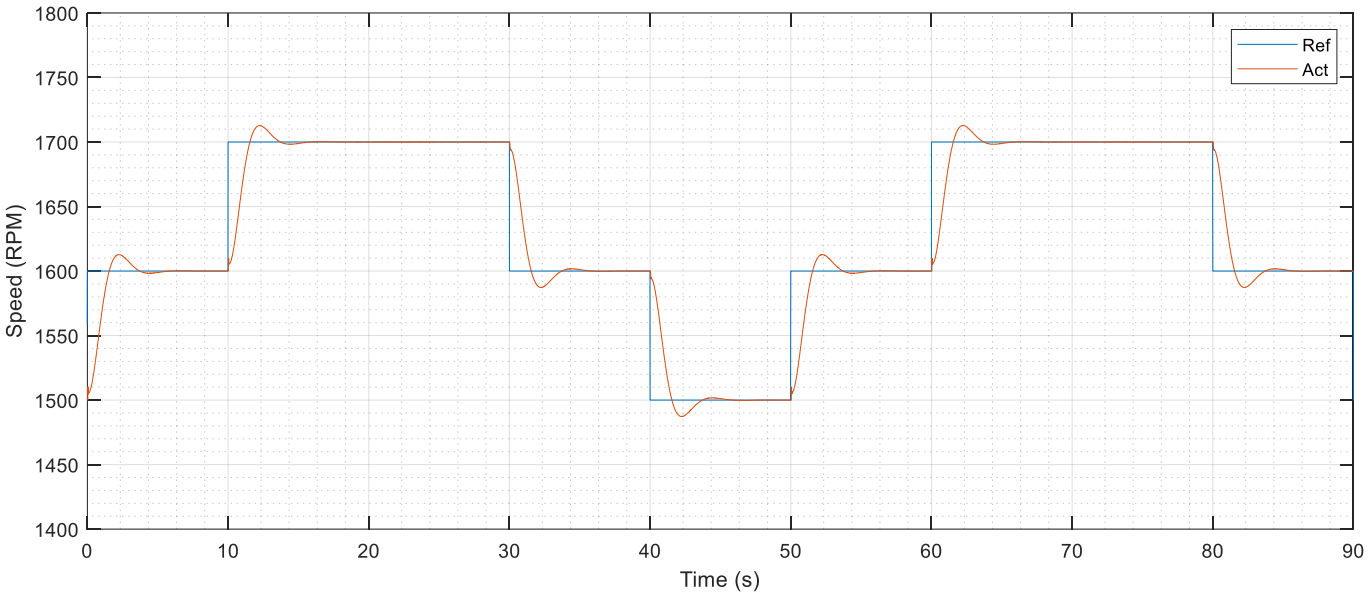


Fig. 5 Test results.

IV. CONCLUSION

In this study, the application of TID control method in PMSM speed control in an experimental environment is explained. The necessary DSP codes for reading the motor position information, operating the TID control method, and generating gate signals for the inverter were prepared in the Simulink environment. The prepared codes were compiled with the *Embedded Coder* tool and loaded onto the DSP card. In addition, a user panel was designed in the Simulink environment. With this panel, the system can be monitored in real time from the PC screen. In the experiments, the reference speed value of the system was changed every 10 seconds and the tracking performance of the TID speed controller was examined. When the results were examined, it was seen that the PMSM speed control with TID was successfully performed.

REFERENCES

[1] Boumegouas MKB, Ilten E, Kouzi K, Demirtas M, M'hamed B. Application of a novel synergetic observer for PMSM in electrical vehicle. Electrical Engineering 2024;106:5507–21. https://doi.org/10.1007/s00202-024-02297-9.

[2] Ilten E, Demirtas M. Permanent Magnet Synchronous Motor Flux Observer Implementation with TI F28335 DSP for Electric Vehicle System. International Conference on Modern and Advanced Research, 2023, p. 89–92.

[3] Ilten E. 2-DOF PID Speed Controller Application for PMSM with TI F28335 DSP and Simulink External Mode. 3rd International Conference on Scientific and Innovative Studies, All Sciences Academy; 2024, p. 286–91.

[4] Ilten E, Unsal ME. Real-Time Gas Measurement System Desing and Implementation on Simulink External Mode with Arduino. 1. Bilsel International Sur Scientific Researches Congress, Diyarbakir: 2024, p. 252–9.

[5] Ilten E. Toxic Gas-Meter Application for Android Device with Arduino Nano 33 IoT. 4th International Conference on Innovative Academic Studies, All Sciences Academy; 2024, p. 125–30.

[6] Ilten E. Super-Twisting Sliding Mode Liquid Level Control Implementation for Raspberry Pi. Innovative Studies In Electrical, Electronic and Communication Engineering, All Sciences Academy; 2024, p. 5–17.

[7] Ilten E. Active Disturbance Rejection Control of a Coupled Tank System with Raspberry Pi Implementation. International Conference on Innovative Academic Studies, 2023, p. 370–3.

[8] Ilten E. Induction Motor Speed Controller Interface Design Via Simulink External Mode. II. International Joint Conference on Engineering, Science and Artificial Intelligence, 2022, p. 59–63.

[9] Ilten E. Self-Excited Induction Generator Wireless Control Panel Design on Simulink External Mode with Raspberry Pi. 3rd International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences, 2024, p. 740–5.

[10] Küçükdermenci S, Ilten E. Arduino Based Fire Extinguisher Vehicle Design and Application. International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches 2025;9:223–32. https://doi.org/10.5281/zenodo.14897860.

[11] Ilten E. Permanent Magnet Synchronous Motor Control Interface Design and Implementation with TI F28335 DSP on Simulink External Mode. International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences, vol. 1, 2023, p. 67–70.

[12] Ilten E. Sliding Mode Observer Application for PMSM with TI F28335 DSP. 1. Bilsel International Sur Scientific Researches Congress, Diyarbakir: Astana Publications; 2024, p. 260–9.

[13] İlten E. Synchronization of a 4D Hyperchaotic System with Active Disturbance Rejection Control and Its Optimization via Particle Swarm Algorithm. Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering 2024;24:465–75. https://doi.org/10.35414/akufemubid.1379669.

[14] Ilten E. DC motor position control with Raspberry Pi on Simulink wireless external mode. International Conference on Pioneer and Innovative Studies, vol. 1, 2023, p. 228–31.

[15] Ilten E. Raspberry Pi Sense Hat Application on Simulink. New Trends and Frontiers in Engineering, All Sciences Academy; 2024, p. 164–77. https://doi.org/10.5281/zenodo.14016090.

[16] Ilten E. Three-Phase Voltage and Current Meter and Data Scope Application for Android Device with Arduino. New Trends in Electrical, Electronic and Communication Engineering, All Sciences Academy; 2024, p. 31–44.

[17] Aleksei Tepljakov. FOMCON Toolbox for MATLAB. GitHub 2025. https://github.com/extall/fomcon-matlab/releases/tag/v1.50.4 (accessed April 25, 2025).

[18] Tepljakov A, Vunder V, Petlenkov E, Nakshatharan SS, Punning A, Kaparin V, et al. Fractional-order modeling and control of ionic polymer-metal composite actuator. Smart Materials and Structures 2019;28:084008. https://doi.org/10.1088/1361-665X/ab2c75.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

ICSIS

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Plazmonik Soy Metal Sensörlerin Çalışma Prensiplerin İncelenmesi

Muhammet YAŞAR[1], İlhan CANDAN[2]

[1]Fizik, Fen Bilimleri Enstitüsü, DİCle Üniversitesi, Türkiye
[2]Fizik, Fen Fakültesi, Dicle Üniversitesi, Türkiye

(muhammetyasar1@gmail.com)

Özet **–** Bu çalışmada, plazmonik soy metal sensörlerin (özellikle altın ve gümüş bazlı) temel çalışma prensipleri, yapısal özellikleri ve uygulama alanları incelenmiştir. Yüzey Plazmon Rezonansı (SPR) ve Yerelleştirilmiş Yüzey Plazmon Rezonansı (LSPR) olmak üzere iki ana mekanizma üzerinden çalışan bu sensörler, çevresel değişiklikleri yüksek hassasiyetle algılayabilen optik sistemlerdir. Etiket gerektirmeyen, gerçek zamanlı ve düşük tespit sınırına sahip olan bu teknolojiler; tıbbi tanı, çevre izleme, gıda güvenliği ve kimyasal analiz gibi pek çok alanda yaygın biçimde kullanılmaktadır. SPR sistemleri yüksek hassasiyet gerektiren laboratuvar analizlerinde tercih edilirken, LSPR sistemleri düşük maliyet ve taşınabilirlik avantajları ile öne çıkmaktadır. Çalışmada ayrıca bu sensörlerin avantajları ve sınırlılıkları detaylı olarak değerlendirilmiş, gelecekteki gelişim alanlarına yönelik öngörüler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler – Plazmonik sensörler, Yüzey Plazmon Rezonansı (SPR), Yerelleştirilmiş Yüzey Plazmon Rezonansı (LSPR), Biyosensör uygulamaları, Optik algılama

1. GİRİŞ

Günümüzde bilimsel ve teknolojik gelişmeler, özellikle nanoteknoloji ve fotonik alanlarında önemli ilerlemelere sahne olmaktadır. Bu ilerlemelerin en dikkat çeken örneklerinden biri de plazmonik sensör teknolojileridir. Plazmonik sensörler, özellikle soy metallerin (altın, gümüş gibi) yüzeyinde meydana gelen plazmonik rezonans olaylarından faydalanarak, çevresel değişiklikleri yüksek hassasiyetle algılayabilen optik sensörlerdir. Bu sistemler, ışığın metal yüzeylerle etkileşimi sonucu oluşan yüzey plazmonlarının optik özelliklerini temel alarak çalışmakta ve biyokimyasal olayların gerçek zamanlı ve etiketsiz (label-free) olarak izlenmesine imkân tanımaktadır.

Plazmonik sensörlerin temelinde yer alan fiziksel mekanizma, ışığın belirli koşullar altında metal yüzeydeki serbest elektronlarla rezonansa girmesi ve bunun sonucunda meydana gelen karakteristik sinyal değişimleridir. Bu optik etkileşim, ortamın kırılma indisi gibi fiziksel parametrelere karşı oldukça hassastır. Dolayısıyla, bu tür sensörler; biyomoleküllerin bağlanması, kimyasal madde konsantrasyonlarının değişimi, toksik gazların tespiti gibi birçok farklı uygulama alanında kullanılabilmektedir.

Plazmonik soy metal sensörler, iki ana prensip çerçevesinde incelenmektedir: Yüzey Plazmon Rezonansı (SPR) ve Yerelleştirilmiş Yüzey Plazmon Rezonansı (LSPR). SPR genellikle düzlemsel metal yüzeyler üzerinde gerçekleşirken, LSPR daha çok metal nanoparçacıkların boyut ve morfolojisine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Her iki yöntem de algılama performansı açısından oldukça etkin olsa da, kullanım amaçlarına göre avantaj ve dezavantajlar taşımaktadır. Özellikle LSPR temelli sensörler, düşük maliyetli üretim süreçleri ve taşınabilir sistemlere kolayca entegre edilebilmesi sayesinde son yıllarda biyosensör uygulamalarında büyük ilgi görmektedir.

Bu çalışma kapsamında, plazmonik soy metal sensörlerin temel prensipleri detaylı şekilde incelenmekte; SPR ve LSPR yöntemlerinin fiziksel altyapısı, teknik farklılıkları, avantajları, sınırlamaları ve potansiyel

kullanım alanları karşılaştırmalı olarak ele alınmaktadır. Ayrıca, bu sensörlerin günümüzde bilimsel araştırma ve endüstriyel uygulamalarda oynadığı rol vurgulanarak, gelecekteki gelişim yönlerine de ışık tutulmaktadır.

2. KURAMSAL TEMEL

Plazmonik sensörlerin çalışma mekanizması, metal yüzeylerdeki serbest elektronların elektromanyetik ışık dalgaları ile etkileşime girerek oluşturduğu kolektif salınımlar olan plazmonlar üzerine kuruludur. Plazmonlar, iletken malzemelerin (özellikle soy metallerin) yüzeyinde serbest elektron yoğunluğunun optik uyarılma sonucu senkronize salınımlar gerçekleştirmesiyle ortaya çıkar. Bu olay, metal-dielektrik arayüzünde meydana geldiğinde "yüzey plazmonu" olarak adlandırılır. Işığın metal yüzeye belirli bir açıyla gönderilmesiyle rezonansa giren bu elektronlar, karakteristik bir enerji emilimi oluşturarak yüzey plazmon rezonansını (SPR) meydana getirir.

Bu fiziksel süreç, ortamın kırılma indisine son derece duyarlı olduğundan, yüzeye bağlanan herhangi bir biyomolekül ya da ortamda meydana gelen küçük bir değişiklik bile rezonans koşullarında kaymaya neden olur. Böylece, ortamda oluşan biyokimyasal etkileşimler doğrudan ve gerçek zamanlı olarak izlenebilir hâle gelir. Plazmonik etkileşimlerin bu yüksek hassasiyeti, sensör teknolojilerinin temel dayanağıdır.

Plazmonik etkileşimler iki ana başlık altında sınıflandırılmaktadır: Yüzey Plazmon Rezonansı (Surface Plasmon Resonance, SPR) ve Yerelleştirilmiş Yüzey Plazmon Rezonansı (Localized Surface Plasmon Resonance, LSPR).

2.1. Yüzey Plazmon Rezonansı (SPR)

SPR, genellikle düzlemsel bir altın veya gümüş yüzey üzerine gelen p-polarize (düzlem içi) ışığın, metal-dielektrik sınırında yüzey plazmonlarını uyarmasıyla gerçekleşir. Bu olay sırasında ışığın bir kısmı yansıtılırken, bir kısmı yüzeydeki serbest elektronlarla etkileşime girerek rezonansa uğrar. Işığın rezonans açısında yansıma şiddetinde ani bir düşüş gözlemlenir. Bu düşüş, ortamın optik özelliklerine (kırılma indisi, bağlanan moleküller, sıcaklık gibi) bağlı olarak kayar ve bu kayma, kantitatif analiz yapılmasına olanak sağlar.

SPR sistemleri, kimyasal ve biyolojik türlerin algılanmasında yüksek hassasiyet sunar ve bu yöntemle gerçekleştirilen ölçümlerin etiket gerektirmeden yapılabilir[1]. Ancak Oldukça hassas olmalarına rağmen genellikle pahalı optik düzenekler gerektirir ve çoğu zaman laboratuvar ortamına bağımlıdırlar. Bu da taşınabilirlik ve saha uygulamaları açısından bazı sınırlamalar oluşturur.

2.2. Yerelleştirilmiş Yüzey Plazmon Rezonansı (LSPR)

LSPR ise nanometre boyutundaki metal parçacıklar (örneğin Au veya Ag nanoparçacıkları) üzerinde gerçekleşen plazmonik bir etkileşimdir. Bu yöntemde, metal nanoparçacıklar üzerindeki serbest elektronlar, gelen ışığın etkisiyle lokalize olarak titreşir. Bu rezonansın frekansı; parçacık boyutu, şekli, yüzey morfolojisi ve çevresindeki ortamın optik özelliklerine bağlı olarak değişir. LSPR, rezonans dalga boyundaki kaymaları ölçerek algılama yapar. LSPR sistemlerinin çevresel kırılma indisine karşı oldukça hassas ve bu durum nanoparçacıkların şekil, boyut ve dizilimlerine bağlı olarak değişir[2].

LSPR tabanlı sensörler, nanoparçacıkların boyut ve şekline bağlı olarak optik özelliklerinin hassas şekilde ayarlanabilir ve bu nedenle biyosensör uygulamalarında geniş bir potansiyele sahiptir[3]. Ayrıca, daha basit ve ucuz optik sistemlerle çalışabildiğinden taşınabilir cihazlara kolayca entegre edilebilir. Nanoparçacıkların farklı şekillerde (küresel, çubuk, yıldız, kabuk vb.) sentezlenebilmesi sayesinde rezonans özellikleri kolaylıkla ayarlanabilir. Bu durum, sensörün seçiciliğini ve hassasiyetini artırır.

Bu kuramsal temel üzerine kurulan plazmonik sensör sistemleri, moleküler düzeyde biyokimyasal olayların algılanması için güçlü bir araç hâline gelmiştir. Bir sonraki bölümde, bu prensiplere dayalı olarak çalışan sensörlerin hangi alanlarda, ne tür avantajlarla kullanıldığı detaylandırılacaktır.

3. UYGULAMA ALANLARI

Plazmonik soy metal sensörler, yüzey plazmon rezonansı (SPR) ve yerelleştirilmiş yüzey plazmon rezonansı (LSPR) gibi temel fiziksel prensiplere dayalı olarak geliştirilmiş, yüksek duyarlılığa sahip algılama sistemleridir. Plazmonik yapılar özellikle biyosensör teknolojilerinde gelecek vaat eder ve klasik yöntemlere göre çok daha hassas ölçüm potansiyeli sunar[4]. Gelişen nanoteknoloji ve biyoteknoloji ile birlikte bu sensörlerin kullanım alanları hızla genişlemiş; sağlık, çevre, gıda, kimya ve güvenlik gibi birçok kritik sektörde etkin rol oynamaya başlamıştır.

3.1. Biyosensörler ve Tıbbi Tanı Sistemleri

Plazmonik sensörlerin en yaygın kullanım alanlarından biri biyosensör teknolojileridir. Plazmonik nanosensörler biyosensör teknolojisinde yüksek duyarlılık ve çoklu hedef algılama kapasitesini sunar[5]. DNA, RNA, protein, antijen-antikor etkileşimleri, enzim-substrat ilişkileri gibi biyomoleküler olayların doğrudan ve etiket kullanılmadan izlenebilmesi, bu sensörleri klinik tanı sistemlerinde son derece değerli kılmaktadır.

Özellikle kanser, enfeksiyon hastalıkları, genetik mutasyonlar gibi hastalıkların erken teşhisinde LSPR tabanlı sensörler, çok düşük konsantrasyonlarda biyobelirteçleri tespit edebilme yeteneği ile dikkat çekmektedir. Ayrıca COVID-19 pandemisi sırasında, viral proteinlerin tespitinde de plazmonik sensörlerin hızlı tanı amaçlı kullanıldığı görülmüştür.

3.2. Çevre İzleme ve Kirlilik Kontrolü

Çevre bilimlerinde, su ve hava kirliliği gibi konuların izlenmesi oldukça önemlidir. Ağır metaller (Pb^{2+}, Hg^{2+} gibi), pestisit kalıntıları, toksik gazlar ve diğer kirleticilerin tespitinde plazmonik sensörler, taşınabilirlik ve hızlı yanıt süreleri sayesinde geleneksel analiz yöntemlerine kıyasla önemli avantajlar sunar.

Örneğin, LSPR tabanlı sensörler ile içme suyunda eser miktardaki arsenik ya da kurşun iyonları, optik sinyaller aracılığıyla kolayca tespit edilebilmektedir. Bu sayede sürekli çevresel izleme yapan sistemlerin geliştirilmesi mümkün hâle gelmiştir.

3.3. Gıda Güvenliği

Gıda sanayisinde mikrobiyal kontaminasyon, pestisit kalıntısı, katkı maddesi ve bozulma göstergelerinin tespiti halk sağlığı açısından büyük önem taşır. Plazmonik sensörler, gıdalarda bulunan patojen mikroorganizmaların ya da kimyasal bileşiklerin varlığını hızlı ve etkili bir şekilde belirleyebilme kapasitesine sahiptir.

Örneğin, süt ürünlerinde antibiyotik kalıntılarının varlığı ya da et ürünlerinde bozulma sonucu oluşan biyojenik aminlerin tespiti gibi analizler, bu sensörlerle gerçek zamanlı olarak yapılabilmektedir.

3.4. Kimyasal ve Endüstriyel Analizler

Gaz sensörleri, kimyasal madde konsantrasyonu tayinleri ve endüstriyel proses kontrolü gibi alanlarda da plazmonik sensörler yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, kimya endüstrisinde bir reaksiyon sürecinin anlık izlenmesi ya da gaz sızıntılarının tespiti gibi kritik uygulamalarda SPR tabanlı sensör sistemleri tercih edilmektedir.

Ayrıca plazmonik sensörlerin mikroakışkan sistemlerle entegre edilmesi, otomatik ve çoklu analiz imkânı sağlayarak endüstriyel uygulamalarda yüksek verimlilik sunmaktadır.

3.5. Güvenlik ve Savunma Teknolojileri

Plazmonik sensörler, biyolojik ajanlar, patlayıcılar veya toksik kimyasallar gibi tehlikeli maddelerin tespiti için de kullanılmaktadır. Taşınabilir ve hızlı sonuç verebilen sensör sistemleri, özellikle sınır güvenliği, askeri operasyonlar veya afet yönetimi gibi alanlarda güvenlik güçlerine büyük avantaj sağlamaktadır.

4. AVANTAJLAR VE SINIRLILIKLAR

Plazmonik soy metal sensörler, sundukları yüksek duyarlılık ve seçicilik ile modern algılama teknolojilerinde önemli bir yer edinmiştir. Ancak her teknolojide olduğu gibi, bu sistemlerin de belirli avantajları olduğu kadar bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Bu bölümde, SPR ve LSPR tabanlı sensörlerin genel üstünlükleri ve karşılaşılan temel zorluklar ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

4.1. Avantajlar

Yüksek Hassasiyet ve Düşük Tespit Sınırı

Plazmonik sensörler, özellikle SPR ve LSPR mekanizmaları sayesinde çok düşük konsantrasyonlardaki analiz bileşenlerini dahi algılayabilecek düzeyde hassastır. Bu özellik, özellikle tıbbi tanı ve çevresel izleme gibi hassas uygulamalar için büyük önem taşır.

Etiketsiz (Label-Free) Tespit

Bu sensörler, hedef molekülü algılamak için floresan, radyoaktif ya da enzimatik işaretleyicilere ihtiyaç duymaz. Böylece daha az örnek hazırlığı, daha az maliyet ve daha az müdahale ile analiz gerçekleştirilebilir.

Gerçek Zamanlı İzleme

SPR ve LSPR sistemleri, moleküler etkileşimleri anlık olarak izleme yeteneğine sahiptir. Bu özellik, kinetik analizlerde (örneğin bağlanma/dissosiyasyon hızları) büyük bir avantaj sağlar.

Taşınabilirlik ve Miniatürizasyon Potansiyeli (LSPR için)

LSPR tabanlı sensörler, basit optik bileşenlerle çalıştığından taşınabilir cihazlara kolayca entegre edilebilir. Bu durum, laboratuvar dışı saha analizlerinde kullanımını mümkün kılar.

Çoklu Analiz ve Entegrasyon Uygunluğu

Plazmonik sensörler, mikroakışkan sistemler, lab-on-a-chip teknolojileri veya diğer biyosensör platformlarıyla kolayca entegre edilebilir. Bu sayede çoklu analizler aynı anda yapılabilir.

4.2 Sınırlılıklar

Yüzey Kararsızlığı ve Oksidasyon

Özellikle gümüş gibi metallerin zamanla oksitlenmesi veya çevresel koşullarda yüzey kararsızlığı göstermesi, sensör performansını düşürebilir. Altın bu konuda daha kararlı olsa da maliyeti yüksektir.

Seçicilik Sorunu

Her ne kadar duyarlılık yüksek olsa da, sensör yüzeyine bağlanan farklı moleküllerin benzer optik etkiler oluşturması, seçicilik açısından bazı zorluklara yol açabilir. Bu durum, sensör yüzeyinin spesifik olarak fonksiyonelleştirilmesini gerektirir.

Karmaşık Optik Düzenek Gereksinimi (SPR için)

SPR sistemleri genellikle prizma, lazer kaynağı, dedektör gibi hassas ve maliyetli optik bileşenlere ihtiyaç duyar. Bu da sistemin taşınabilirliğini kısıtlar ve maliyeti artırır.

Matris Etkisi

Gerçek biyolojik ya da çevresel örneklerde bulunan kompleks matris bileşenleri (örneğin proteinler, tuzlar, lipidler), sensör sinyalini bastırabilir veya gürültü oluşturabilir. Bu da analizlerin doğruluğunu olumsuz etkileyebilir.

Üretim Zorlukları ve Tekrar Edilebilirlik

Nanoparçacıkların üretiminde boyut, şekil ve dağılım kontrolü çok kritiktir. Sentez süreçlerinde küçük sapmalar bile sensör performansında büyük değişikliklere neden olabilir.

5 SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, plazmonik soy metal sensörlerin temel prensipleri, yapısal özellikleri ve uygulama alanları detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Gerek yüzey plazmon rezonansı (SPR) gerekse yerelleştirilmiş yüzey plazmon rezonansı (LSPR) mekanizmaları, ışığın metal yüzeylerle etkileşimi sonucu ortaya çıkan kolektif elektron salınımları sayesinde çevresel değişikliklerin optik olarak algılanmasını mümkün kılmaktadır. Özellikle altın (Au) ve gümüş (Ag) gibi soy metallerin nanoyapılar hâlinde kullanılması, sensörlerin duyarlılığını ve işlevselliğini önemli ölçüde artırmaktadır.

Plazmonik sensörler; biyomedikal tanı, çevre izleme, gıda güvenliği ve kimyasal analiz gibi çok çeşitli alanlarda kullanılabilirliği ile öne çıkmakta, etiket gerektirmeyen, gerçek zamanlı ve yüksek hassasiyetli ölçüm imkânı sunmaktadır. LSPR temelli sistemler, taşınabilirlik ve düşük maliyet gibi avantajlar sunarken; SPR sistemleri ise özellikle laboratuvar tabanlı yüksek hassasiyetli analizlerde tercih edilmektedir. Bununla birlikte, her iki yaklaşımın da yüzey kararsızlığı, seçicilik ve üretim maliyetleri gibi bazı teknik sınırlılıkları bulunmaktadır.

Gelecek perspektifiyle değerlendirildiğinde, bu sensör teknolojisinin gelişimi nanomalzeme mühendisliği, yüzey fonksiyonelleştirme teknikleri ve mikroakışkan sistemlerle entegrasyon yönünde ilerlemektedir. Ayrıca yapay zekâ destekli veri analizi ve optoelektronik minyatürleştirme gibi yenilikçi yaklaşımlar sayesinde plazmonik sensörlerin performansı daha da ileriye taşınacaktır.

Sonuç olarak, plazmonik soy metal sensörler, günümüz bilim ve teknoloji dünyasında hassasiyetin, hızın ve çok yönlülüğün bir arada sağlandığı ileri düzey algılama araçları olarak konumlanmaktadır. Bu teknolojilerin sürdürülebilir, güvenilir ve ekonomik hâle getirilmesi yönündeki araştırmalar, önümüzdeki yıllarda hem akademik literatürde hem de endüstriyel uygulamalarda daha geniş yer bulacaktır.

6. KAYNAKÇA

[1] J. Homola, "Surface plasmon resonance sensors for detection of chemical and biological species," *Chemical reviews*, vol. 108, no. 2, pp. 462-493, 2008.

[2] K. M. Mayer and J. H. Hafner, "Localized surface plasmon resonance sensors," *Chemical reviews*, vol. 111, no. 6, pp. 3828-3857, 2011.

[3] K. A. Willets and R. P. Van Duyne, "Localized surface plasmon resonance spectroscopy and sensing," *Annu. Rev. Phys. Chem.*, vol. 58, no. 1, pp. 267-297, 2007.

[4] A. G. Brolo, "Plasmonics for future biosensors," *Nature Photonics*, vol. 6, no. 11, pp. 709-713, 2012.

[5] J. N. Anker, W. P. Hall, O. Lyandres, N. C. Shah, J. Zhao, and R. P. Van Duyne, "Biosensing with plasmonic nanosensors," *Nature materials*, vol. 7, no. 6, pp. 442-453, 2008.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Design and Development of a Solar-Powered Robotic Vehicle for Providing Internet Connectivity in Remote Areas

Anan Sulaiman Al-Adani*, Yunus Emre KARASU [2]

[1]*Electrical and Electronics Engineering, Karabük University, Turkey*
[2]*Electrical and Electronics Engineering, Karabük University, Turkey*

**anan_asa_2003@hotmail.com*

***Abstract* –** This paper presents the design and development of a solar-powered robotic vehicle aimed at providing internet connectivity to remote and underserved areas. The vehicle integrates solar panels, lithium-ion batteries, a Battery Management System (BMS), and a voltage step-up module to ensure reliable power for both the robot's movement and communication systems. The ESP32-WROOM-32U module operates in dual modes—Station (STA) and SoftAP (Software Access Point)—allowing the robot to either connect to external Wi-Fi networks or create its own Wi-Fi hotspot, thus extending internet coverage in areas with limited connectivity.

Remotely controlled via the Blynk IoT platform, the robot offers easy operation through a mobile app, making it user-friendly and accessible. While the project is still under development, initial testing has validated the system's power management, communication range, and movement control. The prototype successfully maintains operation under direct sunlight without power failure, proving the reliability of solar energy for autonomous systems.

This system is designed to be scalable, with plans for future enhancements like satellite communication for more reliable connectivity in even more remote areas. The project demonstrates the potential to bridge the digital divide by offering a sustainable solution for internet access in underserved regions. This paper outlines the innovative use of solar power and wireless communication technologies, providing a foundation for future development and deployment in remote areas worldwide.

Keywords – Solar-powered robotics, ESP32, Wi-Fi extender, renewable energy, Blynk IoT, mobile hotspots, remote internet access, prototype

I. INTRODUCTION

In many remote and rural areas, access to reliable internet is a significant challenge due to the lack of existing infrastructure [2]. This issue hampers development in sectors like education, healthcare, and economic activities. Traditional internet infrastructure is often not cost-effective in these regions, which is why alternative solutions, such as solar-powered robotic systems and IoT-based control, are being explored [3], [4].

This paper introduces the design of a solar-powered robotic vehicle that provides internet connectivity through a combination of solar energy and IoT-based control . The ESP32-WROOM-32U module used in the system supports dual-mode communication: STA mode for connecting to external networks and SoftAP mode for creating a local Wi-Fi network [8]. Additionally, Blynk IoT provides remote control and monitoring capabilities via a mobile application, enabling flexible operation of the robot in remote areas.

The vehicle's solar panel system ensures it operates autonomously, addressing the power supply limitations typical in rural regions [2], [7]. The project contributes to overcoming the connectivity gap in rural areas by combining renewable energy and advanced communication technologies [3].

The integration of advanced technologies such as artificial intelligence can further enhance the vehicle's capabilities [6]. By implementing AI algorithms for data analysis, the robotic system can optimize its route based on real-time environmental data, increasing efficiency in reaching targeted locations where internet connectivity is most needed. Moreover, equipping the vehicle with additional sensors can facilitate not just internet provision but also gather vital data for other sectors such as agriculture and environmental monitoring.

Community involvement in the deployment of these solutions will also play a critical role [5]. Training local residents to operate and maintain the robotic vehicles can foster a sense of ownership and empower communities to leverage technology for their benefit. Partnerships with local governments and organizations can improve resource allocation and ensure that the system meets community-specific needs effectively [1].

This multifaceted approach underscores the importance of technology not just as a tool for connectivity but as an enabler of broader socio-economic development in remote and rural areas. By continuing to innovate and adapt these technologies, there is significant potential to bridge the digital divide and enhance the quality of life for those living in underserved regions.

II. MATERIALS AND METHOD

A. System Components (Hardware)

The robot car system is composed of several hardware components designed to ensure autonomous operation powered by renewable energy. Below is a detailed description of each major component:

1. **The ESP32-WROOM-32U**

This module manages the communication system effectively through versatile Wi-Fi modes, enabling reliable and flexible connectivity [8]. In **Station (STA) mode**, the module connects directly to external Wi-Fi networks, allowing seamless integration into existing network infrastructures. This capability is essential for receiving instructions, uploading data, or updating firmware from remote servers.

In contrast, **Soft Access Point (SoftAP) mode** allows the module to create its own internal Wi-Fi network, providing a dedicated connection point for local devices. This is particularly useful in isolated or remote environments without existing network infrastructure, enabling users to connect directly to the robot for local monitoring and control [8].

The module can operate in **Dual mode (STA + SoftAP)** simultaneously, combining the functionalities of both modes. This enables the robot to connect to an external network for internet access while concurrently offering its own access point. Thus, it acts as a Wi-Fi extender, effectively expanding internet coverage and enhancing accessibility in remote or challenging locations [8].

Powered by a dual-core Xtensa 32-bit LX6 microprocessor, the ESP32-WROOM-32U is capable of executing complex multitasking operations [8]. Each core operates independently, allowing simultaneous execution of multiple tasks. For instance, one core can manage Wi-Fi connectivity and communication, while the other core handles motor control, sensor data processing, or user interactions through applications like Blynk IoT [6]. This multitasking capability enhances system responsiveness, efficiency, and reliability, ensuring smooth real-time performance even under heavy workloads [8].

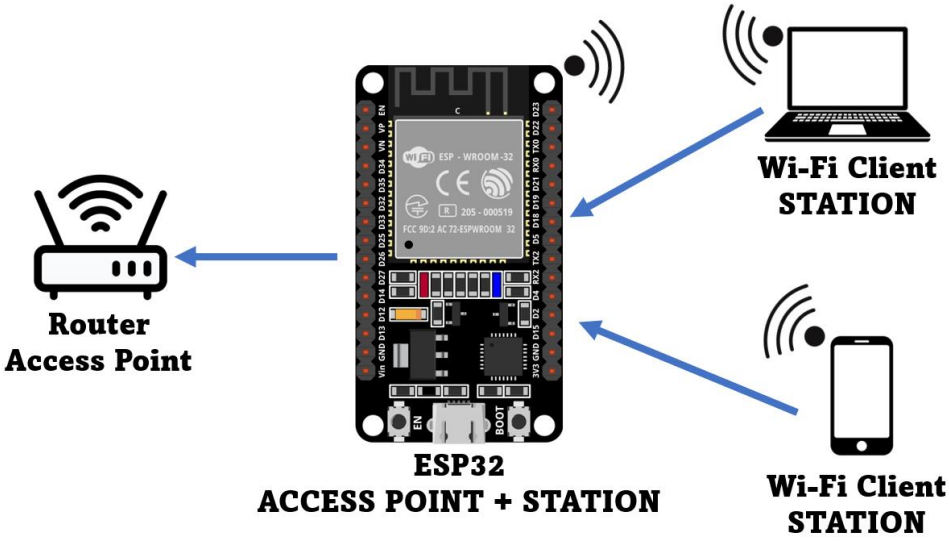


Figure 1. Esp32 SoftAp-Sta Mode

2. **Solar Panels**
   The solar panels are responsible for converting sunlight into electrical energy, providing a renewable and sustainable power source for the robot. The system utilizes monocrystalline 12V, 250mA solar panels connected in series, resulting in a total output voltage of 24V. These panels serve as the primary energy source, charging the on-board batteries that power the motors and communication systems.

3. **Lithium-Ion Batteries**
   Energy harvested by the solar panels is stored in four 3.7V, 2.5Ah lithium-ion batteries. These batteries ensure continuous operation by supplying energy during low-light conditions or nighttime, enabling uninterrupted robot functionality.

4. **Battery Management System (BMS)**
   A Battery Management System (BMS) is incorporated to monitor and regulate the batteries' charging and discharging cycles. The BMS prevents overcharging, deep discharging, and imbalance among the battery cells, thereby enhancing the system’s safety, reliability, and battery lifespan.

5. **L298N Motor Driver**
   The L298N is a dual H-bridge motor driver module responsible for controlling the motion of the robot. It regulates the direction and speed of the DC motors through Pulse Width Modulation

(PWM) signals, allowing precise movement control, including forward, backward, and turning maneuvers[9].

6. **DC Motors**
   The robot employs 6V, 300 RPM DC motors with a rated current of 0.5A. These motors are coupled to the wheels and function as actuators, driving the robot based on commands from the motor driver.

7. **External Antenna**
   An external antenna with a 12dB gain is installed to enhance Wi-Fi signal reception and transmission. The antenna significantly improves connectivity stability and range, offering an estimated communication distance of up to 150-250 meters in open environments. This ensures reliable remote control and monitoring, even in areas where network signals are typically weak.

8. **Voltage Step-Up Module**
   To optimize energy transfer from the solar panels to the batteries, a voltage step-up module is used. It boosts the 24V output from the solar array to a voltage suitable for charging the lithium-ion batteries efficiently, maximizing energy utilization.

B. Software

The system was coded entirely using the ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework), an open-source development framework for building applications for Espressif's chips, including the ESP32. Motor direction and speed are controlled via GPIO (General Purpose Input/Output) and LEDC (LED PWM Controller) drivers, which manage the motor's speed and direction through Pulse Width Modulation (PWM). Wi-Fi configuration is handled using native ESP-IDF libraries, which integrate NAPT (Network Address Port Translation) to route internet traffic from STA (Station) mode to AP (Access Point) mode, ensuring efficient network management [8].

To enable remote control and monitoring, the system integrates Blynk IoT, a cloud-based platform that allows users to control the robot via a mobile application . Blynk IoT facilitates real-time interaction, enabling users to monitor key parameters such as battery status, Wi-Fi connection strength, and robot movement. Through the Blynk mobile app, users can control the robot’s movement and monitor system performance remotely, providing seamless interaction with the robot from anywhere [10].

The development and debugging of this system were conducted within the Espressif IDE (Integrated Development Environment), a platform specifically tailored for ESP32 and ESP8266 chips, streamlining the coding process and enhancing system performance [11].

Table 1. Component/Specifications

Component	Specification
Solar Panels	12V, 230mA each (x2), Monocrystalline, connected in series
Rechargeable Batteries	4 x 3.7V Lithium-Ion, 1.2Ah each
Battery Management System (BMS)	Integrated for safe charging and discharging
ESP32-WROOM-32U	Dual-mode (STA/SoftAP), 2.4 GHz Wi-Fi, Bluetooth LE
L298N Motor Driver	Dual H-Bridge, capable of driving 2 DC motors
DC Motors	6V, 300 RPM, 0.5A
External Antenna	12dB Gain, 2.4 GHz Wi-Fi, omnidirectional
Voltage Step-Up Module	Converts voltage from the solar panels to the required level for battery charging and system operation

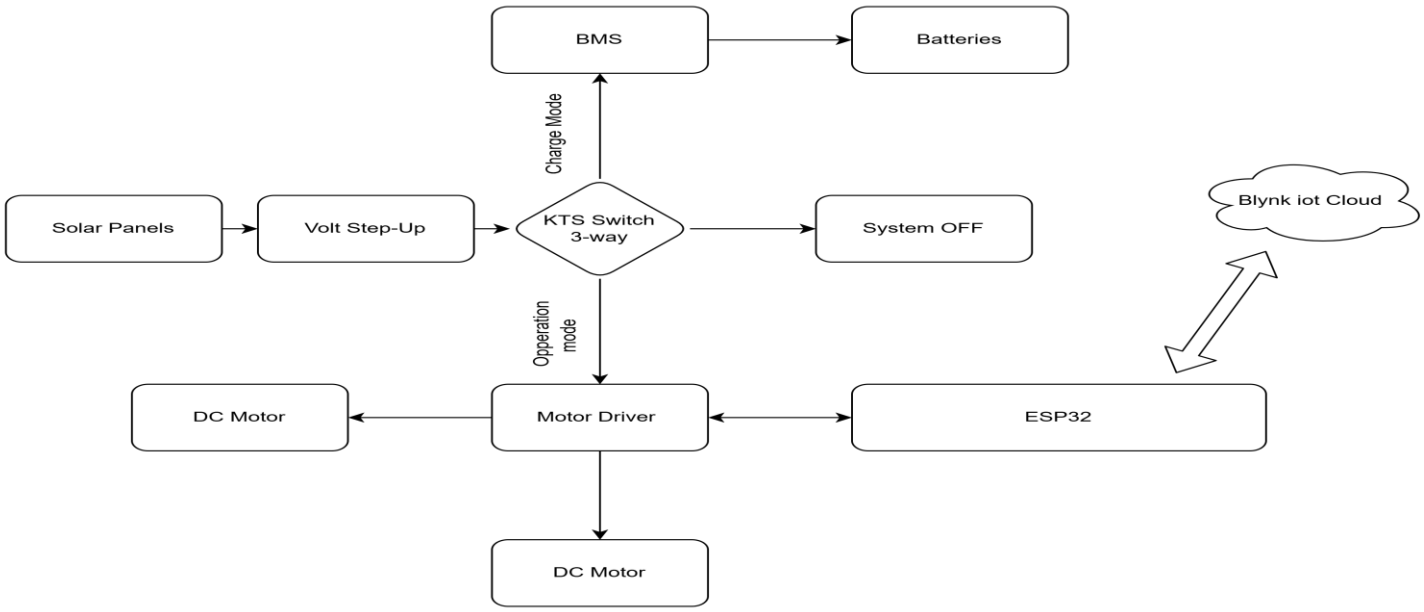


Figure 2. System Flow-Chart

III. RESULTS

The prototype of the solar-powered robotic vehicle was successfully developed and tested. Key results include:

1. **Power Management:** The system demonstrated reliable operation using solar energy to charge the lithium-ion batteries. The solar panels provided sufficient energy to maintain battery levels even under direct sunlight, ensuring the robot operated without requiring external power sources.

2. **Wi-Fi Connectivity:** The ESP32-WROOM-32U maintained stable connections in STA mode for accessing external Wi-Fi networks and in SoftAP mode for creating a local Wi-Fi network. The external antenna extended the Wi-Fi range, ensuring connectivity over 20-30 meters.

3. **Remote Control:** The integration of Blynk IoT allowed for effective remote control and monitoring of the robot. Key parameters such as battery status, Wi-Fi strength, and robot movement were accessible via the Blynk mobile app, providing real-time feedback and control.

4. **Motor Control:** The L298N motor driver effectively controlled the DC motors, providing smooth movement with precise speed and direction control via PWM.

Overall, the system performed as expected, with stable Wi-Fi connectivity and reliable motor control, validating the robot's capability to operate and be controlled remotely.

IV. DISCUSSION

This study demonstrates the potential of solar-powered robotic systems in providing internet connectivity in remote areas. The robot's ability to operate, powered entirely by solar energy, addresses the challenge of limited infrastructure in underserved regions. This is particularly significant as it reduces dependency on traditional energy sources, ensuring continuous operation even in off-grid areas.
The dual-mode communication provided by the ESP32-WROOM-32U offers notable flexibility. In STA mode, the robot connects to external networks for internet access, while in SoftAP mode, it creates a local network, allowing nearby devices to connect to the robot. This versatility is a step forward compared to previous systems, which typically relied on a single mode of operation. It enhances the robot's usability in various environments, making it adaptable to areas with varying levels of connectivity.

The integration of Blynk IoT as the remote control platform adds a layer of user-friendly interaction, enabling real-time monitoring and control of the robot's functions. By tracking battery status, Wi-Fi strength, and movement, Blynk IoT streamlines the process of managing the robot remotely. This is a significant advancement in the field, as it allows for effective field operation without the need for direct manual intervention.

The L298N motor driver's performance in controlling motor direction and speed using PWM was consistent with established robotics practices, ensuring smooth movement and operational efficiency. This supports the idea that reliable motor control is critical for robots functioning in dynamic environments.

This project introduces a scalable, solar-powered, and Wi-Fi-enabled robot that can provide mobile internet connectivity and serve as a network extension in remote areas. The findings show that by combining renewable energy with advanced communication technologies, it is
possible to create autonomous systems that bridge the digital divide in underserved regions.

V. CONCLUSION

In summary, this project demonstrates a significant step forward in solar-powered robotics and remote connectivity. The combination of renewable energy, dual-mode communication, and IoT-based control enhances the robot's potential to serve as a mobile and scalable solution for providing internet access in remote areas. The results of this work offer valuable insights into the development of autonomous systems that can operate sustainably while providing critical connectivity where it is needed most.

REFERENCES

[1] M. Williander and C. Stålstad, "New business models for electric cars," 2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27), Barcelona, 2013, pp. 1-11.

[2] F. Chiou, "Solar energy for electric vehicles," in Proceedings of the IEEE Science and Technology Conference (SusTech), Ogden, UT, 2015, pp. 234–238.

[3] S. Manivannan and E. Kaleeswaran, "Solar powered electric vehicle," 2016 First International Conference on Sustainable Green Buildings and Communities (SGBC), Chennai, 2016.

[4] Kanumilli, A. Singh, A. Ganesh, and M. Srinivas, "Plug in electric solar vehicle," 2016 Biennial International Conference on Power and Energy Systems: Towards Sustainable Energy (PESTSE), Bangalore, 2016, pp. 1-4.

[5] Revathi, A. Ramesh, S. Sivanandhan, T. B. Isha, V. Prakash, and S. G., "Solar Charger for Electric Vehicles," 2018 International Conference on Emerging Trends and Innovations in Engineering And Technological Research (ICETIETR), Ernakulam, 2018, pp. 1-4.

[6] M. S. S. Tanjim et al., "Image Processing Intelligence Analysis for Robo-Res 1.0: A Part of Humanoid Rescue-Robot," 2020 IEEE Region 10 Symposium (TENSYMP), 2020, pp. 1229-1232.

[7] M. K. Mridul, A. A. Mahbub, M. T. Alam, and M. Ali, "Designing Solar Charging Station for Electric Car at Dhaka-Chattogram National Highway in Bangladesh," 2020 IEEE Region 10 Symposium (TENSYMP), 2020, pp. 66-69.

[8] Espressif Systems, "ESP32-WROOM-32U Datasheet: Wi-Fi & Bluetooth Module," Version 3.9, Dec. 2023. [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf

[9] STMicroelectronics, "L298N Dual Full-Bridge Driver Datasheet," Rev. 29, Mar. 2018. [Online]. Available: https://www.st.com/resource/en/datasheet/l298n.pdf

[10] Blynk Inc., "Blynk Documentation: Introduction," [Online]. Available: https://docs.blynk.io/. [Accessed: April 28, 2025].

[11] Espressif Systems, "Espressif-IDE Documentation," [Online]. Available: https://docs.espressif.com/projects/espressif-ide/en/latest/index.html. [Accessed: April 28, 2025].

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

ICSIS

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

5. Sınıf Sosyal Bilgiler Dersinde Drama Tekniği Aracılığıyla Öğrencilerin Girişimcilik Becerilerinin Geliştirilmesi

Hüseyin Bayram[1*]

[1]*Sosyal Bilgiler Eğitimi Anabilim Dalı / Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Türkiye*

[*]*hubayram@agri.edu.tr*

Özet – Sosyal bilgiler dersi, bireyin içinde yaşadığı toplumla etkileşim kurmasını sağlamaya yöneliktir. Drama tekniği ise bu etkileşimi canlandırma etkinlikleriyle içselleştirme sürecini destekleyen bir öğretim biçimidir. Sosyal bilgiler dersinde drama tekniğinin kullanılması, toplumsal yaşama yönelik olay ve durumların canlandırılarak girişimcilik becerisinin kazandırılması sağlanabilir. Nitekim drama etkinliklerinin kullanıldığı öğrenme ortamları, öğrencilerin aktif katılımını teşvik ederek çok çeşitli beceriler kazanmasına olanak tanımaktadır. Bu düşünceden hareketle gerçekleştirilen bu araştırmada 5. sınıf sosyal bilgiler dersinde drama tekniği aracılığıyla öğrencilerin girişimcilik becerisinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Araştırmada nicel araştırma yöntemlerinden ön test-son test kontrol gruplu yarı deneysel model kullanılmıştır. Araştırma, 2023-2024 eğitim öğretim yılında Türkiye'nin Ağrı ilinde bulunan bir devlet ortaokulunda öğrenim gören 5. sınıf öğrencileriyle gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın örneklemi, kolay ulaşılabilir örnekleme yöntemiyle seçilmiş olup 51'i deney, 54'ü kontrol grubunda olmak üzere toplam 105 öğrenciden oluşmaktadır. Veriler, ortaokul öğrencilerine yönelik girişimcilik ölçeği aracılığıyla toplanmıştır. Verilerin analizinde bağımsız örneklemler için t testi ve kovaryans analizi (ANCOVA) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, drama tekniğine dayalı sosyal bilgiler öğretiminin öğrencilerin girişimcilik becerileri üzerinde olumlu etkiler sağladığını ortaya koymuştur. Araştırma sonuçları, girişimcilik becerilerinin geliştirilmesinde drama tekniğinin etkili bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Araştırmanın sonuçlarına bağlı olarak çeşitli öneriler tasarlanmıştır.

Anahtar Kelimeler – Sosyal bilgiler dersi, drama, girişimcilik

I. GİRİŞ

Sosyal bilgiler, ilkokul ve ortaokul öğrencilerini içinde yaşadıkları toplumla bütünleşmek ve etkin birer vatandaş olarak yaşamlarını devam ettirmek için gereksinim duydukları niteliklerle donatmayı amaçlayan disiplinlerarası bir derstir (Barr, Barth & Shermis, 1977). Sosyal bilgiler dersi, çok çeşitli sosyal bilim alanlarına ait kazanımları öğrencilere aktararak onları günlük yaşama ilişkin sorunları fark edebilecek ve çözülmesine katkıda bulunabilecek düzeye ulaştırmayı amaçlamaktadır (Russell III, 2010). Sosyal bilgiler dersi, aynı zamanda öğrencilere eleştirel düşünme, karar verme, işbirliği, problem çözme, iletişim ve girişimcilik gibi günlük yaşama ait beceriler kazandırmayı da amaçlamaktadır (Ewans, 2004). Sosyal bilgiler dersinde öğrencilere becerilerin etkili ve kalıcı bir şekilde kazandırılabilmesi amacıyla çeşitli öğretim yöntem ve tekniklerinden yararlanılması önemlidir. Söz konusu tekniklerden birinin drama olduğu söylenebilir (Morris, 2001).

Drama; öğrencilerin bir olay ya da durumu canlandırma etkinlikleriyle deneyimlemelerini sağlayan ve öğrenme sürecinde aktif katılım esasına dayanan bir eğitim tekniğidir (Wolven, 2014). Drama; olay ve durumları canlandırmaya yönelik olması itibarıyla öğrencilerin empati kurmasını, farklı bakış açıları geliştirmesini ve yaratıcı düşünmesini desteklemektedir (Prendiville vd., 2013). Sosyal bilgiler dersinde dramanın kullanımı, soyut kavramların somutlaştırılmasını kolaylaştırmaktadır (Morris, 2001). Ayrıca

öğrencilerin birçok becerisinin yanısıra girişimcilik gibi günlük yaşama yömelik becerilerini de geliştirmektedir (Bayram, 2021). Bu kapsamda drama, öğrencilerin sosyal bilgiler dersine aktif katılımını sağlayan ve onların çok çeşitli becerilerin yanısıra girişimcilik becerisiyle donatılmasını destekleyen etkili bir yöntem olduğu söylenebilir. Nitekim sosyal bilgiler dersinde drama tekniğini kullanmanın öğrencilere girişimcilik becerisi kazandırmada etkili olduğu sonucuna ulaşmış çeşitli araştırmalar mevcuttur (Ng, 2005; Akbayrak, 2019; Girgin ve Akcanca, 2020).

Girişimcilik; yeni fikirler üretme, mevcut koşulları değerlendirme, mantıklı riskler alma, yenilikçi düşünme, sorunlara çözümler üretme gibi çok boyutlu etkinliklerin uygulandığı bir süreçtir (Gedeon, 2010). Girişimcilik, günlük yaşama ilişkin olması itibarıyla sosyal bilgiler dersinin temel konuları arasında yer almaktadır (Bayram, 2021). Nitekim sosyal bilgiler dersi, öğrencilere bireysel ve toplumsal gereksinimleri fark etme, gereksinimleri analiz etme ve giderme gibi girişimcilikle ilişkili nitelikler kazandırmaya yöneliktir (Millî Eğitim Bakanlığı, 2024). Günlük yaşamda girişimcilik, karşılaşılan sorunları yaratıcı yollarla çözmek, ekonomik ya da sosyal projeler geliştirmek ve bu kapsamda bireysel ve toplumsal yaşamın gelişimine katkıda bulunmak açısından önemlidir. İlk ortaokul düzeyindeki öğrencilerin girişimcilik becerisi kazanmaları; onların yaratıcı, risk alabilen ve iş birliği yapabilen bireyler olarak yetişmelerine katkı sağlamaktadır (Deveci, 2015).

Günümüz koşulları bireylerin; girişimciliğin kapsamında olan niteliklere sahip olmalarını zorunlu kılmaktadır. Bu zorunluluk, eğitim programlarının yalnızca bilişsel kazanımlara odaklanmakla kalmayıp, öğrencilerin yaşam becerilerini geliştirmeye yönelik olmasını da gerektirmektedir (Deveci, 2015; Bayram, 2021). Öte yandan bireylere erken yaşlarda yaşamsal becerilerin kazandırılması, ileriki yaşamlarında karşılaşacakları çeşitli sosyal ve ekonomik sorunlara çözüm üretebilmeleri açısından önemli sayılabilir. Bu bağlamda yaparak-yaşayarak öğrenmeyi esas alan drama tekniği, yaşamsal bir beceri olan girişimciliğin kazandırılmasında etkili bir araç olarak ifade edilebilir (Saboorizadeh vd., 2023).

Literatür incelendiğinde dramanın girişimcilik becerisini geliştirmede etkili bir teknik olduğuna dair bazı çalışmaların yapılmış olduğu görülmüştür. Örneğin Ng (2005), eğitimde drama etkinliklerinin öğrencilerde girişimcilik ruhunu geliştirmedeki etkisini incelemiştir. Araştırmada uygulanan drama temelli atölye çalışmaları sonucunda, öğrencilerin girişimcilik becerilerinin geliştiği sonucuna ulaşılmıştır. Akbayrak (2019), özel yetenekli ilkokul 4. sınıf öğrencilerine yaratıcı drama yöntemini kullanarak girişimcilik becerisi kazandırmayı amaçlamıştır. Araştırmada öğrencilerin birçok becerisinin yanı sıra girişimcilik becerisinin de geliştiği raporlanmıştır. Girgin ve Akcanca (2020), sınıf öğretmeni adaylarının yaratıcı dramayı sosyal girişimcilik becerilerinin kazandırılmasında bir araç olarak nasıl algıladıklarını irdelemişlerdir. Girgin ve Akcanca (2020), yaratıcı dramanın katılımcılar tarafından sosyal girişimcilik eğitiminde etkili bir yöntem olarak görüldüğünü belirlemişlerdir. Eroğlu ve Deveci (2021), ortaokul öğrencilerinin girişimcilik düzeylerini belirlemek ve sosyal bilgiler dersinde girişimcilik becerisinin kazandırılmasına yönelik öğretmen görüşlerini incelemişlerdir. Araştırmada öğrencilerin girişimcilik düzeylerinin orta olduğu ve öğretmenlerin yaratıcı dramanın sosyal bilgiler dersinde girişimcilik kazandırmak amacıyla kullanılabileceği görüşünde olduğunu belirlemişlerdir. İncelenen araştırmaların drama temelli etkinliklerin öğrencilerin girişimcilik becerisini geliştirdiği sonucuna ulaşmış olmalarına rağmen literatürde sosyal bilgiler dersi özelinde yapılan herhangi bir araştırmanın yer almadığı görülmüştür. Oysaki sosyal bilgiler dersi; öğrencilerin toplumsal yaşamda girişimci bireyler olarak yetişmelerini amaçlamaktadır. Buna rağmen sosyal bilgiler dersi kapsamında girişimcilik becerilerinin drama tekniğiyle kazandırılmasına yönelik deneysel bir çalışmanın yapılmamış olması, literatürün önemli bir boşluğu olarak tespit edilmiş ve bu araştırma yapılmıştır. Bu araştırma, 5. sınıf sosyal bilgiler dersinde drama tekniği aracılığıyla öğrencilerin girişimcilik becerilerinin geliştirilmesine yönelik ilk deneysel uygulama olmasından dolayı önemlidir. Nitekim araştırma, hem sosyal bilgiler dersinde yararlanılacak alternatif öğretim yöntemleri hakkında öğretmenlere ve eğitimcilere yol gösterecek hem de girişimcilik eğitimine yönelik yöntem ve uygulama çeşitliliği sağlaması açısından literatüre katkıda bulunacaktır. Bu kapsamda araştırma, sosyal bilgiler ve girişimcilik eğitimi ve drama uygulamaları literatüründe önemli bir boşluğu doldurmakta ve kendinden sonraki araştırmalara kaynak sağlayacak özgün bir katkı sunmaktadır.

5. sınıf sosyal bilgiler dersinde drama tekniği aracılığıyla öğrencilerin girişimcilik becerilerinin geliştirilmesini amaçlayan bu araştırmada aşağıdaki hipotez kurularak sınanmıştır.

hipotez: Drama tekniği aracılığıyla yürütülen sosyal bilgiler eğitiminin uygulandığı deney grubunun girişimcilik becerisi düzeyi ile Millî Eğitim Bakanlığı (MEB) kitabına dayalı sosyal bilgiler eğitiminin uygulandığı kontrol grubunun girişimcilik becerisi düzeyi arasında deney grubu lehine anlamlı fark vardır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu araştırma, nicel araştırma yönteminden ön test-son test kontrol gruplu yarı deneysel model kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Söz konusu model, deney ve kontrol grubu olmak üzere iki grubun dahil edildiği müdahale sürecinde, en az bir bağımsız değişkenin en az bir bağımlı değişken üzerindeki etkisini ortaya koymayı ve gruplar arasındaki farklılaşmayı karşılaştırmayı amaçlamaktadır (Büyüköztürk vd., 2020). Araştırmada bu modelin işe koşulmasının nedeni, sosyal bilgiler dersinde drama tekniğinin kullanılmasının, öğrencilerin girişimcilik becerisi üzerindeki etkisini sistematik biçimde inceleyebilme olanağı sağlamasıdır (Karasar, 2009).

A. Evren ve Örneklem

Bu araştırmanın evrenini, Türkiye genelinde ortaokullarda eğitim görmekte olan 5. sınıf öğrencileri, örneklemini ise Ağrı ilinde bulunan bir ortaokulun iki 5. sınıf şubesindeki öğrenciler oluşturmaktadır. Örneklem seçiminde erişilebilirlik ve uygulama kolaylığı gibi etkenler göz önünde bulundurularak kolay ulaşılabilir örnekleme yöntemi tercih edilmiştir. Kolay ulaşılabilir örnekleme, araştırmacının ulaşım ve zaman gibi kısıtlamaları nedeniyle en kolay erişilebilen birey veya gruplardan veri toplamasına olanak tanımaktadır (Büyüköztürk vd., 2020). Bu yöntemin seçilmesine araştırmacının görev yaptığı ilde araştırmayı yürütme zorunluluğu ve zaman sınırlılığı sebep olmuştur. Araştırmanın örnekleminde yer alan öğrencilere ilişkin bilgiler, Tablo 1'de verilmiştir:

Tablo 1. Deney ve kontrol gruplarına ilişkin bilgiler

Bilgi		**Deney grubu**		**Kontrol grubu**	
		f	***%***	***f***	***%***
Cinsiyet	Kız	24	47.06	25	46.30
	Erkek	27	52.94	29	53.70
	Toplam	51	100	54	100

Tablo 1 incelendiğinde, deney grubunda 24 kız ve 27 erkek olmak üzere toplam 51 öğrencinin bulunduğu anlaşılmaktadır. Kontrol grubunda ise 25 kız ve 29 erkek ile birlikte toplam 54 öğrenci yer almaktadır.

B. Verilerin Toplanması

Araştırma verileri toplanırken Eroğlu vd. (2020) tarafından geliştirilen ortaokul öğrencilerine yönelik girişimcilik ölçeği (OÖYGÖ) kullanılmıştır. Ortaokul öğrencileriyle geliştirilen ve 4'lü Likert tipinde yapılandırılan OÖYGÖ; özfarkındalık, risk alma ve fırsatları değerlendirme olmak üzere üç alt boyuttan ve toplam 31 maddeden oluşmaktadır. Ölçekten elde edilebilecek puanlar en düşük 31, en yüksek ise 124 olabilmektedir. Ölçeği geliştirenler, ölçeğin güvenirliği için yaptıkları analizde, Cronbach Alpha katsayısını .90 olarak raporlamışlardır. Bu araştırmada ise, ölçeğin güvenirlik testi sonucunda Cronbach Alpha değeri .80 bulunmuştur. Field (2017)'e göre, .80 ile 1.0 arasında elde edilen Cronbach Alpha değerleri ölçeğin yüksek düzeyde güvenilir olduğunu göstermektedir.

C. Verilerin Analizi

Verilerin analizinde hangi istatistiksel testlerin kullanılacağını belirlemek amacıyla çarpıklık ve basıklık değerleri incelenmiştir. Elde edilen bulgular Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Verilere ait çarpıklık ve basıklık değerleri

Grup	Ön test		Son test	
	Çarpıklık	Basıklık	Çarpıklık	Basıklık
Deney	1.02	1.46	.77	.19
Kontrol	.51	.94	.13	.38

Tablo 2 göstermektedir ki deney grubunun ön test puanlarına ait çarpıklık değeri 1.02, basıklık değeri ise 1.46'dır. Kontrol grubunun ön test puanlarına ait çarpıklık değeri .77, basıklık değeri ise .19'dur. Deney grubunun son test puanlarına ait çarpıklık değeri .51, basıklık değeri ise .94 olarak hesaplanmıştır. Kontrol grubunun son test puanlarında ise çarpıklık değeri .13, basıklık değeri .38 olarak gözlemlenmiştir.

Tabachnik ve Fidell (2019) tarafından belirtilen -1.5 ile 1.5 aralığında yer alan bu değerler, ön test ve son test puanlarının normal dağılım gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Araştırma kapsamında elde edilen ön test ve son test verilerinin varyanslarının homojen olup olmadığını belirlemek amacıyla Levene testi uygulanmıştır. Bu testin sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Levene testi sonuçları

Ön test				Son test			
Levene İstatistiği	sd1	sd2	*p*	Levene İstatistiği	sd1	sd2	*p*
1.42	1	103	.23	1.02	1	103	.31

Tablo 3 göstermektedir ki deney ve kontrol gruplarından elde edilen verilere uygulanan Levene testi sonuçlarına göre, ön test puanlarına ilişkin anlamlılık değeri .23, son test puanlarına ilişkin anlamlılık değeri ise .31 olarak hesaplanmıştır. Bu anlamlılık düzeylerinin .05'ten büyük olması (Tabachnick ve Fidell, 2019), ilgili veri setlerinin varyanslarının homojen olduğunu göstermektedir.

Verilerin normal dağılım göstermesi ve varyansların homojen olması doğrultusunda, analiz sürecinde parametrik testlerin kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir. Hangi parametrik testlerin kullanılacağına karar verilirken, araştırmanın yapısal koşulları dikkate alınmıştır.

Araştırmada yer alan grupların birbirinden bağımsız olması, hipotezin yalnızca bir bağımlı değişken içermesi ve ölçümlerin eşit aralıklı ölçek düzeyinde gerçekleştirilmiş olması (Tabachnick ve Fidell, 2019) esas alınarak, ön test verilerinin çözümlemesinde bağımsız örneklemler için t testi kullanılmıştır.

Deneysel sürecin etkisini değerlendirmek amacıyla kovaryans analizinin uygulanabilirliği incelenmiş ve bu kapsamda grupların regresyon eğimleri karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, grup içi regresyon katsayılarının eşit olduğu tespit edilmiştir. Regresyon eğimlerinin eşitliği koşulunun sağlanması (Tabachnick ve Fidell, 2019) dikkate alınarak, son test puanlarının analizinde kovaryans analizinin (ANCOVA) kullanılması uygun bulunmuştur.

III. DENEL İŞLEM

Araştırmanın denel işlem süreci, 5. sınıf düzeyinde öğrenim gören öğrencilerden oluşan deney ve kontrol gruplarıyla gerçekleştirilmiştir. Deney grubundaki öğrencilere, 5. sınıf sosyal bilgiler ders kitabındaki "Üretim, Dağıtım ve Tüketim" öğrenme alanına ilişkin kazanımlar doğrultusunda hazırlanmış drama temelli etkinlikler uygulanmıştır. Söz konu etkinlikler, girişimcilik becerisini desteklemeyi amaçlayan yapılandırılmış drama uygulamaları ile oluşturulmuştur. Haftada iki ders saati olmak üzere toplam 5 hafta süresince gerçekleştirilen uygulamalar sırasında öğrenciler, farklı rollere girerek girişimcilik ile ilişkili canlandırmalar yapmış, gerçek yaşam durumlarıyla yüzleşerek derslere aktif katılım sağlamışlardır. Kontrol grubundaki öğrencilere ise aynı kazanımlar doğrultusunda öğretim, Milli eğitim Bakanlığı'nın ön gördüğü biçimde sürdürülmüştür. Süreç sonunda, her iki gruba uygulanan son test aracılığıyla drama temelli öğretimin girişimcilik becerisine etkisi değerlendirilmiştir.

IV. ARAŞTIRMANIN SINIRLILIKLARI

Araştırma bazı sınırlılıklar dahilinde gerçekleştirilmiştir. Öyleki araştırma Ağrı ilindeki bir devlet okulunun iki 5. sınıf şubesinde öğrenim gören öğrencilerle sınırlı tutulmuştur. Araştırma kapsamında uygulanan drama temelli etkinlikler, "Üretim, Dağıtım ve Tüketim" öğrenme alanına ilişkin kazanımlarla sınırlı olup, sosyal bilgiler dersinin diğer öğrenme alanlarını kapsamamaktadır. Ayrıca, girişimcilik becerisi yalnızca bir ölçek kullanılarak değerlendirilmiş, farklı ölçme araçlarının kullanılamaması ölçüm çeşitliliğini kısıtlamıştır. Uygulama süresi beş hafta ile sınırlı olup, drama temelli öğretimin uzun vadeli etkileri araştırmanın kapsamı dışında kalmıştır.

V. BULGULAR

Araştırmanın denel işlemine başlamadan önce, gruplara ön test kapsamında bağımsız örneklemler için t testi uygulanmıştır. Elde edilen bulgular, Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Bağımsız örneklemler için t testinin sonuçları

Grup	***n***	***x̄***	***ss***	***sd***	***t***	***p***
Deney	51	76.41	6.50	103	-1.64	.09
Kontrol	54	78.18	5.88			

Tablo 4 göstermektedir ki grupların OÖYGÖ'den aldıkları puanlara yönelik yapılan bağımsız örneklemler için t testi sonucunda p değeri .09 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, gruplar arasında ($t(103) = -1.64$; $p = .09 > .05$) anlamlı bir fark bulunmadığını ortaya koymaktadır. Bu bulgular, grupların denel işlem öncesinde girişimcilik becerisi düzeylerinin birbirine yakın olduğunu ve aralarındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermektedir.

Araştırmada, denel işlemin etkilerini değerlendirmek amacıyla ANCOVA testi uygulanmış olup, bu testin sonuçları Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. ANCOVA testi sonuçları

Varyansın kaynağı	Kareler toplamı	*sd*	Kareler ortalaması	F	*p*	***η2***	Gözlemlenen güç
Grup(Deney-kontrol)	171.38	1	171.38	5.77	.02	.04	.81
Hata	1663.07	103	16.15				
Toplam	1680.45	104					

Tablo 6'da yer alan ANCOVA sonuçları, denel işlemin anlamlı bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Grup faktörüne ait F değeri 5.77 olarak hesaplanmış ve p değeri .02 olarak bulunmuştur, bu da deney grubu lehine gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluştuğunu göstermektedir. Eta kare (η^2) değeri .04 olarak hesaplanmış olup, bu değer küçük bir etki büyüklüğünü işaret etmektedir; yani denel işlem, gruplar arasındaki fark üzerinde küçük ancak anlamlı bir etki yaratmıştır. Cohen (1988) tarafından yapılan tanımlamalara göre, η^2 değerinin .01 ile .06 arasında olması düşük, .06 ile .14 arasında olması orta, .14'ün üzerinde olması ise büyük bir etkiyi göstermektedir. Tabloya bakıldığında, yapılan deneyin güç değeri .81 olarak hesaplanmıştır. Deneysel araştırmalarda, hipotezlerin doğrulanması için denel işlemin gücünün en az %80 olması beklenmektedir (Christensen vd., 2020). Bu bağlamda, elde edilen sonuçlar, araştırmanın hipotezinin %81 oranında doğrulandığını göstermektedir. Sonuç olarak, gerçekleştirilen denel işlemin, öğrencilerin girişimcilik becerisi düzeylerini geliştirme konusunda etkili olduğu söylenebilir.

VI. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu araştırmanın sonuçları, drama tekniğinin kullanıldığı sosyal bilgiler derslerinin öğrencilerin girişimcilik becerisini geliştirme noktasında önemli bir etki oluşturduğunu ortaya koymuştur. Drama etkinliklerinin Ağrı gibi sosyal ve ekonomik gelişim açısından kritik olan bir şehirde öğrencilerin

girişimcilik becerisinin gelişimine katkı sağlaması, beceri eğitimi bağlamında önemli görülebilir. Nitekim Ağrı'daki bir devlet okulunda yapılan bu araştırma, gelişmekte olan bölgelerdeki okullarda girişimcilik becerisinin kazandırılmasında drama tekniğinin olumlu sonuçlar sağlayabileceğini göstermiştir. Sonuç olarak, bu araştırma, drama gibi etkileşimli tekniklerin, sosyal bilgiler dersinde girişimcilik becerisinin geliştirilmesi açısından öğrenciler üzerinde anlamlı bir etki oluşturduğunu ortaya koymuştur. Alanyazındaki benzer çalışmalar da drama tekniğinin girişimcilik becerisinin gelişimi üzerindeki olumlu etkilerini desteklemektedir. Yurtseven ve Ergün (2018), ilkokul öğrencilerine girişimcilik becerisi kzandırma konusuna yönelik öğretmen görüşlerini araştırmıştır. Yurtseven ve Ergün (2018), öğretmenlerin çeşitli tekniklerin yanısıra dramanın da öğrencilere girişimcilik kazandırmada etkili bir teknik olacağı yaratıcılık, problem çözme ve işbirliği gibi girişimcilik kapsamındaki becerilerinin gelişimine katkı gmrüşünde olduklarını belirlemişlerdir. Kaiafa vd. (2020), ilköğretim öğrencileri ile yaptıkları araştırmada drama temelli öğretimin öğrencilere eleştirel düşünme becerisi kazandırmadaki etkisini irdelemişlerdir. Araştırma sonunda drama etkinliklerinin öğrencilerin eleştirel düşünme düzeyini geliştirmekle birlikte öğrencilere girişimcilik becerisi de kazandırdığını saptamışlardır. Benzer biçimde Hadiyani vd. (2021), drama temelli etkinliklerin öğrencilerin girişimcilik becerilerini geliştirdiğini belirlemiştir. Prabawangi vd. (2017), drama tekniklerinin öğrencilerin girişimcilik düzeylerini geliştirmede etkili olduğunu saptamışlardır.

VII. ÖNERİLER

- Sosyal bilgiler dersinde drama tekniğinin girişimcilik becerisi üzerindeki etkisi farklı sınıf düzeylerinde incelenbilir.
- Sosyal bilgiler dersinde drama tekniğinin farklı beceriler üzerindeki etkilerini inceleyen deneysel araştırmalar yapılabilir.
- Farklı illerde, kırsal ve kentsel bölgelerde, çeşitli okul türlerinde (özel, devlet, proje okulları vb.) benzer araştırmalar tekrar edilerek bu araştırmanın sonuçlarının genellenebilirliği güçlendirilebilir.
- Sosyal bilgiler dersinde drama tekniğinin girişimcilik becerisi üzerindeki etkisi, nitel ve karma desenli araştırmalarla incelenebilir.

KAYNAKLAR

[1] Akbayrak, K. (2019). *Özel yetenekli ilkokul 4. sınıf öğrencilerine yaratıcı drama yöntemiyle girişimcilik becerisi kazandırılması üzerine bir eylem araştırması,* (Yüksek Lisans Tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

[2] Barr, R. D., Barth, J. L., & Shermis, S. S. (1977). *Defining the social studies (No. 51).* National Council for the Social Studies.

[3] Bayram, H. (2021). *6. sınıf sosyal bilgiler dersinde probleme dayalı öğrenmenin öğrencilerin girişimcilik düzeyine etkisi*, (Doktora Tezi). Anadolu Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü.

[4] Büyüköztürk, Ş., Çakmak, E. K., Akgün, Ö. E., Karadeniz, Ş., & Demirel, F. (2020). *Eğitimde bilimsel araştırma yöntemleri.* Pegem Akademi Yayınları.

[5] Yurtseven, R., & Ergün, M. (2018). İlkokul öğrencilerinin girişimcilik becerilerinin geliştirilmesine yönelik öğretmen görüşleri. *International Journal of Social Science Research, 7*(1), 118-140. https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijssresearch/issue/38209/434121

[6] Christensen, L. B., Johnson, R. B., & Turner, L. A. (2014). *Research methods, design, and analysis.* Pearson Education Limited.

[7] Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences.* Lawrance Earlbaum Associates.

[8] Deveci, H. (2015). *Çocuklara girişimcilik kazandırmada sosyal bilgilerin rolü: Bir araştırma örneği.* Pegem Akademi Yayıncılık.

[9] Eroğlu, S., & Deveci, H. (2021). Ortaokul öğrencilerinin girişimcilik düzeyleri ile girişimcilik becerisinin sosyal bilgiler dersinde kazandırılmasına ilişkin öğretmen görüşleri. *Trakya Eğitim Dergisi, 11*(3), 1190-1211. https://doi.org/10.24315/tred.784710

[10] Eroğlu, S., Deveci, H., & Bayır, Ö. G. (2020). Ortaokul öğrencilerine yönelik girişimcilik ölçeği'nin geliştirilmesi. *Cumhuriyet Uluslararası Eğitim Dergisi, 9*(4), 1204-1224. https://doi.org/10.30703/cije.696086

[11] Evans, R. W. (2004). *The social studies wars: What should we teach the children?* Teachers College Press.

[12] Field, A. (2017). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics.* Sage.

[13] Gedeon, S. (2010). What is entrepreneurship. *Entrepreneurial Practice Review*, *1*(3), 16-35. https://www.researchgate.net/profile/Steven-Gedeon/publication/313215965_What_is_Entrepreneurship/links/6707e244ab024170996655db/What-is-Entrepreneurship.pdf
[14] Girgin, D., & Akcanca, N. (2020). Sosyal girişimcilik becerilerinin kazandırılmasında bir araç olarak yaratıcı dramaya yönelik algılar. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 17*(1), 45–63. https://doi.org/10.33437/ksusbd.688809
[15] Hadiyani, S. P., Abidin, Z., & Utamidewi, W. (2021). Pengaruh tayangan drama Korea itaewon class terhadap motivasi menjadi entrepreneurship. *Jurnal Pendidikan dan Kewirausahaan*, *9*(1), 132-144. https://doi.org/10.47668/pkwu.v9i1.188
[16] Kaiafa, E., Dima, A., & Tsiaras, A. (2020). The use of drama-education techniques in cultivating the critical thinking skills of students in primary schools. *Journal of International Scientific Publications,* 18, 139-148. https://www.scientific-publications.net/en/article/1002107/
[17] Karasar, N. (2009). *Bilimsel araştırma yöntemi: Kavramlar, ilkeler, teknikler.* Nobel Yayıncılık.
[18] Milli Eğitim Bakanlığı. (2024). *Sosyal Bilgiler dersi öğretim programı (İlkokul ve ortaokul 4, 5, 6 ve 7. sınıflar).* Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı.
[19] Morris, R. V. (2001). Drama and authentic assessment in a social studies classroom. *The Social Studies*, *92*(1), 41-44. https://doi.org/10.1080/00377990109603974
[20] Ng, M. S. L. (2005). *Nurturing the studentrepreneur: Investigating the impact of a drama-based approach to teaching the spirit of entrepreneurship*, (Lisans Tezi). National Institute of Education, Singapore.
[21] Prabawangi, R. P., Fatanti, M. N., Putri, R. D., & Megasari, R. (2022, Aralık). Entrepreneurship lessons perceived by Korean drama audience: Itaewon class series as a source for learning entrepreneurship education in university. *2nd International Conference on Social Knowledge Sciences and Education*'da sunulmuş bildiri. Selangor, Malezya.
[22] Prendiville, F., Neelands, J., & Toye, N. (2013). *Drama and traditional story for the early years.* Routledge.
[23] Russell III, W. B. (2010). Teaching social studies in the 21st century: A research study of secondary social studies teachers' instructional methods and practices. *Action in Teacher Education*, *32*(1), 65-72. https://doi.org/10.1080/01626620.2010.10463543
[24] Saboorizadeh, J., He, H., Burgoyne, S., Pfeiffer, F., Hunt, H., & Strobel, J. (2023). Theatre-based creativity activities for the development of entrepreneurial mindsets in engineering. S. Kaya-Capocci & E. Peters-Burton (Editörler), *Enhancing entrepreneurial mindsets through STEM education* içinde (ss. 383-402). Springer.
[25] Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2019). *Using multivariate statistics.* Pearson.
[26] Wolven, R. (2014). The drama, theatre and performance companion. *Reference Reviews*, *28*(6), 41-42. https://doi.org/10.1108/RR-04-2014-0098

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Deniz Kazaları Üzerine Yapılmış Lisansüstü Çalışmaların Bibliyometrik Analizi

Hüseyin Caner Doğru[1*] ve Murat Yorulmaz[2]

[1]*Deniz Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye*
[2]*Denizcilik İşletmeleri Yönetimi Bölümü/ Denizcilik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye*

[*]*(dogru.hcaner@gmail.com)*

Özet – Dünya ticaretinin büyük bir bölümü deniz yoluyla gerçekleştirildiğinden, deniz trafiğinin yoğunluğu dikkat çekicidir. Bu yoğunluk, zaman zaman deniz kazalarının meydana gelmesine yol açmaktadır. Deniz kazalarının en temel nedeni insan hataları olsa da başka faktörler de rol oynamaktadır. Deniz trafiğinin fazlalığı, akıntılar, dar sularda manevra yapma zorlukları ve kısıtlı görüş koşulları, kaza riskini artıran başlıca unsurlar arasındadır. Bu nedenle, emniyetli seyir için dikkatli navigasyon ve gelişmiş denizcilik teknolojilerinin kullanımı önem taşımaktadır. Deniz kazaların önlenmesi adına denizcilik eğitim ve denetim süreçleri titizlikle yürütülmeli ve bilimsel çalışmaların sayısı da artırılmalıdır. Bu kapsamda çalışmanın amacı, tez başlığı ‘‘deniz kazaları’’ adı altında olan ulusal literatürde yapılmış tezlerin mevcut durumunu ortaya koymak, eğilimleri tespit etmek ve ileride deniz kazalar konusunda yapılacak çalışmalara katkı sağlamaktır. Bu kapsamda, YÖK Tez veri tabanından alınan veriler bibliyometrik analiz yöntemiyle analiz edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre deniz kazaları ile ilgili tezlerin çoğunlukla yüksek lisans tezleri olduğu görülmüştür. Bu çalışma, Türkiye’de deniz kazalarının üzerine yapılmış tezleri analiz etmesi nedeniyle literatüre katkı yapmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Denizcilik, Deniz Kazları, Bibliyometrik Analiz.

I. GİRİŞ

Uluslararası ticarette büyük öneme sahip olan sektör denizciliktir. Dünya ticaretinin %80’den fazlasının deniz yolu taşımacılığı ile gerçekleştiği ve bir ülke ekonomisinin gelişmesinde en büyük etkiye sahip olan ulaşım türü olduğu bilinmektedir. 2000’li yılların başından itibaren ise dünya yüklerinin %85’i ve petrolün %90’dan fazlası deniz yoluyla taşınmaktadır [1]. Deniz ulaştırmasının, düşük maliyette büyük miktardaki yüklerin taşımacılığının yapıldığı, yüklerin daha güvenli ve hızlı taşındığı, farklı bölgelerdeki geçiş noktalarının daha rahat kullanıldığı bir ulaştırma modu olduğu söylenebilir.

Deniz ulaştırma sisteminde taşınan yüklere göre farklı sınıf gemi tipleri bulunmaktadır. Halihazırda kullanılmakta olan gemi tipleri, RO-RO gemileri, konteyner gemileri, tanker gemileri, kuru yük gemileri ve yolcu gemileridir. RO-RO gemileri, taşınacak yükleri korunmaları sağlayacak şekilde inşa edilmiş gemilerdir. Konteyner gemileri, özel boyutlarda konteyner paket nakliyecileri ile yük taşıyan gemilerdir. Tanker gemileri, yanıcı veya yanıcı olmayan maddeleri taşımak için inşa edilmiş veya dönüştürülmüş gemilerdir. Kuru yük gemileri, paketlemeye gerek duyulmadan özel ambarlara dökme olarak yüklenebilen gemilerdir. Yolcu gemileri ise yolcu taşımada kullanılan ancak araba ve kuru yük taşıyacak şekilde inşa edilmiş gemilerdir [2].

Dünya üzerindeki ticaretin çoğunluğunun deniz yolu ile gerçekleşmesi de deniz trafiğinin ne kadar yoğun olduğunu gözler önüne sermektedir. Bu süreçte zaman zaman kazaların olması ise kaçınılmaz hal

almaktadır. Oluşan kazaların en önemli etkeni ise insan hatalarıdır. Bunların yanında deniz trafiğinin etkisi, akıntılar, dar sularda manevra ve kısıtlı görüş şartlarında seyir yapmakta bulunmaktadır.

Deniz kazaları hakkındaki literatür incelenip deniz kaza sebeplerine bakıldığında; çevresel sorunlar, donanımdan kaynaklı sorunlar, gemi denetimlerinin düzgün şekilde yapılmaması sonucu meydana gelen sorunlar, analizi iyi yapılamayan kaza sonuç formları, eğitim yetersizliği, stres, aşırı çalışma gibi nedenlerden kaynaklandığı görülmüştür. Deniz kazaları konulu tezlerin bibliyometrik analiz yöntemi kullanılarak ele alınması ise geçmişten günümüze kadar yaşanılan kazaların derinlemesine incelenmesinde katkı sağlamıştır. Bu sayede deniz kazalarına etki eden hususların neler olduğu, azaltılması konusunda alınacak önleyici tedbirleri analiz etmeyi kolaylaştırmıştır. Bu kapsamda çalışmanın amacı, tez başlığı ‘‘deniz kazaları’’ olan tezlerin mevcut durumunu ortaya koymak, eğilimleri tespit etmek ve ileride deniz kazalar konusunda yapılacak çalışmalara katkı sağlamaktır. Bu kapsamda, YÖK Tez veri tabanından alınan veriler bibliyometrik analiz yöntemiyle analiz edilmiştir. Bu çalışma, Türkiye’de deniz kazalarının üzerine yapılmış tezleri bibliyometrik analiz yöntemiyle incelemesi nedeniyle literatüre katkı yapmaktadır.

II. YÖNTEM

Bibliyometri, bilimsel yayınlardaki çalışmalar, kurumlar, dergiler, ülkeler ve yazarlar gibi bilimsel çıktıların ölçülebilmesi ve aralarındaki etkileşimlerin zaman içinde sosyal ve kavramsal yapısının nasıl geliştiğinin analiz edilebilmesi için önemli bir araç olarak ortaya çıkmıştır [3]. Bibliyometrik analiz sayesinde herhangi bir konu hakkındaki tezlerin içeriği, yazarı, konusu, ana bilim dalı, atıf sayıları vs. üzerinden tablo ve sayısal değerler ile bir profil çıkarmamıza yardımcı olur. Bu sayede herhangi bir araştırmadaki, yapacağımız konu verilerini sade ve anlaşılır bir şekilde analiz etmemize destek sağlayacaktır. İçerik analizi ise yazılı metinlerde, belirlenen kategorilerdeki kavramların tekrar etme sıklığını takip eder ve bunları analiz etmemize yardımcı olur [4]. Bu çalışmada, içerik analiz ile belirlenen deniz kazaları konusunda yayınlanmış tezler incelenmekte ve bibliyometrik analiz yöntemi kullanılmaktadır.

III. BULGULAR

Yüksek Öğretim Kurulu’na ait Tez veri tabanında tez adı olarak “deniz kazaları” kelimesi ile arama yapılıp incelendiğinde 30 adet lisansüstü tezin gerçekleştirildiği görülmüş ve bunların 28 adedine erişim sağlanabilmiştir. İncelenen tezlerin dağılımları Tablo 1 ‘de yer verilmiştir.

Tablo 1. Deniz Kazaları Üzerine Gerçekleştirilen Lisansüstü Tez Türü

Tez Türü	Tez Sayısı	Gerçekleşme Yüzdesi (%)
Yüksek Lisans	21	%75,0
Doktora	7	%25,0
Toplam	28	%100,0

Deniz kazaları üzerine içerik analizi ile belirlenen lisansüstü tez çalışmaları analiz edildiğinde, Yüksek Öğretim Kurulu Tez Merkezi’nde 28 adet gerçekleşmiş teze ulaşılmıştır. Tablo 1’de verilen bahse konu tezlerin 21 adedi (%75,0) yüksek lisans tezleri ve geriye kalan 7 adedinin (%25) ise doktora tezi olarak gerçekleştiği görülmüştür. Yüksek lisans ve doktora tezlerinde, deniz kazaları konusunda gerçekleştirilmiş olanlar ayrıntılı bir şekilde incelenerek kategorileştirilmiştir. Bu konuda gerçekleştirilen tezlerin hangi ana bilim dallarında gerçekleştiğine ilişkin bilgiler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Deniz Kazaları Üzerine Gerçekleştirilen Lisansüstü Tezlerin Yapıldığı Anabilim Dalı

Ana Bilim Dalı	**Yüksek Lisans Tezi**		**Doktora Tezi**	
	Tez Sayısı	Gerçekleşme Yüzdesi (%)	Tez Sayısı	Gerçekleşme Yüzdesi (%)
Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği	5	%17,85	1	%3,57
Deniz İşletmeciliği	3	%10,71	-	-
Deniz İşletmeleri Yönetimi	3	%10,71	-	-
Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırılması	2	%7,14	2	%7,14
Deniz Ulaştırma Mühendisliği	2	%7,14	-	-
Hukuk	1	%3,57	-	-
Denizel Çevre	1	%3,57	-	-
Gemi İnşaatı Bölümü, Deniz Bilimleri Teknolojisi	1	%3,57	-	-
Fiziksel Oşinografi ve Deniz Biyolojisi	1	%3,57	-	-
İş Sağlığı ve Güvenliği	1	%3,57	-	-
Kamu Yönetimi	1	%3,57	-	-
Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği	-	-	1	%3,57
Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri	-	-	1	%3,57
Deniz İşletmeciliği	-	-	1	%3,57
İklim ve Deniz Bilimleri	-	-	1	%3,57

Tablo 2'de deniz kazaları konusunda içerik analiz metodu ile belirlenen tezlerin gerçekleştirildiği ana bilim dalları incelenmiştir. Bulunan bilgiler, deniz kazaları konusunda gerçekleşmiş olan yüksek lisans tezlerinin en çok Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda (%17,7) olduğunu ortaya koymuştur. Sonrasında Deniz İşletmeciliği Anabilim Dalı'nda (%10,7), Deniz İşletmeleri Yönetimi Anabilim Dalı'nda (%10,7), Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırılması Anabilim Dalı'nda (%7,1), Deniz Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı'nda (%7,1), Hukuk Anabilim Dalı'nda (%3,6), Denizel Çevre Anabilim Dalı'nda (%3,6), Gemi İnşaatı Bölümü, Deniz Bilimleri Teknolojisi Anabilim Dalı'nda (%3,6), Fiziksel Oşinografi ve Deniz Biyolojisi Anabilim Dalı'nda (%3,6), İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı'nda (%3,6) ve Kamu Yönetimi Anabilim Dalı'ndaki (%3,6) tezlerde deniz kazaları üzerine gerçekleşmiştir. Doktora tezlerine bakıldığında Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırılması Anabilim Dalı'nda (%7,1), Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda (%3,6), Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı'nda (%3,6), Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Anabilim Dalı'nda (%3,6), Deniz İşletmeciliği Anabilim Dalı'nda (%3,6) ve İklim ve Deniz Bilimleri Anabilim Dalı'nda (%3,6) gerçekleştiği görülmüştür. Deniz kazaları üzerine kabul görmüş tezlerin hangi yıllarda gerçekleştiği bilgilerine ise Tablo 3'te yer verilmiştir.

Tablo 3. Deniz Kazaları Üzerine Gerçekleştirilen Lisansüstü Tezlerin Tamamlandığı Yıllar

Gerçekleştirilen Yıl	Yüksek Lisans Tezi		Doktora Tezi	
	Tez Sayısı	Gerçekleşme Yüzdesi (%)	Tez Sayısı	Gerçekleşme Yüzdesi (%)
2005	-	-	1	%3,57
2006	1	%3,57	-	-
2007	2	%7,14	-	-
2008	1	%3,57	1	%3,57
2009	1	%3,57	-	-
2010	3	%10,71	-	-
2011	1	%3,57	1	%3,57
2012	1	%3,57	-	-
2014	1	%3,57	-	-
2016	-	-	1	%3,57
2019	3	%10,71	-	-
2020	2	%7,14	1	%3,57
2021	1	%3,57	-	-
2022	1	%3,57	1	%3,57
2023	2	%7,14	-	-
2024	1	%3,57	1	%3,57

Tablo 3'e göre deniz kazaları konusunda Türkiye'de gerçekleşmiş olan lisansüstü tezlerin ilki 2006 yılında yüksek lisans tezi ve 2005 yılında ise doktora tezi olarak tamamlandığını söylemek mümkündür. Deniz kazaları üzerine hazırlanan lisansüstü tezler, en sık 2010 ve 2019 yıllarında tamamlanmıştır. Bu durumda, 2010 yılında üç adet yüksek lisans tezi (%10,71) ve 2019 yılında üç adet yüksek lisans tezinin (%10,71) gerçekleştiği dikkat çekmiştir. 2007, 2020 ve 2023 yıllarında ikişer adet yüksek lisans tezinin (toplamda %21,42); 2006, 2008, 2009, 2011, 2012, 2014, 2021, 2022 ve 2024 yıllarında birer adet yüksek lisans tezinin (toplamda %32,13) gerçekleştiği görülmüştür. Doktora tezlerinin ise 2005, 2008, 2011, 2016, 2020, 2022 ve 2024 yıllarında birer adet (toplamda %24,99) gerçekleştiği görülmüştür. Buradan hareketle, ilerleyen dönemlerde bu sayıların benzerlik göstereceği öngörülmüştür. Deniz kazaları konusunda gerçekleştirilen tezlerde kullanılmış yayın dili incelenmiştir. Yayın dilinin dağılımına Tablo 4'te yer verilmiştir.

Tablo 4. Deniz Kazaları Konusunda Gerçekleştirilen Lisansüstü Tezlerin Yayın Dili

Yayınlanan Dil Türü	Yüksek Lisans Tezi		Doktora Tezi	
	Tez Sayısı	Gerçekleşme Yüzdesi (%)	Tez Sayısı	Gerçekleşme Yüzdesi (%)
Türkçe	21	%75	6	%21
İngilizce	-	-	1	%4

Tablo 4'te deniz kazaları üzerine gerçekleştirilen Türkiye'deki yüksek lisans ve doktora tezlerinin yazıldığı dil türü incelenmiştir. Bu bağlamda gerçekleşen 21 adet yüksek lisans ve 6 adet doktora tezinin Türkçe dilinde yazıldığı, ancak İngilizce yayın dili olarak sadece bir adet doktora tezinin gerçekleştiği görülmüştür. Deniz Kazaları üzerine gerçekleştirilen tezlerin üniversite dağılımları incelenmiş ve Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Deniz Kazaları Üzerine Gerçekleştirilen Lisansüstü Tezlerin Üniversite Dağılımları

Üniversiteler	Yüksek Lisans Tezi		Doktora Tezi	
	Tez Sayısı	Gerçekleşme Yüzdesi (%)	Tez Sayısı	Gerçekleşme Yüzdesi (%)
İstanbul Üniversitesi	5	%17,85	1	%3,57
Dokuz Eylül Üniversitesi	4	%14,29	1	%3,57
İskenderun Teknik Üniversitesi	3	%10,71	-	-
Gazi Üniversitesi	2	%7,14	2	%7,14
Karadeniz Teknik Üniversitesi	2	%7,14	2	%7,14
İstanbul Teknik Üniversitesi	2	%7,14	1	%3,57
Marmara Üniversitesi	1	%3,57	-	-
Çukurova Üniversitesi	1	%3,57	-	-
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi	1	%3,57	-	-

Tablo 5'te deniz kazalarına üzerine Türkiye'deki yüksek lisans ve doktor tezlerinin gerçekleştiği üniversiteler incelenmiştir. Bu bağlamda en çok yüksek lisans tezi İstanbul Üniversitesi'nde (%17,85) ve doktora tezi ise Gazi Üniversitesi (%7,14) ve Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde (%7,14) gerçekleşmiştir. Akabinde Dokuz Eylül Üniversitesi'nde 4 adet (%14,29), İskenderun Teknik Üniversitesi'nde 3 adet (%10,71), Gazi Üniversitesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi ve İstanbul Teknik Üniversitesi'nde 2'şer adet olmak üzere toplamda 6 adet (%21,42), Marmara Üniversitesi, Çukurova Üniversitesi ve Kütahya Dumlupınar Üniversitesi'nde 1'er adet olmak üzere toplamda 3 adet (%10,72) yüksek lisans tezi gerçekleşmiştir. Doktora tezleri ise İstanbul Üniversitesi, Dokuz Eylül Üniversitesi ve İstanbul Teknik Üniversitesi'nde 1'er adet olmak üzere toplamda 3 adet (%10,72) gerçekleşmiştir. Deniz kazalarına üzerine gerçekleştirilen tezlerdeki kaynakça kullanım sayıları Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Deniz Kazaları Üzerine Gerçekleştirilen Lisansüstü Tezlerin Kaynakça Sayıları

Kaynakça Sayıları	Yüksek Lisans Tezi		Doktora Tezi	
	Tez Sayısı	Gerçekleşme Yüzdesi (%)	Tez Sayısı	Gerçekleşme Yüzdesi (%)
0-50	9	%32,14	1	%3,57
51-100	9	%32,14	3	%10,71
101-150	2	%7,14	1	%3,57
151-200	1	%3,57	2	%7,14

Tablo 6'da deniz kazalarına üzerine gerçekleştirilen lisansüstü tezlerde kullanılan kaynakça sayıları incelenmiştir. Bu bağlamda yüksek lisans tezlerinde kullanılan kaynakça sayıları 0-50 ve 51-100 miktarlarında 9'ar adet olmak üzere toplamda 18 (%64,28), 101-150 miktarında 2 adet (%7,14) ve 151-200 miktarında 1 adet (%3,57) tez gerçekleşmiştir. Doktora tezlerinde ise 51-100 miktarında 3 adet (%10,71), 151-200 miktarında 2 adet (%7,14) ve 0-50 ve 101-200 miktarlarında 1'er adet olmak üzere toplamda 2 adet (%7,14) tez gerçekleşmiştir. Deniz kazalarına üzerine gerçekleştirilen lisansüstü tezlerde kullanılan anahtar kelimeler Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deniz Kazaları Üzerine Gerçekleştirilen Lisansüstü Tezlerde Kullanılan Anahtar Kelime Bulutu

Şekil 1'de deniz kazaları üzerine gerçekleştirilen lisansüstü tezlerde kullanılan anahtar kelimeler incelenmiştir. 6 adet yüksek lisans tezinde ve 1 adet doktora tezinde anahtar kelimelerin kullanılmadığı tespit edilmiştir. Geriye kalan 21 adet yüksek lisans ve doktora tezlerinde en çok kullanılan anahtar kelime deniz kazaları olmuştur. Bunların yanında; gemi kazaları, istatistiksel analiz, İstanbul Boğazı, çatışma ve insan hatası analiz ve sınıflandırma sistemi anahtar kelimelerinin kullanıldığı verisine ulaşılmıştır. Kullanılan anahtar kelimeler incelendiğinde deniz kazalarına etki eden unsurların insan, materyal ve idari konuları kapsadığı görülmüştür.

IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Türkiye'nin jeopolitik konumu ve uluslararası ticaretin büyük yoğunluğunun deniz ticareti ile yapıldığı günümüzde, deniz trafiğindeki yoğunluk sebebiyle deniz kazaları kaçınılmaz olmaktadır. Bu kapsamda da Türkiye'de meydana gelen deniz kazalarının incelenmesi ve alınacak emniyet tedbirleri kapsamında lisansüstü tezler gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda çalışmanın amacı, tez başlığı ''deniz kazaları'' olan ulusal literatürde yapılmış tezlerin mevcut durumunu ortaya koymak, eğilimleri tespit etmek ve ileride deniz kazalar konusunda yapılacak çalışmalara katkı sağlamaktır. Bu kapsamda, YÖK Tez veri tabanından alınan veriler bibliyometrik analiz yöntemiyle analiz edilmiştir. Bu çalışma, Türkiye'de deniz kazalarının üzerine yapılmış tezleri analiz etmesi nedeniyle literatüre katkı yapmaktadır.

Bu çalışmada deniz kazaları konusunda yazılan yüksek lisans ve doktora tezleri, anabilim dalı, hangi yıllarda gerçekleştiği, yayın dili, hangi üniversitelerde yazıldığı ve kaynakça sayıları incelenmiştir. Bu bağlamda doktora tez sayısının yüksek lisans tez sayısından daha düşük olduğu görülmektedir. Yapılan tezler çeşitli anabilim dallarında yazılmasına rağmen yüksek lisans ve doktora tezlerinde İngilizce yayın dilinin sadece bir kere kullanıldığı ve geriye kalan tezlerin Türkçe dil yayını kullanıldığı göze çarpmaktadır. Yükseköğretim kurumlarında gerçekleşen tezlerin uluslararası olarak etkin olabilmesi maksadıyla İngilizce yayın dilinde hazırlanmış olmasının büyük öneme sahip olacağı düşünülmektedir. Deniz kazaları üzerine gerçekleştirilen yüksek lisans tezlerin çoğu İstanbul Üniversitesi'nde ve doktora tezlerinde ise Gazi Üniversitesi ve Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde gerçekleşmiştir. Yazılan tezlerde en çok kullanılan anahtar kelime ise deniz kazaları olmuş ancak toplam yedi adet tezde anahtar kelime bilgisine ulaşılamamıştır.

Yapılan araştırma Yüksek Öğretim Kurulu'na ait Tez veri tabanında tez başlığı deniz kazaları aratılarak ulaşılan tezler incelenmiştir. Bu tezler sayesinde deniz kazalarının hangi sebeplerden kaynaklandığı, alınması gereken önlem ve tedbirlerin neler olduğunu anlamamıza yardımcı olduğu gibi üniversite, ana bilim dalları, yayın dili, kaynakça ve anahtar kelime sayılarındaki analizler ile Türkiye'deki yapılan çalışmaları daha iyi analiz edebilmemize de olanak sağladığı değerlendirilmektedir. İleriki çalışmalarda

YÖK Tez veri tabanı deniz kazalarını içeren bütün tezlerin incelenmesinin, deniz kazaları konusunda daha kapsamlı inceleme sağlayacağı değerlendirilmektedir. Ayrıca emniyetli seyir için dikkatli navigasyon ve gelişmiş denizcilik teknolojilerinin kullanımı önem taşımaktadır. Bunlarla birlikte deniz kazaların önlenmesi adına denizcilik eğitim ve denetim süreçleri titizlikle yürütülmeli ve bilimsel çalışmaların sayısı da artırılmalıdır.

KAYNAKLAR

[1] ÇETİN, O. (2009). Denizcilik Sektöründe Mukayeseli Bir Model. Güvenlik Stratejileri Dergisi, 5(10), 35–58.
[2] AYKANAT, E. (2010). Liman ve bayrak devleti kontrolleri verileri yardımıyla gemi kazalarının analizi (M.S. thesis).
[3] KOÇ, A. (2022). Bir Literatür İncelemesi Aracı Olarak Bibliyometrik Analiz. Nobel Bilimsel (3rd Ed., Pp. 0–0).
[4] METİN, O (2022). İçerik Analizi Tekniği: İletişim Bilimlerinde ve Sosyolojide Doktora Tezlerinde Kullanımı.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

ICSIS

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Haydarpaşa Gemi Atık Kabul Tesisi Arıtım Sürecinde Performans Artırımı

Fatih Çoker[1], Halim Alp Makineci[1], Gökberk Solmaz[1], Nurullah Özdoğan[2,*], Murat Eyvaz[3]

[1] *İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret A.Ş. (ISTAÇ), Türkiye*
[2]*Çevre Mühendisliği / Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Türkiye*
[3]*Çevre Mühendisliği / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye*

[*]*(nurullahozdogan@gmail.com)*

Özet **–** Bu çalışmada, İstanbul Haydarpaşa Gemi Atık Kabul Tesisi arıtma ünitesinin performans iyileştirilmesine yönelik gerçekleştirilen teknik uygulamalar ve değerlendirmeler sunulmaktadır. İSTAÇ tarafından işletilen mevcut tesis; proseslerin eskimesi/yıpranması, otomasyon sisteminin bulunmayışı ve en önemlisi tesise gelen anlık kirletici yüklerinin oldukça değişken olması sebebiyle, tesisin tasarım kriterlerinde yer alan bekleme sürelerini sağlayamamakta ve bu nedenle deşarj limitlerinin aşılmaması için kimyasal sarfiyatları artmaktadır. Bu amaçla, araştırma kapsamında kimyasal arıtım ünitesinde kullanılan koagülan ve polimer dozajlarının optimizasyonu, DAF sisteminin etkinliğinin artırılması ve ileri oksidasyon uygulamalarının performansı analiz edilmiştir. Üç farklı firma ile yürütülen deneysel çalışmalar sonucunda, mevcut kimyasalların yeterli olduğu ancak manuel dozajlama nedeniyle sistem performansının sınırlı kaldığı tespit edilmiştir. DAF sisteminde beklenen verim elde edilememiş, ancak oksidasyon destekli uygulamalarla renk giderimi ve KOİ parametrelerinde önemli iyileşmeler sağlanmıştır. Sonuç olarak, kimyasal dozajlamanın otomasyona geçirilmesi, ekipman modernizasyonu ve ileri oksidasyon yöntemlerinin entegrasyonu önerilmektedir. Bu çalışma, gemi kaynaklı atık suların etkili yönetimi ve tesisin sürdürülebilir işletimi açısından önemli katkılar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Gemi atıkları, atık su arıtma, koagülan optimizasyonu, DAF sistemi, sürdürülebilirlik.

I. GİRİŞ

Gemi kaynaklı atıklar, deniz çevresinin korunması açısından uluslararası düzeyde büyük önem taşıyan bir konudur. İstanbul gibi hem ticari hem de transit deniz trafiğinin yoğun olduğu bir kentte bu önemin çok daha kritik olduğu açıktır. Dünya denizcilik taşımacılığının temel kurallarını belirleyen Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından kabul edilen MARPOL Konvansiyonu, gemilerden kaynaklanan atıkların çevreye zarar vermeden yönetilmesini zorunlu kılmaktadır [1]. Türkiye, MARPOL tarafı olarak bu yükümlülükleri yerine getirmekle sorumludur ve bu sorumluluk kapsamında deniz yetki alanlarında hizmet veren gemi atık kabul tesisleri kilit rol üstlenmektedir.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi iştiraki olan İSTAÇ A.Ş. tarafından işletilen Haydarpaşa Gemi Atık Kabul Tesisi, İstanbul Boğazı'nın kenarında, yıllık yaklaşık 300.000 m³ petrol ve türevleriyle bulaşık atık, pis su, çöp ve baca gazı filtrasyon atığını yöneterek, hem çevre koruma hem de ekonomik geri kazanım açısından kritik bir görevi yerine getirmektedir. Tesis, toplanan atıkları ön susuzlaştırma işleminden geçirerek lisanslı geri kazanım tesislerine yönlendirmekte ve bu sayede yaklaşık 38.000 m³ yağ ve petrol türevi atığın ekonomiye geri kazandırılmasını sağlamaktadır.

Ancak son dönemde, tesisin tasarım kapasitesinin üzerinde çalıştırılmakta olması nedeniyle özellikle deşarj suyu kalitesinde yönetmelik sınırlarının aşılmaya başlandığı tespit edilmiştir [2]. Özellikle KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı), AKM (Askıda Katı Madde), Renk ve Toplam Azot gibi parametrelerde limit aşımı görülmüş, İSKİ Atıksu Arıtma Dairesi Başkanlığı tarafından yapılan denetimlerde tesisin

performansına dair resmi uyarılar yapılmıştır. Üstelik, bu temel parametrelerin yanı sıra geçmiş analizler incelendiğinde sülfat, klorür, yağ-gres, toplam sülfür, toplam fosfor ve yüzey aktif madde gibi ilave parametrelerin de sınır değerlere yaklaştığı dikkat çekmektedir [3].

Söz konusu durum, yalnızca çevresel riskleri artırmakla kalmayıp, tesisin sürdürülebilir işletme yapısını da zora sokmaktadır. İşletme koşullarının dalgalanması, gelen atık yükünün anlık değişimleri ve manuel kimyasal dozajlamanın getirdiği belirsizlikler; proses verimliliğini olumsuz etkileyerek çevre mevzuatına tam uyumun sağlanmasını güçleştirmektedir. Bu tablo karşısında, İSTAÇ A.Ş. bünyesindeki Araştırma ve İş Geliştirme birimi tarafından tesisin mevcut durumunu kapsamlı bir şekilde değerlendirmek ve düşük maliyetli ancak etkili iyileştirme yolları geliştirmek üzere çalışma başlatılmıştır.

Bu bağlamda yürütülen bu çalışma, tesis performansını artırmak amacıyla üç ana başlık altında değerlendirilmiştir: kimyasal arıtım ünitelerinin optimizasyonu, DAF sisteminin performans artırıcı değerlendirmesi ve ileri oksidasyon destekli uygulamalar. Çalışmalar süresince, firma bağımsızlığı prensibiyle, farklı kimyasal ürünler ve dozaj stratejileri denenmiş, mevcut koşullardaki verimlilik parametreleri sahadan toplanan verilerle detaylı olarak analiz edilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışma Haydarpaşa Gemi Atık Kabul Tesisi'nin sürdürülebilir işletme hedeflerine ulaşması ve çevre koruma sorumluluklarını etkin bir şekilde yerine getirmesi adına değerli bir yol haritası sunmayı amaçlamaktadır. Elde edilen bulgular yalnızca bu tesis için değil, benzer nitelikteki diğer gemi atık kabul tesisleri için de referans teşkil edebilecek niteliktedir. Ayrıca, çevresel yönetmeliklerin sıkılaştığı ve kamuoyunun çevresel hassasiyetinin arttığı günümüzde, arıtma süreçlerinin sürekli iyileştirilmesi gerekliliğine somut bir örnek oluşturmaktadır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Haydarpaşa Gemi Atık Kabul Tesisi'nde gerçekleştirilen bu çalışma, tesisin mevcut arıtma kapasitesinin iyileştirilmesine yönelik olarak planlanmıştır. Çalışmalar; yerinde saha uygulamaları, laboratuvar ölçekli deneysel testler ve proses verimliliği değerlendirmelerini kapsayacak şekilde çok aşamalı olarak yürütülmüştür. İyileştirme sürecinde kimyasal arıtım yöntemlerinin optimizasyonu, fiziksel arıtım sistemlerinin performans değerlendirmesi ve ileri oksidasyon teknolojilerinin uygulanabilirliği araştırılmıştır.

2.1. Numune Toplama ve Ön İnceleme

İlk aşamada, tesisin ham atık su girişinden ve proses çıkışından temsil numuneler alınmıştır. Numune alma işlemleri, sahadaki mevcut işletme koşullarını ve atık yükünü temsil edecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Toplanan numuneler, KOİ, AKM, toplam azot (TN), sülfat, klorür, yağ-gres, toplam sülfür, toplam fosfor, yüzey aktif madde ve renk gibi parametreler açısından değerlendirilmiştir. Bu ilk analizler, mevcut işletme koşullarının ve proses verimliliğinin temel göstergelerini ortaya koymak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

2.2. Kimyasal Arıtım Ünitelerinin İyileştirilmesi

Tesiste mevcut olarak uygulanan koagülasyon ve flokülasyon prosesleri manuel olarak yürütülmektedir. Bu durum, prosesin stabilitesini olumsuz yönde etkileyen en önemli etkenlerden biridir. Mevcut durumu daha iyi anlamak ve alternatif kimyasal ürünleri değerlendirmek amacıyla üç farklı firma ile kapsamlı jar testleri yapılmıştır. Firmalar, çalışmada nötr bir yaklaşımla Firma 1, Firma 2 ve Firma 3 olarak adlandırılmıştır.

2.2.1. Firma 1 ile Yapılan Jar Testleri

Firma 1 tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda, mevcut atık su numunesi kullanılarak farklı miktarlarda koagülan (PAC) ve flokülant (polimer) dozajları denenmiştir. İlk aşamada, PAC dozajının etkisi araştırılmış; hızlı karıştırma 120 rpm'de 1 dakika, ardından polimer ilavesi ile yavaş karıştırma 30 rpm'de 2 dakika uygulanmıştır. Farklı PAC ve polimer kombinasyonları kullanılarak numunelerdeki

askıda katı madde miktarı, renk giderimi ve KOİ parametrelerindeki değişimler görsel olarak değerlendirilmiş ve analiz için laboratuvara gönderilmiştir.

Çalışmalar sırasında, yüzeyde oluşan yağ ve katı madde birikimleri gözlenmiş; özellikle belirli PAC dozajlarında su berraklığında artış olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak, bazı numunelerde kireç ilavesi denenmiş ancak bu katkının anlamlı bir fayda sağlamadığı görülmüştür. Analiz sonuçları, mevcut kimyasalların tesis işletimi açısından yeterli olmakla birlikte, deşarj standartlarına ulaşmak için yetersiz olduğunu ortaya koymuştur.

2.2.2. Firma 2 ile Yapılan Jar Testleri

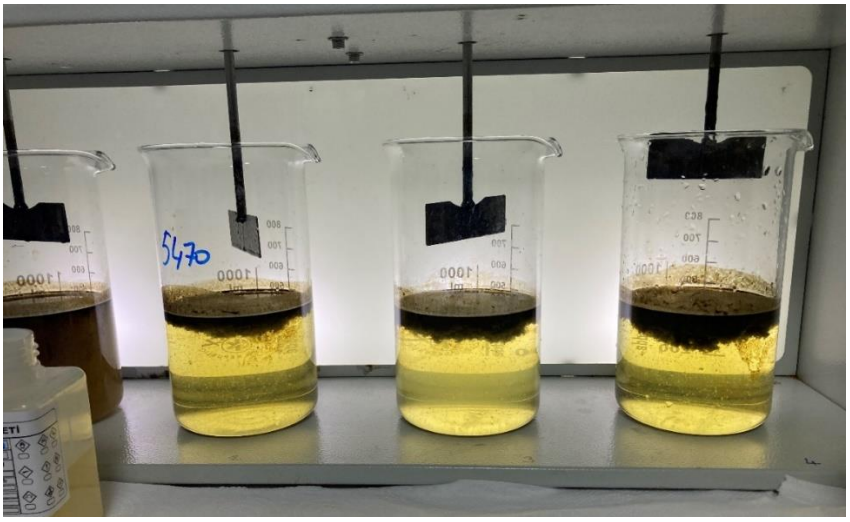
Firma 2 ile yapılan çalışmalarda da benzer şekilde tesisin ham atık suyu kullanılarak deneyler yürütülmüştür. Hızlı karıştırma 90 rpm'de 5 dakika, polimer ilavesinden sonra ise yavaş karıştırma 40 rpm'de 1 dakika olarak uygulanmıştır. Firma, farklı PAC ürünlerini ve kendi önerdikleri polimer tipini kullanarak en uygun kimyasal kombinasyonu belirlemeye çalışmıştır.

Gözlemler sonucunda, numunelerde yüzeyde birikme oluştuğu ancak bazı PAC dozajlarında berraklık düzeyinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Firma 2'nin mevcut PAC ve polimer kombinasyonları, tesis işletimi için olumlu sonuçlar verse de, mevzuata uygun deşarj kalitesi sağlanamamıştır.

2.2.3. Firma 3 ile Yapılan Jar Testleri

Firma 3, tesis laboratuvarına getirdiği kendi seçtiği PAC ve polimer ürünleri ile çalışmalarını sürdürmüştür. PAC eklenmesinin ardından 150 rpm'de 2 dakika hızlı karıştırma yapılmış, polimer ilavesiyle ise 50 rpm'de 3 dakika yavaş karıştırma uygulanmıştır.

Numunelerde çökme eğilimi başlangıçta dipte gözlemlenmiş, zamanla yağ etkisiyle yüzeyde birikme meydana gelmiştir. Analiz sonuçları, özellikle askıda katı madde ve renk gideriminde bazı iyileştirmeler sağlandığını göstermiştir. Ancak, diğer firmaların çalışmalarında olduğu gibi, KOİ parametresi açısından yeterli düşüş sağlanamamıştır. Jar testi çalışmalarından bir görünüm Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Atıksu Jar Test Çalışmaları

2.3. DAF Sistemi Performans Çalışması

Tesisin mevcut DAF (çözünmüş hava flotasyonu) ünitesinin verimliliğini artırmak amacıyla, özel olarak tasarlanmış bir "İbrik DAF Sistemi" üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, sistem giriş parametrelerine uygun olarak, yaklaşık 50 m^3/saat kapasiteli bir model değerlendirilmiştir.

Firma tarafından sağlanan veriler ışığında, KOİ gideriminde %60, AKM ve yağ-gres gideriminde ise %90 oranında verimlilik hedeflenmiştir. Ancak saha denemelerinde sistemin çıkış suyu kalitesi istenilen seviyeye ulaşamamış ve deşarj parametreleri sağlanamamıştır. Bu sonuç, mevcut DAF sisteminin proses performansını sınırlayan temel ekipmanlardan biri olduğunu göstermiştir.

2.4. Oksidasyon Destekli Uygulama Çalışmaları

Son aşamada, kimyasal arıtım süreçlerine ileri oksidasyon teknolojileri entegre edilerek iyileştirme potansiyeli araştırılmıştır. Uygulamalarda, mevcut PAC ve polimer dozajlarına ilave olarak hidrojen peroksit (H_2O_2), demir (II) sülfat ($FeSO_4$) ve ultraviyole (UV) ışık etkisi kullanılmıştır. Ayrıca, fiziksel ön arıtma amacıyla kaba filtrasyon da uygulanmıştır.

Deneyler sırasında, PAC ve polimer dozajları sabit tutularak H_2O_2 ve $FeSO_4$ ilavelerinin kombinasyonları test edilmiş, bazı numuneler UV ışığına maruz bırakılmıştır. Sonuç olarak, özellikle renk ve KOİ gideriminde belirgin iyileşmeler elde edilmiştir. Ancak aşırı dozajlamadan kaynaklanan olumsuz etkiler gözlemlenmiş, bu durum optimum dozajlamanın kritik olduğunu ortaya koymuştur.

Seçilen altı numune laboratuvar ortamında detaylı analizlere tabi tutulmuş, görsel karşılaştırmalar ve analiz sonuçları raporlanmıştır. Deney sonuçları, mevcut arıtma prosesine entegre edilecek ileri oksidasyon adımlarının, tesis performansını artırmak için etkili bir strateji olabileceğini göstermiştir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yürütülen çalışmalar sonucunda elde edilen veriler, Haydarpaşa Gemi Atık Kabul Tesisi'nin mevcut durumu, arıtma kapasitesi ve olası iyileştirme alanları hakkında kapsamlı bir bakış açısı sunmuştur. Farklı firmalarla yürütülen jar testleri, DAF sistemi değerlendirmesi ve oksidasyon destekli uygulamalar her biri kendi içinde önemli bulgular ortaya koymuş, tesis performansının artırılmasına yönelik somut ipuçları sağlamıştır.

3.1. Kimyasal Arıtım Çalışmalarından Elde Edilen Bulgular

Firma 1 ile gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde, mevcut tesis işletmesinde kullanılan PAC ve polimer dozajlarının görsel açıdan berraklık sağladığı ancak deşarj standartlarını karşılayacak seviyede yeterli olmadığı belirlenmiştir. Özellikle düşük PAC dozajlarında yağların etkisiyle yüzeyde birikme meydana geldiği, polimer değişimlerinin ise çökme verimliliği üzerinde sınırlı etkili olduğu gözlemlenmiştir. Kireç ilavesinin ise beklenen katkıyı sağlamadığı görülmüş, analizler bu katkının zorunlu olmadığını göstermiştir.

Firma 2 ile yapılan çalışmalarda, farklı PAC ürünleri ve polimer dozajları ile deneyler yürütülmüş, bazı kombinasyonlarda berraklık sağlanabilmiş olmakla birlikte, özellikle KOİ ve AKM değerleri açısından yeterli iyileşme sağlanamamıştır. Bu durum, kimyasal dozajların sürekliliği ve karışım dinamiklerinin sürece olan etkisini bir kez daha ortaya koymuştur.

Firma 3'ün gerçekleştirdiği çalışmalarda ise polimer dozajlarının hassasiyeti ön plana çıkmıştır. Numunelerde başlangıçta dipte çökme eğilimi gözlenirken, zamanla yüzeyde yağ etkisiyle birikme oluşmuştur. AKM ve renk gideriminde bazı iyileşmeler elde edilse de, KOİ parametresinde beklenen düşüş sağlanamamıştır.

Bu bulgular, her üç firma ile yürütülen çalışmalarda da temel olarak benzer sonuçları ortaya koymuş; kimyasal seçiminden çok dozaj kontrolü, karışım süreleri ve reaksiyon koşullarının proses verimliliği üzerinde belirleyici olduğu görülmüştür.

3.2. DAF Sistemi Performans Değerlendirmesi

Mevcut DAF sisteminin performansı, saha uygulamalarında beklentilerin gerisinde kalmıştır. Teorik olarak KOİ gideriminde %60, AKM ve yağ-gres gideriminde ise %90 oranında verim sağlanması hedeflenmiş olmasına rağmen, uygulamada sistem çıkış suyu kalitesi bu değerleri yakalayamamıştır.

Özellikle hava besleme sisteminin yetersizliği ve karışım dinamiklerinin istenilen seviyede olmaması, sistemin performansını sınırlamıştır. Bu durum, DAF ünitesinin proses zincirinde zayıf bir halka olduğunu göstermekte ve sistemin daha yüksek verimli bir modelle yenilenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

3.3. Oksidasyon Destekli Uygulamalardan Elde Edilen Bulgular

İleri oksidasyon destekli uygulamalar, çalışmanın en dikkat çekici bulgularını ortaya koymuştur. Mevcut PAC ve polimer dozajlarının yanı sıra H_2O_2, $FeSO_4$ ve UV ışığı gibi destekleyici adımların entegrasyonu ile renk ve KOİ gideriminde önemli ölçüde iyileşmeler sağlanmıştır.

PAC ve polimer dozajları ile pH 6,5 - 6,8 aralığında stabilizasyon sağlanmış, H_2O_2 katkısı ile oksidasyon etkisi artırılmış ve demir tuzunun koagülan etkisi süreçte olumlu katkı sunmuştur. UV ışığı ile özellikle renk parametresinde olumlu sonuçlar alınmış, kaba filtrasyon uygulaması da destekleyici etki sağlamıştır.

Ancak, aşırı dozajlama durumunda bazı parametrelerde beklenmeyen artışlar gözlenmiş, bu da optimum dozajın ne kadar kritik olduğunu ortaya koymuştur. Doğru kimyasal kombinasyonlar ve hassas dozajlamalar ile ileri oksidasyon uygulamalarının, tesisin genel performansını önemli ölçüde iyileştirebileceği net olarak görülmüştür.

3.4. Genel Değerlendirme

Çalışmanın genel değerlendirmesi, Haydarpaşa Gemi Atık Kabul Tesisi'nde mevcutta kullanılan kimyasalların süreç ihtiyaçlarına yanıt verdiği, fakat manuel dozajlama ve proses ekipmanlarının kısıtlılığı nedeniyle istenen deşarj kalitesine ulaşılamadığını ortaya koymuştur.

Kimyasal dozajların otomasyon sistemine aktarılması, karışım sürelerinin optimize edilmesi ve DAF sisteminin yüksek verimli bir alternatifle değiştirilmesi veya iyileştirilmesi, tesis performansını artıracak başlıca adımlar olarak ön plana çıkmaktadır. Ayrıca, ileri oksidasyon destekli uygulamaların tesis prosesine entegre edilmesi durumunda, özellikle KOİ ve renk parametrelerinde kayda değer iyileşmeler sağlanabilecektir.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, Haydarpaşa Gemi Atık Kabul Tesisi arıtma ünitesinde mevcut işletme koşullarının detaylı bir şekilde analiz edilmesi ve arıtma verimliliğini artırmaya yönelik uygulanan yöntemlerin performanslarının değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Çalışma boyunca elde edilen bulgular, tesisin mevcut kapasitesinin üzerinde yüklenerek çalıştırıldığı gerçeğini ortaya koymuş ve bu durumun proses verimliliği üzerinde ciddi olumsuz etkiler yarattığı doğrulanmıştır.

Özellikle KOİ, AKM, renk ve toplam azot gibi kritik parametrelerde mevcut arıtma prosesi ile istenilen deşarj standartlarının sağlanamadığı tespit edilmiştir. Yapılan analizler ve uygulanan farklı proses adımları sayesinde, bu durumun temel sebepleri anlaşılmış ve çözüm yollarına ilişkin öneriler geliştirilebilmiştir.

Kimyasal arıtım sürecinde farklı firmalardan sağlanan alternatif koagülan ve flokülant ürünleri ile yürütülen jar testleri sonucunda, mevcutta kullanılan kimyasalların proses gerekliliklerine genel anlamda yanıt verdiği, ancak manuel dozajlama sebebiyle istenen verimlilik düzeyine ulaşılamadığı anlaşılmıştır. Proses sırasında, kimyasal ilaveleri ve karışım süreleri gibi kritik parametrelerin kontrolsüz şekilde değişkenlik göstermesi, elde edilen sonuçların tutarsız olmasına yol açmaktadır. Bu durum, doğrudan kimyasal dozajlama sisteminin otomasyon ile desteklenmesini gerekli kılmaktadır.

Mevcut DAF ünitesi üzerinde yapılan incelemeler, sistemin proses verimliliğini artırma potansiyelinin sınırlı olduğunu göstermiştir. Teorik olarak yüksek verim vadeden DAF ünitesi, sahadaki uygulamada beklentileri karşılamamış; hava besleme sisteminin yetersizliği ve karışım dinamiklerinin uygun olmaması sebebiyle proses verimliliği düşük kalmıştır. Bu durum, mevcut DAF sisteminin daha yüksek verimli bir alternatif ile değiştirilmesi veya kapsamlı bir şekilde revize edilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

İleri oksidasyon destekli uygulamalar, çalışmanın en umut verici sonuçlarını ortaya koymuştur. Kimyasal arıtım sürecine ek olarak uygulanan hidrojen peroksit (H_2O_2), demir (II) sülfat ($FeSO_4$) ve UV ışığı gibi katkıların, özellikle renk ve KOİ parametreleri üzerinde önemli ölçüde iyileştirme sağladığı görülmüştür. Bununla birlikte, aşırı dozajlama durumunda bazı parametrelerde olumsuz etkiler meydana geldiği için, dozaj optimizasyonunun hassas bir şekilde yapılması gerektiği anlaşılmıştır.

Sonuç olarak, Haydarpaşa Gemi Atık Kabul Tesisi'nin arıtma verimliliğini artırmak ve çevresel deşarj standartlarına tam uyum sağlamak için aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

- **Kimyasal Dozajlama Otomasyonu:** Mevcut manuel dozajlama sisteminin otomasyonla desteklenerek daha hassas ve kararlı bir hale getirilmesi, prosesin tutarlılığı açısından büyük önem taşımaktadır.
- **DAF Ünitesi Revizyonu veya Değişimi:** Mevcut DAF ünitesinin verimlilik açısından yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, ünitenin yüksek verimli bir modelle değiştirilmesi veya hava besleme ve karışım sistemlerinin yenilenmesi gereklidir.
- **İleri Oksidasyon Teknolojilerinin Entegrasyonu:** UV, H_2O_2 ve $FeSO_4$ gibi ileri oksidasyon destekli proses adımlarının entegrasyonu, özellikle renk ve KOİ parametrelerinin iyileştirilmesi açısından ciddi katkı sağlayacaktır. Ancak optimum dozaj ve proses kontrolü sağlanmalıdır.
- **Tank ve Ekipman Revizyonları:** Tesise ek dinlendirme ve karışım tanklarının kazandırılması, mevcut tankların kullanım amacına uygun revize edilmesi ve karışım sürelerinin optimize edilmesi proses verimliliğine olumlu katkı sağlayacaktır.
- **Personel Eğitimi ve Süreç İzleme:** Proses operatörlerinin eğitimi ve proses kontrol parametrelerinin düzenli takibi, tesis performansının sürdürülebilir şekilde artırılmasına yardımcı olacaktır.
- **Alternatif Arıtma Yöntemleri:** Toplam azot ve yüzey aktif madde gibi bazı parametreler için alternatif veya destekleyici arıtma metotlarının araştırılması ve uygulanması önerilmektedir.

Bu çalışma, ortaya koyduğu deneyimlerle yalnızca Haydarpaşa Gemi Atık Kabul Tesisi için değil, benzer kapasitede çalışan diğer gemi atık kabul tesisleri için de yol gösterici niteliktedir. Saha verileri ve uygulama sonuçlarına dayanan bu öneriler, Türkiye genelindeki liman atık yönetimi süreçlerine katkı sunacak, deniz çevresinin korunmasına yönelik sürdürülebilir adımların atılmasına destek olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, İSTAÇ A.Ş. bünyesinde yürütülen proses iyileştirme faaliyetleri kapsamında gerçekleştirilmiştir. Araştırma sürecinde desteklerini esirgemeyen İSTAÇ A.Ş. yönetimine ve Haydarpaşa Gemi Atık Kabul Tesisi işletme ekibine teşekkür ederiz. Ayrıca, saha çalışmalarının yürütülmesi sırasında katkı sağlayan tüm ekip arkadaşlarımıza, deneysel çalışmalarda süreç boyunca sağladıkları destek için minnettarız. Çalışmanın her aşamasında göstermiş oldukları özverili katkılardan dolayı değerli yazar ekibimize ve saha mühendislerine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

[1] IMO, International Maritime Organization. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL). London, 1973/1978.

[2] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Resmî Gazete, 31 Aralık 2004, Sayı: 25687.

[3] İSKİ Atıksu Arıtma Dairesi Başkanlığı. "Haydarpaşa Gemi Atık Kabul Tesisi - Deşarj Değerleri İnceleme Raporu", Resmi Yazışma No: E-80872736-841.02-799804, Temmuz 2024.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Temporal and spatial variability of the beginning and end of daily freeze/thaw cycles for Mati Basin River area, Albania

Blerina Papajani[*1], Albana Hasimi[2], Elvin Çomo[2], Gazmir Çela[2], Idajet Selmani[1], Mirela Dvorani[3]

[1]*Department of Physics, Faculty of Natural Sciences, University A Xhuvani, Elbasan, Albania*
[2] *Department of Meteorology, Institute of Geoscience, Polytechnic University of Tirana, Albania*
[3]*Department of Hydrology, Institute of Geoscience, Polytechnic University of Tirana, Albania*

[*]*(blerina.papajani@uniel.edu.al)*

Abstract – Europe experienced its warmest year, with the second highest number of heat stress days and tropical nights, on record, according to the 2024 European State of the Climate (ESOTC). Extreme weather events pose increasing risks to Europe's built environment, infrastructure and the services they support, and urgent action is needed, in particular on flood risks. From a climatic perspective the region of Mati is characterized by significant variations in temperature and precipitation due to its diverse geographical altitudes, ranging from 1800 meters above sea level to 0 meters at the estuary. The annual number of frost days for each meteorological station for the period 2019–2024 is the focus of this study. The application of the inter-seasonal daily average method proved effective in filling the gaps, while preserving seasonal trends and minimum temperature variability. The detection of frost periods was conducted through the implementation of a temporal grouping, represents the longest continuous frost episode observed in that specific temporal and spatial context. The interannual variability indicates significant climatic fluctuations that may be attributed to broader regional meteorological patterns. The spatial-temporal analysis of frost events underscores a clear correlation between elevation and frost duration, modulated by local geomorphological factors. These findings are essential for regional agricultural risk assessment, ecosystem sensitivity analysis, and the development of adaptive strategies in response to climate variability.

Keywords – Climate warming, Frost days, Mati River, Extreme weather

I. INTRODUCTION

European cities have become more resilient, but continued efforts will unlock even greater potential to tackle climate challenges effectively. Extreme weather events pose increasing risks to Europe's built environment, infrastructure and the services they support, thus urgent action is needed, in particular on flood risks[1]. It is observed that global temperatures increased approximately 0.6°C over the twentieth century[2]. Regional climatological effects of global warming may be recognized not only in shifts of mean temperature and precipitation but also in the frequency and intensity changes of different climate extremes[3].The number of frost days (FD) is the total number of days in a year that frost occurs.[4]

Frost is caused by the sharp drop in temperature below 0 °C in a short time due to the southward movement of the cold wave, or by strong radiation cooling at ground level on the night of the day when the weather changes from cloudy to clear sky condition after being affected by a cold wave[5]. This phenomenon causes extreme agro-meteorological disaster that occurs in winter and spring. Under climate warming, the frequency of cold events and the dates of frost have changed significantly in many regions of the world[6]. Climate warming has resulted in a decrease in FD. Determining the trends and variations in FD under climate change is important for the planning and management of agricultural production.

Statistically speaking, a change in variance is more important to the frequency of extreme events than a change in the mean. Therefore, if "extreme" is defined with the current temperature distribution, then shifting the entire distribution by raising the mean value with no change in variance will greatly impact the probability of occurrence of the extreme, as does an increase in the variance with or without an increase in the mean[7]. Due to its geographical diversity, the area of Mati Basin River, represents a study area, also within the framework of a comprehensive project that we have undertaken.

II. MATERIALS AND METHOD

II.1 Evaluation of Meteorological Data

This study utilized the database available at the Department of Meteorology, Institute of Geosciences. The department is responsible for overseeing Albania's national network of meteorological stations and maintaining the comprehensive historical meteorological database originally developed by the former Institute of Hydrometeorology. The presentation of the results is based on the guidelines of the World Meteorological Organization (WMO). Also, the conclusions and results presented are compared with similar studies and based on international literature. All meteorological manual stations of Mati basin are presented as follows.

Table 1. Meteorological stations of Mati basin river

Station	Geographic coordinates		
	Width	Length	Height
Fshat Klos	41.48401	20.08921	366
Gojan	41.97816	20.0003	428
Domgjon	41.96489	20.15431	652
Kurbnesh	41.78206	20.08814	761
Macukull	41.69741	20.08666	1007

The meteorological data of, was filtering before to conduct several calculations and in-depth analyses to identify the periods of frost days for each year of the decade under review. In this analysis, were used daily minimum temperature data from several meteorological stations, which contained gaps distributed unevenly throughout the observation period. Since the gaps were not spread across all stations simultaneously, an approach based on the inter-station daily average was applied, which is considered one of the most reliable methods in situations with sporadic gaps[8].

The missing values for each station were replaced by the average calculated on this day. This step was performed carefully to maintain climate extremes, ensuring that negative values (below 0°C) were not skewed during the attribution process.

II.2 Methodological Framework for Identifying and Analyzing Frost Periods

The database was processed using standard statistical methods, with a simple algorithm built in the Python programming language.

1. Identification of Frost Periods

The detection of frost periods was conducted through the implementation of a temporal grouping mechanism, hereafter referred to as Frozen Group. This grouping technique initiates a new frost period each time the air temperature surpasses 0°C and subsequently falls below this threshold again. Such a criterion ensures the delineation of distinct frost episodes, allowing for a more granular analysis of sub-zero temperature events.

2. Calculation of Frost Period Duration

Upon successful identification of frost periods, the next analytical step involved quantifying their duration. For each frost group, we applied a function to extract both the earliest (start) and latest (end) dates. The duration of each frost event was computed as the difference between the end and start dates, expressed in days. This calculation provides a standardized measure of the length of each individual frost period.

3. Determination of the Maximum Frost Period per Year and Station

Following the duration calculations, the results were aggregated by calendar year and meteorological station. Within each group (i.e., year-station combination), we identified the frost period with the maximum duration. This value represents the longest continuous frost episode observed in that specific temporal and spatial context.

III. RESULTS

III.1 *Identification of Frost Periods*

The table 2 represents the annual number of frost days for each meteorological station for the period 2019–2024. At the end of the table, multi-year averages for each zone are also given. A "frost day" is defined as a day when the minimum temperature drops to 0°C or below.

Table 2 Number of frost days for each meteorological stations of Mati basin river

Station	Fshat Klos	Gojan	Domgjon	Kurbnesh	Macukull
2019	29	45	73	46	50
2020	22	27	33	29	27
2021	32	38	36	54	37
2022	34	57	46	79	59
2023	21	52	23	50	58
2024	24	68	15	57	41
AVERAGE	**27.0**	**47.8**	**37.7**	**52.5**	**45.3**

From these results can see that: The Kurbnesh station consistently records the longest average frost periods, with a mean value of 52.5 days, peaking at 79 days in 2022. Gojan also exhibits significant frost duration, with a notable increase in 2024 (68 days). Domgjon, although having the highest single value (73 days in 2019), shows a decreasing trend in subsequent years. Fshat Klos and Macukull demonstrate moderate frost periods overall, with relatively stable yearly variations.

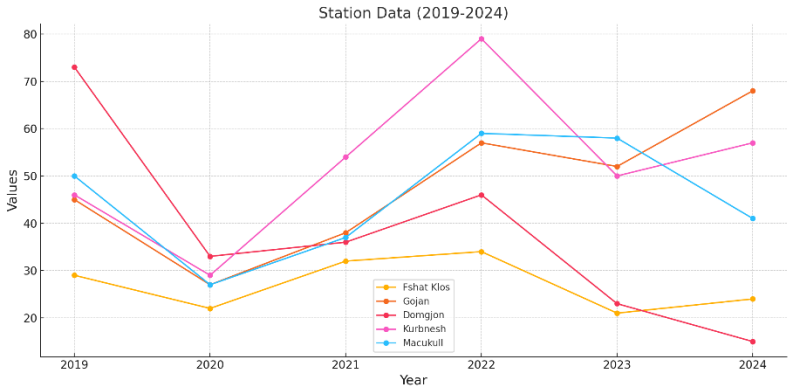


Fig. 1 The annual number of frost days for each meteorological station of Mati basin river, for the period 2019–2024.

Observations Year 2022 shows the highest frost durations across almost all stations, suggesting particularly persistent sub-zero conditions. The interannual variability indicates significant climatic fluctuations that may be attributed to broader regional meteorological patterns[9].

III.2 *The analysis of frost days and of frost periods*

Further statistical analysis shown in Table 3 will generate two side-by-side bar charts (fig. 2): One showing the standard deviation (how much variation or dispersion exists from the average) and the other showing the variance (the square of the standard deviation, useful for comparing spread). The analysis of frost day variability across the villages reveals notable differences in sensitivity to climate fluctuations, providing key insights into regional climate stability and uncertainty[10]. Domgjoni exhibits the highest variance in frost days, indicating that the number of frost days fluctuates significantly from year to year.

This suggests a heightened vulnerability to climate variability in this region, with potential larger swings in frost occurrence due to unpredictable climatic factors. Such high variance can be indicative of a climate system under stress, possibly aggravated by climate change, leading to less consistent frost patterns

Table 3 Statistical data of frost days

Station	Height m above sea	Average days	Std. Deviation ± days	Variance	Min	Max	Median
Fshat Klos	366	27.0	5.44	29.60	21	34	26.5
Gojan	428	47.83	14.47	209.37	27	68	48.5
Domgjon	652	37.67	20.35	414.27	15	73	34.5
Kurbnesh	761	52.5	16.28	265.10	29	79	52.0
Macukull	1007	45.33	12.60	158.67	27	59	45.5

In contrast, Klos demonstrates the lowest variance, suggesting a stable and predictable climate with relatively few disruptions in frost day occurrences. The low variability indicates that, over time, the region experiences a consistent pattern of frost days, with fewer fluctuations year on year. This could be interpreted as a relatively resilient climate, where external influences, such as climate change, have a limited effect on frost day occurrence.

Kurbneshi exhibits the highest mean number of frost days, albeit with a comparatively lower variance than Domgjoni. The region records a higher average number of frost days, though the annual variability is relatively subdued. This juxtaposition of an elevated mean value with moderate variance suggests a relatively stable climate, though it remains susceptible to the effects of climate change, particularly over the long term, owing to its higher baseline of frost days. The regions of Gojani and Macukulli occupy an intermediate position in terms of climate sensitivity. These areas show intermediate variability, reflecting a middle ground between the extreme fluctuations of Domgjoni and the stability of Klos. This suggests that these villages are moderately sensitive to changes in climate, experiencing fluctuations that are neither extreme nor overly consistent, making them more susceptible to moderate shifts in climate conditions.

Overall, the analysis delineates divergent degrees of climate sensitivity among the villages, with Domgjoni and Kurbneshi occupying the extremes in terms of variability and frost day frequency, while Klos exhibits a more stable climate, and Gojani and Macukulli demonstrate a moderate responsiveness to climatic fluctuations.

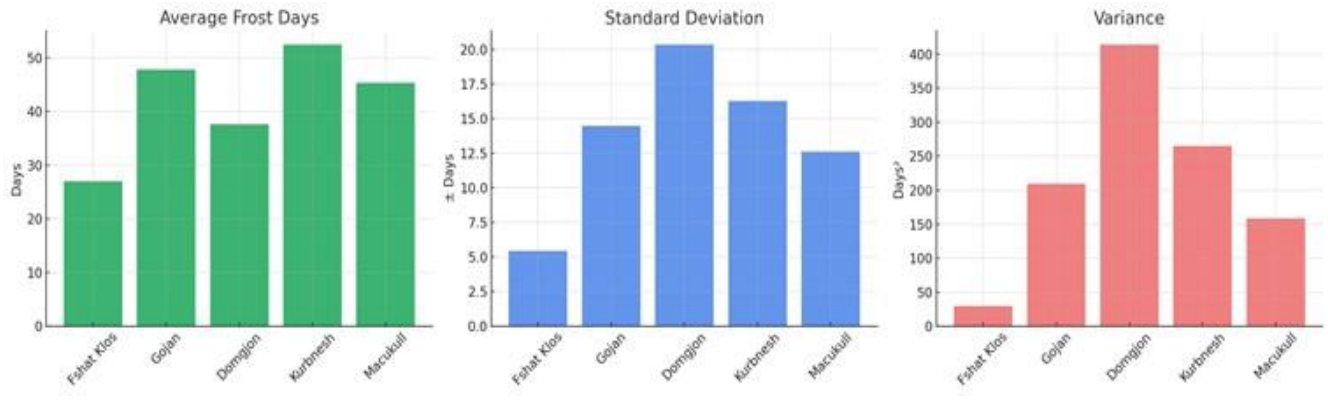


Fig. 2 The degree of distribution of variance and standard deviation across different stations.

The graphs in fig.2 provides a clear visual representation of the data distribution in terms of frost days, highlighting key aspects of variance and standard deviation across different villages. It offers valuable insights into the climatic variability and stability of each region.

- **Domgjoni** immediately stands out due to its **highest variance and standard deviation**, indicating that the number of frost days fluctuates significantly from year to year. This high variability suggests that the region experiences larger and more unpredictable changes in frost occurrence, likely

influenced by geographical factors, the location of the meteorological station, and its altitude above sea level. These factors contribute to greater climatic instability, making frost days more irregular and less predictable.

- On the other hand, **Klos** shows the **lowest distribution**, meaning its climate is more stable and consistent regarding frost days. The low variability indicates that the frost occurrence remains relatively steady year on year. This stability is partly attributed to the village's lower altitude above sea level compared to other stations analyzed in the study. The reduced altitude provides a more moderate climate, limiting the extreme fluctuations in frost events.

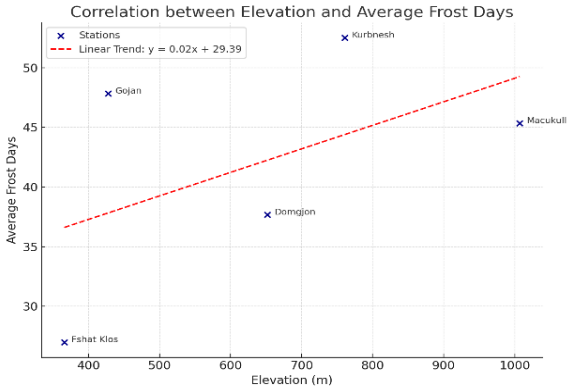


Fig. 3 Relationship between station elevation (in meters) and the average number of frost days observed

The scatter plot above illustrates a **positive linear relationship** between station **elevation (in meters)** and the **average number of frost days** observed over a 6-year period. As altitude rises, the frequency of frost days also increases, a pattern consistent with established meteorological principles. The linear regression line ($y = 0.05x + 9.94$) implies that for every 100 meters increase in elevation, there are approximately 5 additional frost days per year, on average. Stations like Kurbnesh and Macukull, situated at higher elevations (761m and 1007m), exhibit higher frost frequencies. Conversely, Fshat Klos (366m), being at lower elevation, reports significantly fewer frost days.

This pattern is attributed to the adiabatic cooling effect — air temperature decreases with altitude due to lower atmospheric pressure, increasing the likelihood of freezing conditions[11].

III.3 The temporal distribution and average duration of long frost events

The graphs in fig.4 provides the temporal distribution and average duration of long frost events across the studied meteorological stations provide a critical insight into the spatial variability of winter climatic conditions in the region. The dataset reflects clear topo climatic differentiation, primarily driven by elevation and local geographic characteristics.

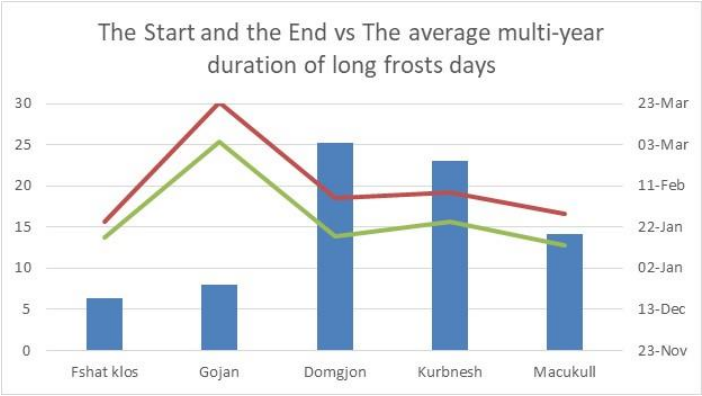


Fig. 4 The temporal distribution and average duration of long frost days. The green line refers to the start dates of periods with frosty days, while the red line indicates the end dates of frosty days.

The station of Domgjon records the longest average duration of frost events, persisting for approximately 25.2 days from 17 January to 5 February. This extended period of continuous frost suggests a sustained exposure to sub-zero temperatures, likely influenced by the station's higher elevation (652 meters) and its potential position within a frost-prone basin or valley, where cold air stagnation may amplify frost persistence.

Similarly, Kurbnesh experiences an extended frost period, averaging 23 days, commencing later—from 24 January to 7 February. Despite being situated at an even higher elevation (761 meters), the slightly shorter duration compared to Domgjon may be attributed to differences in orientation, slope aspect, or regional wind exposure that modulate microclimatic conditions[12].

In contrast, Macukull, the station at the highest elevation (1007 meters), registers a moderate frost duration of 14.2 days, from 13 January to 28 January. While the altitude would generally imply a longer frost season, the timing and reduced duration might suggest greater solar exposure or localized topographical influences that lead to intermittent thawing periods.

At the lower end of the spectrum, Fshat Klos, positioned at 366 meters above sea level, shows the shortest frost duration, averaging only 6.4 days between 16 and 24 January. This brief period aligns with expectations for lower-elevation sites, where moderating effects of altitude and possibly urban or anthropogenic heat islands limit the persistence of freezing temperatures[13].

An outlier in the dataset is Gojan, which exhibits a long frost period in early spring, from 4 to 23 March, with an average duration of 8 days. This late-season frost occurrence is noteworthy, as it diverges from the typical winter-centered frost pattern seen in the other stations. The phenomenon may point to unique local climatic conditions, such as cold air drainage, spring inversion layers, or post-winter transitional anomalies, all of which require further investigation.

IV. DISCUSSION

The application of the inter-seasonal daily average method proved effective in filling the gaps, while preserving seasonal trends and minimum temperature variability. In contrast to more sophisticated methods, such as autoregressive models (e.g., ARIMA) or machine learning-based imputation techniques [14], this approach provides a straightforward solution that reduces the risk of overestimating or underestimating extreme temperature values.

The analysis paints a picture of varying levels of climate sensitivity across the villages, with Domgjoni and Kurbneshi representing extremes in terms of variability and frost day frequency, while Klos offers a stable climate and Gojani and Macukulli present a balanced sensitivity to climate shifts. The interannual variability indicates significant climatic fluctuations that may be attributed to broader regional meteorological patterns.

V. CONCLUSION

In conclusion, this technical analysis highlights the influence of geographic and environmental factors—such as station location and elevation—in shaping the climatic patterns observed across these villages. The data illustrates the greater instability of Domgjoni's climate and the more stable conditions found in Klos, offering important insights into how local conditions contribute to climatic variability. As altitude increases, for every 100 meters increase in elevation, there are approximately 5 additional frost days per year, on average.

Overall, the spatial-temporal analysis of frost events underscores a clear correlation between elevation and frost duration, modulated by local geomorphological factors. These findings are essential for regional agricultural risk assessment, ecosystem sensitivity analysis, and the development of adaptive strategies in response to climate variability[14]. While this study contributes valuable insights, continued research is essential to advance our understanding of the climatology, dynamics, and potential links to internal variability and climate change in Mati in Albania.

ACKNOWLEDGMENT

This particular study is a part of the project “Impacts of heavy metals from the mining industry and assessment of the distribution of pollution in the Mati River Basin” and was funded by the National Agency for Scientific Research and Innovation (NASRI) of Albania within the National Research and Development Projects (NRDP) for the year 2024-2026.

REFERENCES

[1] Copernicus Climate Change Service (C3S), “European State of the Climate 2024,” Copernicus Climate Change Service (C3S), 2025. doi: 10.24381/14J9-S541.

[2] D. R. Easterling, “RECENT CHANGES IN FROST DAYS AND THE FROST-FREE SEASON IN THE UNITED STATES,” *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, vol. 83, no. 9, Art. no. 9, Sep. 2002, doi: 10.1175/1520-0477-83.9.1327.

[3] R. Pongrácz, J. Bartholy, Gy. Gelybó, and P. Szabó, “Detected and Expected Trends of Extreme Climate Indices for the Carpathian Basin,” in *Bioclimatology and Natural Hazards*, K. Střelcová, C. Mátyás, A. Kleidon, M. Lapin, F. Matejka, M. Blaženec, J. Škvarenina, and J. Holécy, Eds., Dordrecht: Springer Netherlands, 2009, pp. 15–28. doi: 10.1007/978-1-4020-8876-6_2.

[4] T. R. Karl, N. Nicholls, and A. Ghazi, “CLIVAR/GCOS/WMO Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes Workshop Summary,” in *Weather and Climate Extremes: Changes, Variations and a Perspective from the Insurance Industry*, T. R. Karl, N. Nicholls, and A. Ghazi, Eds., Dordrecht: Springer Netherlands, 1999, pp. 3–7. doi: 10.1007/978-94-015-9265-9_2.

[5] M. A. Zhuguo, “Variation of Frost Days and Its Relationship to Regional Warming in Northern China,” *Acta Geogr. Sin.*, vol. 58, no. 7s, pp. 31–37, 2003, doi: 10.11821/xb20037s004.

[6] T. Popov, S. Gnjato, and G. Trbic, “Changes in temperature extremes in Bosnia and Herzegovina: A fixed thresholds-based index analysis,” *J. Geogr. Inst. Jovan Cvijic SASA*, vol. 68, no. 1, pp. 17–33, 2018, doi: 10.2298/IJGI1801017P.

[7] G. A. Meehl *et al.*, “An Introduction to Trends in Extreme Weather and Climate Events: Observations, Socioeconomic Impacts, Terrestrial Ecological Impacts, and Model Projections*,” *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, vol. 81, no. 3, pp. 413–416, Mar. 2000, doi: 10.1175/1520-0477(2000)081<0413:AITTIE>2.3.CO;2.

[8] M. Ahmadi Foroushani, C. Opp, and M. Groll, “Investigation of Aeolian Dust Deposition Rates in Different Climate Zones of Southwestern Iran,” *Atmosphere*, vol. 12, no. 2, p. 229, Feb. 2021, doi: 10.3390/atmos12020229.

[9] P. Zorba, *Klimatologjia*. Tiranë, Albania: AlbPAPER, 2009.

[10] A. Hasimi, B. Papajani, G. Çela, E. Çomo, F. Tuga, and M. Dvorani, “The impact of urbanization and climate change on urban temperatures - a systematic analyse for Tirana city,” *INGENIOUS*, vol. 5, no. 1, pp. 37–44, Feb. 2025, doi: 10.58944/xvay7780.

[11] W. Shen, L. Zhang, and T. Luo, “Causes for the increase of early-season freezing events under a warmer climate at alpine Treelines in southeast Tibet,” *Agric. For. Meteorol.*, vol. 316, p. 108863, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.agrformet.2022.108863.

[12] L. Fery and D. Faranda, “Analysing 23 years of warm-season derechos in France: a climatology and investigation of synoptic and environmental changes,” *Weather Clim. Dyn.*, vol. 5, no. 1, pp. 439–461, Apr. 2024, doi: 10.5194/wcd-5-439-2024.

[13] A. Bartsch, R. A. Kidd, W. Wagner, and Z. Bartalis, “Temporal and spatial variability of the beginning and end of daily spring freeze/thaw cycles derived from scatterometer data,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 106, no. 3, Art. no. 3, Feb. 2007, doi: 10.1016/j.rse.2006.09.004.

[14] J. R. Lamichhane, “Rising risks of late-spring frosts in a changing climate,” *Nat. Clim. Change*, vol. 11, no. 7, pp. 554–555, Jul. 2021, doi: 10.1038/s41558-021-01090-x.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Synthesis of Green Nanoparticles and Photocatalysis Applications in Nanotechnology

TUQA SHAKIR MAHMOOD[1], Mehmet Hakan ÇOLPAN[2], Murat YILDIRIM[1,*]

[1]*Department of Biotechnology, Faculty of Science, Selcuk University, 42130, Konya, Türkiye*
[2]*Deparment of Property Protectıon and Securıty, Kadınhanı Faik İçil Vocatıonal School Selcuk University, 42800, Konya, Türkiye*

[*]*muratyildirim@selcuk.edu.tr (Corresponding author)*

Abstract – Titanium dioxide photocatalysis has been widely used in various applications and products in the environmental and energy fields, including self-cleaning surfaces, air and water purification systems, sterilization, hydrogen evolution and photoelectrochemical conversion. However, the development of new materials is strongly required to provide improved performances in terms of photocatalytic properties and to find new uses for TiO_2 photocatalysis. The photocatalytic properties of TiO_2 make it an important semiconductor in environmental remediation applications. Titanium dioxide has shown tremendous ability not only as a sensor for chemical, biological and various gases (H_2, NOx, CO, etc.) even at low concentrations, but also to photocatalytically degrade and self-clean the contaminated environment.Moreover, the degradation of organic pollutants and reduction of metals to zero oxidation states has been identified as one of the most important applications of TiO_2 for the treatment of river water, groundwater, drainage water from fish feeding tanks and industrial wastewater.Furthermore, photodegradation of organic pollutants by titanium dioxide results in the formation of harmless products and therefore eliminates the problems associated with resistant DBPs. Although titanium has the ability to completely degrade organic refractory pollutants and blend with existing water treatment technologies, its large-scale industrial application in drinking water treatment is still considered to be far away. The presence of both organic and inorganic pollutants in water due to industrial, agricultural and domestic activities has led to the global need for the development of new, improved and advanced yet effective technologies to effectively address water quality challenges. Therefore, it is necessary to develop a technology that will completely remove pollutants from polluted waters. TiO_2 (Titanium dioxide) nanocatalysts have a proven potential to treat "hard to remove" contaminants and are therefore expected to play an important role in ameliorating environmental and pollution problems. Titanium dioxide nanoparticles are intended to both complement and supplement existing water treatment technologies through the conversion or destruction of hazardous chemical wastes into harmless end products, namely CO and H_2O.

Keywords – Photocatalysis , Green synthase , TiO_2 , Catalyst , Water treatment systems , Antibacterial effect

I. INTRODUCTION

Photocatalysis has been demonstrated as a low-cost and sustainable technology for the treatment of a range of pollutants in air and water, including organics and heavy metals etc.; Photocatalysis is an inexpensive and potentially "stand-alone" technology for water treatment. Because photocatalysis utilizes sunlight or UV radiation, the technology is inexpensive, environmentally friendly and can be applied worldwide. It

requires minimal equipment, is highly deployable and is suitable for developing countries and remote locations without access to electricity. The widespread application of nanoparticulate TiO_2 should in theory have beneficial effects on the health and hence quality of life of the general public [1] . As nanoparticles of TiO_2 are inexpensive and can be integrated into different materials, photocatalytic systems and surfaces, they are not limited to large-scale applications in water treatment plants. They can also be applied for disinfection or degradation of water and air pollutants in homes, hospitals or offices [2][3][4][5]**.** nanoparticle The use of TiO_2 for water treatment and disinfection is expected to have a positive impact on the environment as it can replace more toxic substances such as organic biocides. This has important implications for developing countries. It can also improve the quality of water released from water treatment plants by helping traditional treatment methods to target more substances, thus achieving higher efficiency of the whole process [6][7][8].

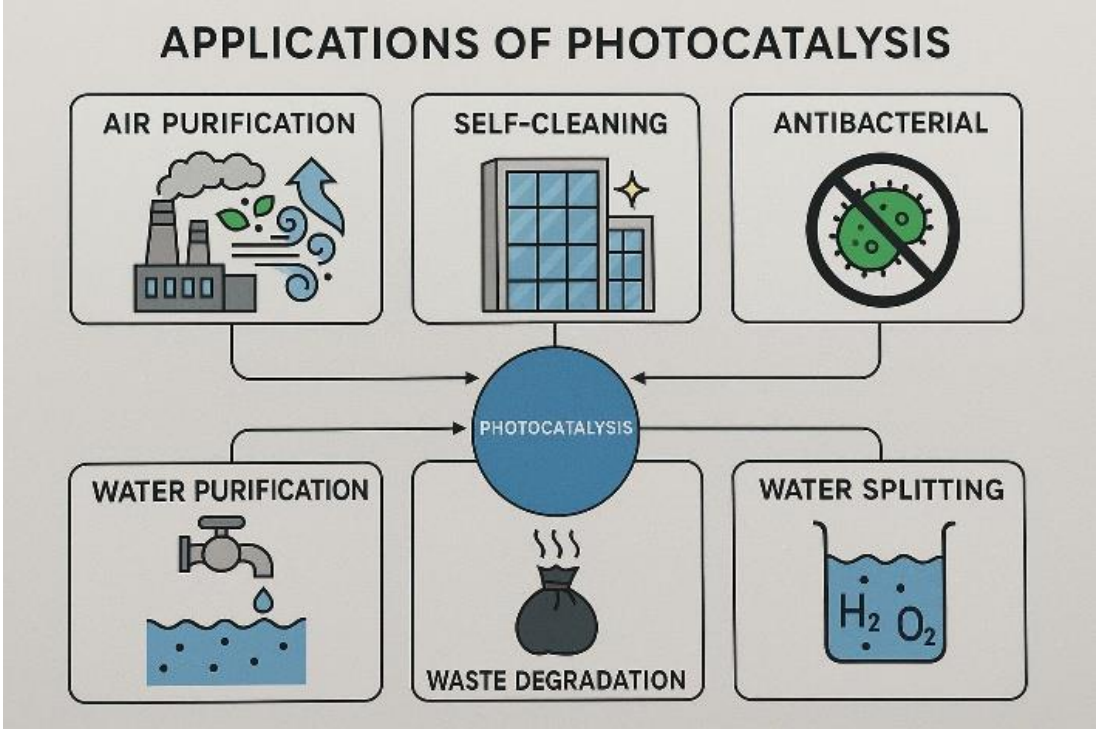


Figure.1. Photocatalysis application areas

Nanoparticle

Nanotechnology refers to an emerging field of science that involves the synthesis and development of various nanomaterials. Nanoparticles can be defined as objects ranging from 1100 nm in size, which may differ from bulk material due to their size. Currently, different metallic nanomaterials are produced using copper, zinc, titanium, magnesium, gold, alginate and silver. Nanoparticles are used for a variety of purposes, ranging from medical treatments, to being used in various industrial production branches such as solar and oxide fuel cells for energy storage, to being widely incorporated into various materials in daily use such as cosmetics or clothing [9].

II. MATERIALS AND METHOD

Synthesis of green nanoparticles and their role in wastewater treatment

Green synthesis has the potential to dramatically change industrial-scale nanomanufacturing processes by creating new nanomaterials using green chemistry principles [10]. In the coming years, greener nanomaterials could become increasingly important in nanomedicine as creative drug carriers, among other applications. Green synthesis does not require expensive machinery and the synthesis process is relatively faster as it operates at ambient temperature and can be easily scaled up [11]. Using non-toxic, biodegradable, economical resources and energy-efficient processes are key principles of green chemistry.

While synthesizing nanomaterials solely from organic materials is of great interest in the field of nanomanufacturing, other chemical methods are also in the category of green chemistry-based synthesis strategies. While using only organic elements to create nanomaterials has attracted a lot of interest in nanomanufacturing, other chemical processes also fall into the category of green chemistry-based synthesis techniques. Scientific publications have shown that green synthesis methods can yield nanomaterials that are as effective and chemically equivalent as those made otherwise. Chemical synthesis requires the conversion of heat, pressure, violent pressure and electricity. However, microbe-mediated syntheses are not possible on a larger scale because they require maintenance in the lab. Comparable to chemical synthesis, it is also possible to change the properties of nanomaterials by manipulating reaction conditions such as temperature and pH concentration. Nano-sensing, nanomedicine, nanotherapeutics, energy storage and other fields are most commonly used for these more environmentally friendly nanomaterials, shown in Figure 2.

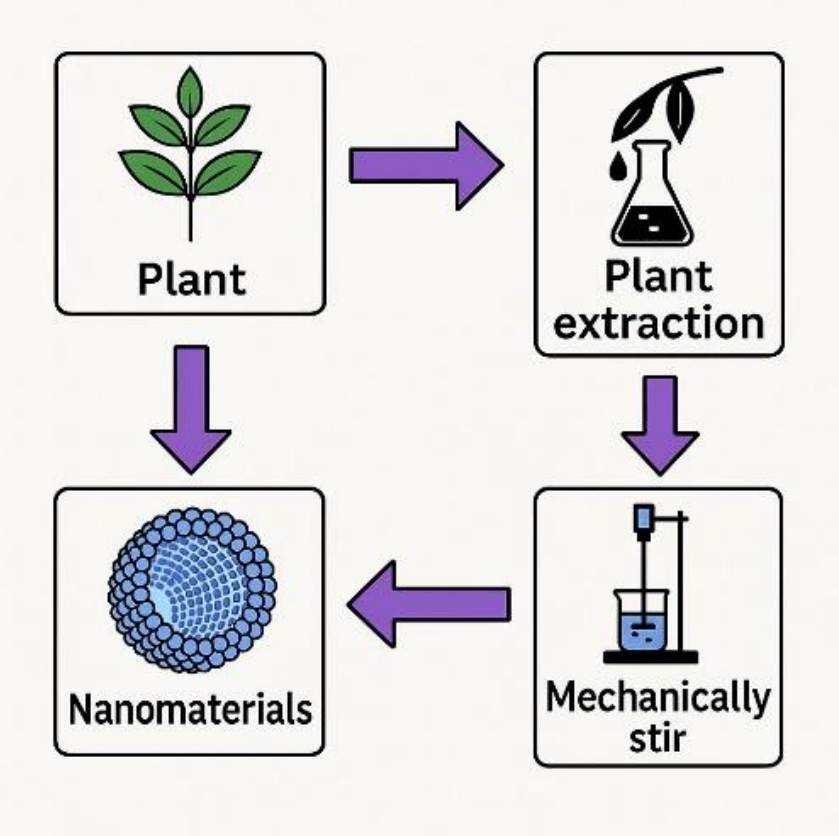


Figure.2. Producing nanomaterials using green synthesis

Using various methods, several multifunctional green nanomaterials have been fabricated and their potential applications have been studied. These materials have specific compositions, sizes, morphologies and crystallinity. Alkaloids, flavonoids, phenolic acids and terpenoids are some of the primary and secondary metabolites present in the extract of the plant. These substances control the conversion or reduction of bulk materials into nanoparticles. These metabolites play an important role in redox reactions that produce environmentally friendly, green nanomaterials. Analysis of the literature has revealed that the synthesis stage, where toxic waste is more likely to be generated, is the key factor in the impact on the life cycle of nanomaterials. Numerous scholars have mentioned the lack of transparency, significant differences in data collection and the variety of approaches. When assessing nanomaterials in terms of their greenness for sustainable development, nanomanufacturing processes linked to harmful human and environmental impacts should be comprehensively studied. Methods used to clean wastewater are expensive, chemically intensive and to some extent environmentally hazardous [12]. Conventional treatment systems require large

amounts of capital and maintenance costs as they only move pollutants from one phase to another, reducing them to a completely environmentally harmless end [13]. Significant disadvantages of these methods include sludge formation, handling, high cost, membrane deformation and problems with disposable materials. However, non-biodegradable contaminants are a major concern as they typically require immediate intervention.

Photocatalysis working mechanism

In photocatalysis, a photocatalyst (semiconductor) material is illuminated by light (photon) with an energy equivalent or greater than the bandgap energy of the photocatalyst, which leads to photon absorption and creates electron-hole pairs, i.e. electrons move from the valence band to the conduction band and simultaneously create holes in the valence band. The electronic structure of the photocatalyst material is characterized by a filled valence band and an empty conduction band, and the energy difference between these two bands is called the band gap energy. Therefore, holes are left in the valence band and electrons are found in the conduction band [14][15].

a) Oxidation reaction: Holes play an important role in the formation of radicals. Valence band holes react (oxidize) with water molecules to form hydroxyl radicals with good oxidation potential.

b) Reduction reaction: In the reduction reaction, conduction band electrons react with $O_{(2)}$ to form superoxide radicals. Both hydroxyl and superoxide radicals attack organic pollutants present in water and convert them to CO_2 and H_2O. Photogenic free electron and hole pairs enter into redox reactions with suitable semiconductor materials [16].

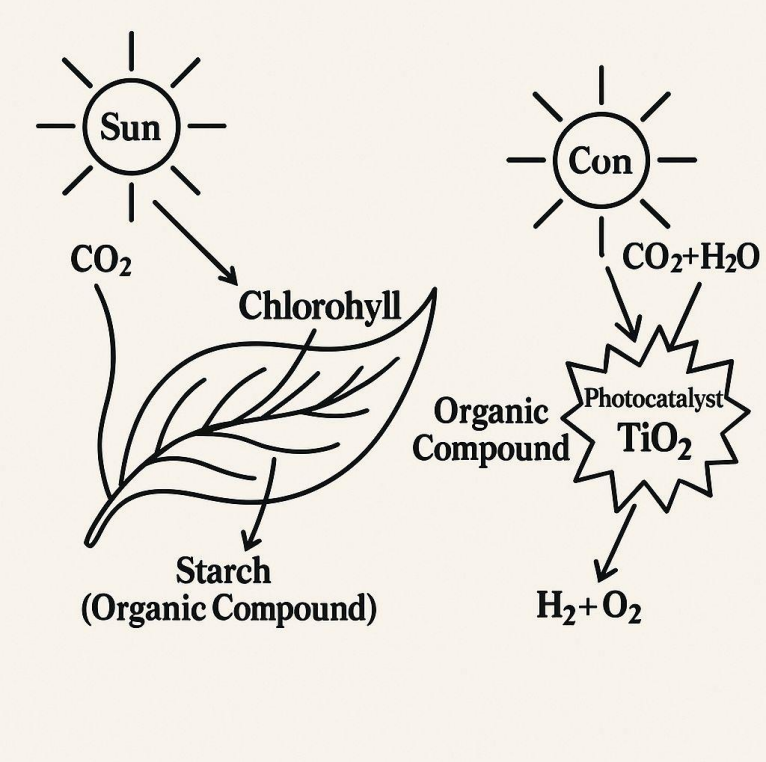


Figure .3. Photocatalysis working mechanism.

Wastewater Treatment

Photocatalysis is an environmentally friendly process for wastewater treatment. Using this technique, organic pollutants present in wastewater are decomposed into waste water suitable by-products. Semiconductor nanoparticles with wide band gaps and the visible part of the solar spectrum are suitable for wastewater treatment [17].

Air Purification

Carbon monoxide, volatiles, organic compounds containing N_2 and S are categorized as gaseous phases and chemical containment that can be treated by photocatalytic processes. In such processes, reactive oxygen species are generated, which react with and decompose air pollutants. Nowadays TiO_2 is widely used for the purification of air polluted with chlorofluorocarbons, cigarette smoke and nitrogen oxides [18].

III. DISCUSSION

Nanoparticles and green chemistry can be considered as an environmentally sensitive approach in treating wastewater and increasing the challenges in managing pollutants. Rapid removal of organic and inorganic pollutants such as heavy metal ions and dyes from wastewater is possible on a large scale due to the widespread application of green nanotechnology. In the coming times, nanomaterials are expected to upgrade existing treatment procedures by increasing their effectiveness and reusability, which could reduce the maintenance cost of industrial applications. We can see that nanoparticles exhibit unique properties that can be used to treat contaminated water. Most of the current remediation procedures involved are energy intensive and unprofitable as they are unable to clean the wastewater completely. Using green synthesized NPs to treat wastewater is not only a sustainable choice but also a promising technology for developing countries that can achieve the goal of zero wastewater discharge following wastewater treatment using fewer energy resources.

IV. CONCLUSION

Green nanotechnology offers a great possibility to help the solution of advancing sustainable development. In the future, the emerging field of nanotechnology will need to be developed in a sustainable manner and whole systems thinking should be applied to assess the environmental impacts of nanoproducts. In order to determine their contribution to green growth, it is important to properly assess all issues such as the potential life cycle assessment of newly synthesized nanoproducts before their introduction to the commercial market.

REFERENCES

[1] A. Weir, P. Westerhoff, L. Fabricius, K. Hristovski, and N. von Goetz, "Titanium Dioxide Nanoparticles in Food and Personal Care Products," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 46, no. 4, pp. 2242–2250, Feb. 2012, doi: 10.1021/es204168d.

[2] M. Cho, H. Chung, W. Choi, and J. Yoon, "Linear correlation between inactivation of E. coli and OH radical concentration in TiO2 photocatalytic disinfection," *Water Res.*, vol. 38, no. 4, pp. 1069–1077, Feb. 2004, doi: 10.1016/j.watres.2003.10.029.

[3] P. V. Kamat, "Manipulation of Charge Transfer Across Semiconductor Interface. A Criterion That Cannot Be Ignored in Photocatalyst Design," *J. Phys. Chem. Lett.*, vol. 3, no. 5, pp. 663–672, Mar. 2012, doi: 10.1021/jz201629p.

[4] D. Chen and A. K. Ray, "Removal of toxic metal ions from wastewater by semiconductor photocatalysis," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 56, no. 4, pp. 1561–1570, Feb. 2001, doi: 10.1016/S0009-2509(00)00383-3.

[5] D. S. Bhatkhande, V. G. Pangarkar, and A. A. C. M. Beenackers, "Photocatalytic degradation for environmental applications – a review," *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, vol. 77, no. 1, pp. 102–116, Jan. 2002, doi: 10.1002/jctb.532.

[6] P. Schmitt-Kopplin, N. Hertkorn, H.-R. Schulten, and A. Kettrup, "Structural Changes in a Dissolved Soil Humic Acid during Photochemical Degradation Processes under O 2 and N 2 Atmosphere," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 32, no. 17, pp. 2531–2541, Sep. 1998, doi: 10.1021/es970636z.

[7] A. Paleologou *et al.*, "Disinfection of water and wastewater by TiO2 photocatalysis, sonolysis and UV-C irradiation," *Catal. Today*, vol. 129, no. 1–2, pp. 136–142, Nov. 2007, doi: 10.1016/j.cattod.2007.06.059.

[8] K. Sunada, T. Watanabe, and K. Hashimoto, "Studies on photokilling of bacteria on TiO2 thin film," *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, vol. 156, no. 1–3, pp. 227–233, Mar. 2003, doi: 10.1016/S1010-6030(02)00434-3.

[9] S. Dubchak, A. Ogar, J. W. Mietelski, and K. Turnau, "Influence of silver and titanium nanoparticles on arbuscular

mycorrhiza colonization and accumulation of radiocaesium in Helianthus annuus," *Spanish J. Agric. Res.*, vol. 8, pp. 103–108, Jul. 2010, doi: 10.5424/sjar/201008S1-1228.

[10] A. García-Quintero and M. Palencia, "A critical analysis of environmental sustainability metrics applied to green synthesis of nanomaterials and the assessment of environmental risks associated with the nanotechnology," *Sci. Total Environ.*, vol. 793, p. 148524, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148524.

[11] S. P. Bera and S. K. Tank, "Bioremedial approach of Pseudomonas stutzeri SPM-1 for textile azo dye degradation," *Arch. Microbiol.*, vol. 203, no. 5, pp. 2669–2680, Jul. 2021, doi: 10.1007/s00203-021-02258-x.

[12] V. K. Yadav *et al.*, "Recent Advances in Synthesis and Degradation of Lignin and Lignin Nanoparticles and Their Emerging Applications in Nanotechnology," *Materials (Basel).*, vol. 15, no. 3, p. 953, Jan. 2022, doi: 10.3390/ma15030953.

[13] S. P. Bera, M. Godhaniya, and C. Kothari, "Emerging and advanced membrane technology for wastewater treatment: A review," *J. Basic Microbiol.*, vol. 62, no. 3–4, pp. 245–259, Mar. 2022, doi: 10.1002/jobm.202100259.

[14] A. A. Yadav, Y. M. Hunge, and S.-W. Kang, "Porous nanoplate-like tungsten trioxide/reduced graphene oxide catalyst for sonocatalytic degradation and photocatalytic hydrogen production," *Surfaces and Interfaces*, vol. 24, p. 101075, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.surfin.2021.101075.

[15] Y. M. Hunge, A. A. Yadav, S.-W. Kang, and H. Kim, "Photocatalytic degradation of tetracycline antibiotics using hydrothermally synthesized two-dimensional molybdenum disulfide/titanium dioxide composites," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 606, pp. 454–463, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.jcis.2021.07.151.

[16] A. A. Yadav, Y. M. Hunge, and S. B. Kulkarni, "Synthesis of multifunctional FeCo2O4 electrode using ultrasonic treatment for photocatalysis and energy storage applications," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 58, p. 104663, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.ultsonch.2019.104663.

[17] Y. M. Hunge, A. A. Yadav, B. M. Mohite, V. L. Mathe, and C. H. Bhosale, "Photoelectrocatalytic degradation of sugarcane factory wastewater using WO3/ZnO thin films," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 29, no. 5, pp. 3808–3816, Mar. 2018, doi: 10.1007/s10854-017-8316-1.

[18] F. Dong, S. Guo, H. Wang, X. Li, and Z. Wu, "Enhancement of the Visible Light Photocatalytic Activity of C-Doped TiO 2 Nanomaterials Prepared by a Green Synthetic Approach," *J. Phys. Chem. C*, vol. 115, no. 27, pp. 13285–13292, Jul. 2011, doi: 10.1021/jp111916q.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Hiperakümülatör Bitkiler ve Fitoremediasyon Potansiyeli

İlkay YAVAŞ[1*], Hayrettin İlker ÖZDEMİR[1]

[1]*Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Koçarlı Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Programı, 09100, Türkiye*

*iyavas@adu.edu.tr

Özet – Çevresel kirlilik, günümüzde hızlı sanayileşme, yoğun kentleşme ve doğal kaynakların kontrolsüz tüketimi gibi faktörler nedeniyle ciddi bir sorun haline gelmiştir. Bu durum, sadece çevre kalitesinin düşmesine değil, aynı zamanda biyolojik çeşitliliğin azalmasına ve ekosistemlerin işlevlerini sürdürememesine yol açarak, insan sağlığını ve küresel sürdürülebilirliği tehdit etmektedir. Geleneksel yollarla kirlilik yönetimi genellikle yüksek maliyetli ve çevreye zarar verme riski taşıdığı için sürdürülebilir alternatiflere ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu durumda doğal veya genetiği değiştirilmiş bitkiler kullanılarak toprak, su ve hava gibi çevrenin kirleticilerden arındırılması üzerine odaklanan fitoremediasyon, hem ekonomik hem de çevreye dost bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle hiperakümülatör olarak adlandırılan belirli bitki türleri, ağır metalleri ve toksik maddeleri kök, gövde veya yapraklarında biriktirerek etkili bir çevre temizliği sağlamaktadır. Fitoremediasyonun başarısı ise, uygulamanın yapılacağı bölgenin iklimi, toprak yapısı, bitki biyokütle miktarı ve kirleticilerin türü gibi çeşitli faktöre bağlıdır. Ekolojik koşullara uygun bitkilerin tercih edilmesi ve bu bitkilerin büyüme performansı, yöntemin etkinliğini büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle fitoremediasyon giderek daha fazla ilgi görmektedir. Bu yöntemin doğru bir şekilde uygulanması, çevresel kirliliğin azaltılması ve ekosistemlerin yeniden kazanılması için büyük bir potansiyel taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler – Ağır metal, ekolojik faktör, ekosistem, fitoremediasyon, hiperakümülatör bitkiler

GİRİŞ

Doğal kaynakların yoğun kullanımı, artan sanayileşme ve kentleşme, çevresel kirliliğin dünya genelinde hızla artmasına neden olmaktadır [1]; [2]. Bu durum, yalnızca toprak, su ve hava kalitesini olumsuz etkilemekle kalmaz, aynı zamanda biyolojik çeşitliliğin azalmasına ve ekosistemlerin işlevlerini sürdürememesine yol açarak insan sağlığını ve küresel sürdürülebilirliği de tehdit etmektedir [3]. Bu durumda biyoteknolojik yaklaşımlar çevresel sorunlara çözüm getirmek amacıyla ön plana çıkmaktadır. Fitoremediasyon, bu yaklaşımlar arasında en çevre dostu ve ekonomik çözümlerden biri olarak ön plana çıkmaktadır [4]; [5]; [6]. Bu yöntemde bitkiler kullanılarak toprak, su ve havadaki kirleticilerin arındırılması sağlanmaktadır. Bu yöntem, ağır metaller, metaloidler ve diğer toksik maddelerin çevreden uzaklaştırılmasında etkili bir araçtır.

Hiperakümülatör bitkiler, fitoremediasyon sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu tür bitkiler, ağır metaller ve toksik maddeleri yüksek konsantrasyonlarda dokularında biriktirme yeteneğine sahiptir [7]; [5]; [8]. *Brassica juncea* L.(hint hardalı) ve *Helianthus annuus* L. (ayçiçeği) bitkilerinde ağır metallerin ortadan kaldırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır [9]. Bununla birlikte, bu bitkilerin çevresel kirliliğin giderilmesinde etkin bir şekilde kullanılabilmesi için bölgesel ve ekolojik özellikler de önemli bir rol oynamaktadır.

Türkiye, Asya, Avrupa ve Orta Doğu'nun kavşağındaki stratejik konumu, çeşitli iklim tipleri, farklı toprak özellikleri ve zengin bitki örtüsü sayesinde hiperakümülatör bitkiler açısından önemli bir potansiyele

sahiptir [10]; [11]. Türkiye'de *Brassicaceae, Asteraceae* ve *Poaceae* gibi familyalara ait birçok hiperakümülatör bitki türü bulunmaktadır [11]. Bu bitkiler, yalnızca çevresel kirliliğin giderilmesinde değil, aynı zamanda bozulan ekosistemlerin yeniden kazanılmasında da önemli bir rol oynamaktadır. Ağır metallerle kirlenmiş alanlarda *Brassica* türlerinin kullanımı hem ekonomik hem de çevre dostu olması nedeniyle önem kazanmaktadır [12].

Hiperakümülatör Bitkiler

Hiperakümülatör bitkiler, çevresel kirliliği azaltmada ve bozulan ekosistemlerin iyileştirilnesinde önemli bir role sahiptir. Bu bitkiler, ağır metal ve toksik maddelerle kirlenmiş topraklarda hayatta kalabilmekte ve bu zararlı bileşenleri yüksek konsantrasyonlarda biriktirme yeteneği ile bilinmektedirler [13]. Kurşun (Pb), çinko (Zn), kadmiyum (Cd) ve nikel (Ni) gibi birçok ağır metal, hiperakümülatör bitkiler tarafından etkili bir şekilde topraktan alınıp bitki dokularında depolanmaktadır [14]. *Noccaea caerulescens* (J.Presl & C.Presl) F.K.Mey. bünyesinde yüksek nikel ve çinko biriktirme kapasitesine sahipken, *Brassica juncea* ise kurşun ve kadmiyum gibi metallerin uzaklaştırılmasında oldukça etkilidir [4]. Bu bitkiler genetik adaptasyonları ve metabolik mekanizmaları sayesinde, metal iyonlarını kökleri aracılığı ile alıp, gövde ve yapraklara taşımakta ve buralarda yüksek konsantrasyonlarda depolanmaktadır [7]; [16]; [17].

Fizyolojik ve biyokimyasal mekanizmaları arasında metal iyonlarının kök hücre zarları aracılığıyla taşınması, metal şelatör moleküllerinin (fitokelatinler ve metalotiyoninler) üretimi ve oksidatif stresle başa çıkma yeteneği yer almaktadır. Ayrıca, hiperakümülatör bitkilerin genetik yapılarında ağır metallere direnç sağlayan genler üzerinde yapılan çalışmalar, bu türlerin genetik mühendislik aracılığıyla daha etkin hale getirilebileceğini de göstermektedir [33].

Dünya'da Yaygın Olarak Kullanılan Hiperakümülatör Türler

Çin'de bir hiperakümülatör bitki olan *Sedum alfredii* Hance. ile yapılan çalışma, bu bitkinin kadmiyum ve çinko birikimi olan alanların temizlenmesinde etkili olduğunu göstermiştir [18]. Benzer şekilde Çin'de yürütülen bir başka çalışma Brassica juncea bitkisinin kadmiyum ve kurşun birikimi konusunda yüksek kapasiteye sahip olduğu ve tarım alanlarında fitoremediasyon için kullanılabileceği vurgulanmıştır [19]; [20]. Kurşun ve kadmiyum birikiminde ise ayçiçeğinin etkili olduğu Niu ve ark. (2023) tarafından Hindistan'da yapılan çalışma ile ortaya konmuştur [21]. Hindistan'da *Prosopis juliflora* Sw. bitkisi ile yürütülen bir başka çalışma sonuçları ise kurşun birikimi olan alanlarda bu bitkinin çevresel temizleme potansiyeli ortaya konmuştur [22]; [23]. Amerika'da yürütülen bir çalışma ise, *Phragmites australis* Cav.bitkisinin, sulak alanlarda ağır metal kirliliğini azaltmada etkili olduğu bildirilmiştir [24]. ABD'de *Hypericum perforatum* L. üzerinde Dushenkov ve ark. (1995) tarafından yapılan çalışma, bu bitkinin cıva birikimi olan alanlarda toprakların temizlenmesinde etkili olduğu ifade edilmiştir [25]. Avustralya'da *Acacia pycnantha* Benth. bitkisinin bakır ve çinko biriktirme potansiyeli nedeniyle maden işletmeleri olan bölgelerde umut verici sonuçlar elde edilmiştir [25]; [26]. Avustralya'da *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. ile yürütülen araştırmalar, bu bitkinin toprakta bulunan ağır metalleri biriktirme kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir [27]. Afrika'da nikel biriktirme kapasitesine sahip *Berkheya coddii* Roessler. bitkisi kromit maden sahalarında kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir [28]. Benzer çalışmalar Kenya'da da yürütülmüş, bünyesinde nikel biriktiren *Ipomoea involucrata* P.Beauv.bitkisi nikel madenciliği yapılan alanlarda toprağın temizlenmesinde kullanılmıştır [29]. Güney Kore'de sulak alanlarda yapılan çalışmalarda, *Miscanthus sacchariflorus* Maxim. bitkisinin özellikle kurşun ve çinko gibi ağır metalleri biriktirme potansiyeli nedeniyle kirliliğin kontrol altına alınmasında etkili olduğu bulunmuştur [29]; [8]. Rusya'da benzer şekilde *Armeria maritima* Mill. bitkisini, bakır ve çinko birikimi açısından maden sahaları ve ağır metal kirliliği bulunan alanlarda rehabilitasyon amacıyla değerlendirmişlerdir [30].

Türkiye’de Kullanılan Hiperakümülatör Türler

Türkiye, coğrafi konumu ve zengin bitki örtüsüyle birçok hiperakümülatör türüne ev sahipliği yapmaktadır. Türkiye’de hiperakümülatör özelliklere sahip bitkiler sadece Brassicaceae familyası ile sınırlı değildir. *Asteraceae* ve *Fabaceae* gibi diğer familyalarda da ağır metal biriktirme kapasitesine sahip türler bulunmaktadır [11]. İç Anadolu Bölgesi'nde yapılan çalışmalar Thlaspi türlerinin yoğun olarak bulunduğunu göstermiştir [13]. Özellikle nikel, kurşun ve çinko gibi metallerin yoğun bir şekilde biriktiği alanlarda bu bitkiler çevre temizliği için umut verici bir çözüm sunmaktadır. Avrupa’da yoğun bir şekilde çalışılan *Noccaea caerulescens* (J.Presl & C.Presl) F.K.Mey.)nikel biriktirme yeteneğiyle bilinmekte ve Türkiye’de de çalışmalar yürütülmektedir [15]; [7]. Türkiye’de kadmiyum birikimi konusunda ise *Silene vulgaris* Moench. dikkat, çekmektedir [4]. Benzer şekilde *Helianthus annuus* L., kurşun ve çinko birikiminde etkili bir tür olarak öne çıkmaktadır [9]. Türkiye'deki hiperakümülatör türler sadece çevresel kirlilikle mücadelede değil, aynı zamanda bitki genetik kaynaklarının sürdürülebilir kullanımında da önemli bir potansiyele sahiptir.

Fitoremediasyon, kirlenmiş toprak, su ve havanın bitkiler kullanılarak temizlenmesini sağlayan bir biyoteknolojik yöntemdir ve çevre dostu, düşük maliyetli ve sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır [4]. Türkiye'de fitoremediasyonun uygulanabileceği çeşitli alanlar bulunmaktadır. Maden ve sanayi bölgeleri ve tarımsal alanlar bu yöntem için öne çıkan başlıca yerlerdir. Türkiye yoğun maden rezervleri nedeniyle nikel (Ni), kadmiyum (Cd) ve arsenik (As) gibi ağır metallerle kirlenmiş topraklar sık görülmektedir. Bu tür kirlenmiş alanların iyileştirilmesinde *Noccaea caerulescens* (J.Presl & C.Presl) F.K.Mey.) ve *Odontarrhena muralis (Waldst. & Kit.) Endl.*gibi nikel akümülatör türleri kullanılabilir [7]. Özellikle İç Anadolu Bölgesi'ndeki maden ocaklarının çevresinde yapılan çalışmalar, bu bitkilerin yerel koşullarda etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Sanayi bölgelerinde ise kurşun, çinko ve civa gibi metallerin birikimi yaygındır. Bu bölgelerde *Brassica juncea* L. kullanımı, bu metallerin fitoremediasyonu için oldukça etkilidir [31]; [32]. Hamutoğlu ve ark. (2012) tarafından ise sanayi atıklarının yoğun olduğu Marmara Bölgesi’nin fitoremediasyon çalışmaları için uygun bir alan olarak değerlendirilebileceği vurgulanmıştır [9]. Tarımsal alanlarda, pestisit ve organik kirletici kalıntılarının temizlenmesi için hiperakümülatör olmayan ancak fitoremediasyon potansiyeli yüksek bitkiler kullanılabilir. Karadeniz Bölgesi'nde sucul sistemlerin organik kirleticilerden arındırılması amacıyla ise *Typha latifolia* L. ve *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms gibi su bitkilerinin başarıyla kullanılabileceği belirtilmiştir [34]; [35].

Fitoremediasyon sadece çevresel kirliliğin azaltılmasında değil, aynı zamanda sürdürülebilir tarım uygulamalarına ve doğal kaynak yönetimine de katkı sağlamaktadır. Kirlenmiş toprakların ve suların arındırılmasıyla elde edilen alanlar tarım, rekreasyon ve doğal yaşam alanları olarak yeniden değerlendirilebilir. Ayrıca hiperakümülatör bitkilerin kullanımı yerel topluluklara istihdam imkanı sunarak sosyo-ekonomik kalkınmayı da teşvik edebilir. Bu nedenle iklim ve toprak özelliklerine uygun bitki türlerinin belirlenmesi, fitoremediasyonun etkili bir şekilde uygulanabilmesi için temel oluşturmaktadır [5]; [36].

SONUÇ

Fitoremediasyon, çevresel kirliliğin sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi için yenilikçi, çevre dostu ve ekonomik bir çözüm sunmaktadır. Bu yöntem, ağır metaller ve toksik maddeler gibi bitkiler aracılığıyla temizleyerek, toprak, su ve hava kalitesinin iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Özellikle hiperakümülatör bitkiler, metal iyonlarını köklerinden alarak dokularında biriktirme kapasiteleri sayesinde bu süreçte kritik bir rol oynamaktadır. Noccaea caerulescens (J.Presl & C.Presl) F.K.Mey.)ve *Odontarrhena muralis* (Waldst. & Kit.) Endl.gibi türler, nikel ve kadmiyum gibi ağır metalleri giderme potansiyelleri ile dikkat çekerken, *Brassica juncea* L. *ve Helianthus annuus* L., sanayi ve tarım arazilerindeki kirliliğin azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Türkiye'nin floristik zenginliği ve coğrafi çeşitliliği, fitoremediasyon çalışmalarında büyük bir avantaj sunmaktadır. İç Anadolu Bölgesi'ndeki ağır metallerle kirlenmiş maden alanları, Karadeniz Bölgesi'ndeki su kirliliği ve Marmara

Bölgesi'ndeki sanayi alanları, bu yöntemin uygulanabileceği öncelikli alanlar arasında yer almaktadır. Ayrıca, pestisit ve organik kirleticilerle kirlenmiş tarım alanlarının temizlenmesi, sürdürülebilir tarım uygulamalarına büyük katkı sağlayabilir. Fitoremediasyonun Türkiye'de ve dünyada daha etkin bir şekilde uygulanabilmesi için kapsamlı araştırmaların, multidisipliner iş birliklerinin ve politika desteklerinin artırılması gereklidir. Türkiye'nin biyoçeşitlilik zenginliği bu alanda büyük bir potansiyel sunarken, doğru yönetim ve stratejik yaklaşımlarla çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılması mümkündür. Bu yöntem, yalnızca çevresel kirliliği azaltmakla kalmayıp, gelecek nesillere daha temiz ve yaşanabilir bir çevre bırakma imkanı sunmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] McNeill, J. R. (2001). Something new under the sun: An environmental history of the twentieth-century world (the global century series). WW Norton & Company.

[2] Steffen, W., Crutzen, P. J., & McNeill, J. R. (2007). The Anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of nature. Ambio-Journal of Human Environment Research and Management, 36(8), 614-621.

[3] Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F. S., Lambin, E., ... & Foley, J. (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. Ecology and society, 14(2).

[4] Salt, D. E., Blaylock, M., Kumar, N. P. B. A., Dushenkov, V., Ensley, B. D., Raskin, I. (1995). Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. Bio/Technology, 13: 468-474.

[5] Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals concepts and applications. Chemosphere, 91(7), 869-881.

[6] Shah, V., & Davarey, M. (2020). Phytoremediation: A multidisciplinary approach to clean up heavy metal contamination. Environmental Technology Reviews, 9(1), 1-15.

[7] Krämer, U. (2010). Metal hyperaccumulation in plants. Annual Review of Plant Biology, 61(1): 517-534.

[8] Yao, X., Niu, Y., Li, Y., Zou, D., Ding, X., & Bian, H. (2018). Heavy metal bioaccumulation by Miscanthus sacchariflorus and its potential for removing metals from the Dongting Lake wetlands, China. Environmental Science and Pollution Research, 25, 20003-20011.

[9] Hamutoğlu, R., Dinçsoy, A. B., Cansaran-Duman, D., & Aras, S. (2012). Biyosorpsiyon, Adsorpsiyon, Fitoremediasyon Yöntemleri ve Uygulamaları. Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, 69(4), 235-253.

[10] Esringü, A., & Sezen, I. (2021). Türkiye Florasında Peyzaj Özelliği Gösteren Hiperakümülatör Bitkilerin Maden Alanlarının Onarımında Kullanımı. Türk Doğa ve Fen Dergisi, 10(1), 327-334.

[11] Özbek, K. (2021). Hiperakümülasyon ve Türkiye Florasındaki Hiperakümülatör Türler. Türkiye Tohum Gen Bankası Yayınları.

[12] Aybar, M. (2015). Fitoremediasyon yöntemi ile topraktaki ağır metallerin giderimi. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 10(3): 45-52.

[13] Baker, A.J.M., Brooks, R.R. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements – A review of their distribution, ecology and phytochemistry. Biorecovery, 1(2): 81-126.

[14] Reeves, R.D. (2003). Tropical hyperaccumulators of metals and their potential for phytoremediation and phytomining. Plant and Soil, 249(1): 57-65.

[15] Richau, K. H., & Schat, H. (2009). Intraspecific variation of nickel and zinc accumulation and tolerance in the hyperaccumulator Thlaspi caerulescens. Plant and Soil, 314, 253-262.

[16] Reeves, R. D., Baker, A. J., Jaffré, T., Erskine, P. D., Echevarria, G., & van Der Ent, A. (2018). A global database for plants that hyperaccumulate metal and metalloid trace elements. New Phytologist, 218(2), 407-411.

[17] Reeves, R. D., van Der Ent, A., Echevarria, G., Isnard, S., & Baker, A. J. (2021). Global distribution and ecology of hyperaccumulator plants. Agromining: farming for metals: extracting unconventional resources using plants, 133-154.

[18] Yang, X. E., Long, X. X., Ye, H. B., He, Z. L., Calvert, D. V., Stoffella, P. J. (2004). Cadmium tolerance and hyperaccumulation in a new Zn-hyperaccumulating plant species (Sedum alfredii Hance). Plant and soil, 259, 181-189.

[19] Tan, P., Zeng, C., Wan, C., Liu, Z., Dong, X., Peng, J., ... & Yan, M. (2021). Metabolic profiles of Brassica juncea roots in response to cadmium stress. Metabolites, 11(6), 383.

[20] Ying, R., Xia, B., Zeng, X., Qiu, R., Tang, Y., & Hu, Z. (2021). Adsorption of cadmium by Brassica juncea (L.) Czern. and Brassica pekinensis (Lour.) rupr in pot experiment. Sustainability, 14(1), 429.

[21] Niu, Z., Li, X., Mahamood, M. (2023). Accumulation potential cadmium and Lead by sunflower (Helianthus annuus L.) under citric and glutaric acid-assisted phytoextraction. International Journal of Environmental Research and Public Health, 20(5), 4107.

[22] Balasundaram, U., Venkataraman, G., George, S., & Parida, A. (2014). Metallothioneins from a hyperaccumulating plant Prosopis juliflora show difference in heavy metal accumulation in transgenic tobacco. International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology, 7(2), 241-246.

[23] Mohanraj, R., Prasath, R. A., & Rajasekaran, A. (2022). Assessment of vegetation, soil nutrient dynamics and heavy metals in the Prosopis juliflora invaded lands at semi-arid regions of Southern India. Catena, 216, 106374.

[24] Kaifiyan, M., Khan, F. A., Naikoo, M. I. (2022). Phytoremediation of arsenic by phragmites australis, colocasia esculenta and canna indica using a novel semi-hydroponics system. Applied Biological Research. 24(4): 420-428.

[25] Dushenkov, V., Kumar, P. N., Motto, H., & Raskin, I. (1995). Rhizofiltration: the use of plants to remove heavy metals from aqueous streams. Environmental science & technology, 29(5), 1239-1245.

[26] Nirola, R., Megharaj, M., Palanisami, T., Aryal, R., & Naidu, R. (2016). Evaluation of metal uptake factors of native trees colonizing an abandoned copper mine – a quest for phytostabilization. Journal of Sustainable Mining, 15(3), 132-138.

[27] Yasin, G., Ur Rahman, S., Yousaf, M. T. B., Azhar, M. F., Zahid, D. M., Imtiaz, M., Hussain, B. (2021). Phytoremediation potential of E. camaldulensis and M. alba for copper, cadmium, and lead absorption in urban areas of Faisalabad City, Pakistan. International Journal of Environmental Research, 15, 597-612.

[28] Rue, M., Paul, A. L., Echevarria, G., van Der Ent, A., Simonnot, M. O., & Morel, J. L. (2020). Uptake, translocation and accumulation of nickel and cobalt in Berkheya coddii, a 'metal crop'from South Africa. Metallomics, 12(8), 1278-1289.

[29] Morrison, R. S. (1980). Aspects of the accumulation of cobalt, copper and nickel by plants. Massey University, New Zealand.

[30] Andersone-Ozola, U., Samsone, I., Karlsons, A., Osvalde, A., & Ievinsh, G. (2020). Heavy metal tolerance and accumulation potential of Armeria maritima plants from a dry coastal meadow. Environ Exp Biol, 18, 41-42.

[31] Chaney, R. L., Angle, J. S., Broadhurst, C. L., Peters, C. A., Tappero, R. V., & Sparks, D. L. (2007). Improved understanding of hyperaccumulation yields commercial phytoextraction and phytomining technologies. Journal of Environmental Quality, 36(5), 1429-1443.

[32] Memon, A., & Meraklı, N. (2023). Brassica juncea'nın ağır metal stresine adaptasyon mekanizmaları. Turkish Journal of Botany, 47(2), 112-125.

[33] Doğru, A., Altundağ, H., & Dündar, Ş. (2021). Bitkilerde ağır metal hiperakümülasyonu ve fitoremediasyon. Journal of Agricultural Biotechnology, 2(2), 32-55.

[34] Alkan, A., Serdar, S., & Fidan, D. (2008). Kirlilik ve Karadeniz. Aquaculture Studies, 2008(1).

[35] Üstün Odabasi, S. (2022). Orta Karadeniz Bölgesi Kızılırmak ve Yeşilırmak Nehirlerindeki Mikrokirletici Varlığının İncelenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (45), 188-193.

[36] Yıldıztekin, M., Ulusoy, H., & Tuna, A. L. (2019, December). Ağır metallerle kirlenmiş toprakların iyileştirilmesinde fitoremediasyon yöntemi: tıbbi ve aromatik bitkilerin uygunluğu. In SETSCI-Conference Proceedings (Vol. 9, pp. 477-480). SETSCI-Conference Proceedings.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Eichhornia crassipes (Mart.) Solms kullanılarak atık suların temizlenmesi

İlkay YAVAŞ[1*], Hayrettin İlker ÖZDEMİR[1]

[1]*Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Koçarlı Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Programı, 09100, Türkiye*

*iyavas@adu.edu.tr

Özet – *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms (su sümbülü), düşük maliyetli, çevre dostu ve etkili bir fitoremediasyon kaynağı olarak bilinmektedir. Bu bitki hem evsel hem de endüstriyel atık suların temizlenmesinde önemli bir rol oynamakta, nitrat, fosfat ve ağır metal gibi kirleticilerin giderilmesinde oldukça başarılı olduğu gözlenmektedir. Ayrıca, organik maddeleri parçalayarak suyun biyolojik oksijen ihtiyacını azaltmakta, mikrobiyal aktiviteyi artırmakta ve su kalitesini iyileştirmektedir. *Eichhornia crassipes*, toksik kimyasalların ve ağır metallerin biyolojik olarak parçalanmasına yardımcı olarak detoksifikasyonu sağlamaktadır. Bu da suyu daha güvenli hale getirerek, ekosistem üzerindeki olumsuz etkileri azaltmaktadır. Bunun dışında, su sümbülünden elde edilen biyokütle, biyogaz üretimi, gübre ve hayvan yemi gibi ekonomik faydalar sağlamaktadır. Fakat, su sümbülünün hızlı büyüme ve yayılma potansiyeli, su yollarının tıkanmasına ve yerel ekosistemlerin bozulmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle, bitkinin kontrollü bir şekilde kullanılması oldukça önemlidir. Kontrollü ekim ve takip işlemleri, su sümbülünün yararlı etkilerinden yararlanması sağlarken aynı zamanda olumsuz ekolojik etkileri en aza indirmektedir. Bu nedenle gelecekte, *Eichhornia crassipes*'in atık su arıtımındaki rolü üzerine daha fazla araştırma yapılması, bu yöntemin etkinliğini ve sürdürülebilirliğini artıracaktır.

Anahtar Kelimeler – Ağır metal, Eichhornia crassipe, fitoremediasyon, mikrobiyal aktivite, su kalitesi

GİRİŞ

Su kaynaklarının kirlenmesi, sanayileşme ve artan nüfus yoğunluğunun neden olduğu önemli çevresel sorunlardan biridir. Endüstriyel faaliyetler, tarımsal uygulamalar ve evsel atık sular, su kaynaklarına çeşitli kirleticilerin karışmasına yol açmaktadır. Bu kirleticiler arasında ağır metaller, organik maddeler, pestisitler ve besin maddeleri gibi birçok zararlı bileşen bulunmaktadır. Atık suyun doğrudan doğal su sistemlerine bırakılması, ekosistemlerde biyolojik dengenin bozulmasına ve halk sağlığı açısından ciddi risklere yol açmaktadır. Bu durum, temiz su kaynaklarının azalmasına ve su ekosistemlerinin zarar görmesine neden olmaktadır [1,2,3,4].

Geleneksel arıtım yöntemleri, çoğu zaman yüksek maliyetli olmakta ve çevresel sürdürülebilirlik açısından sınırlı sayıda avantajlar sunmaktadır. Ayrıca, bu yöntemler, bazı kirleticilerin bazen tamamen giderilmesini sağlayamamaktadır. Bu bağlamda, doğal ve çevre dostu arıtım yöntemleri önem kazanmaktadır. Fitoremediasyon, bu tür doğal yöntemlerden birisidir ve bitkilerin kirleticileri absorbe ederek veya parçalayarak suyun kalitesini iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Fitoremediasyon yöntemleri, düşük maliyetli, sürdürülebilir ve çevre dostu olmaları nedeniyle son yıllarda büyük ilgi görmektedir [5,6,7].

Eichhornia crassipes (su sümbülü), hızlı büyüme kapasitesi ve kirleticileri absorbe etme yeteneği ile çevre dostu arıtma yöntemlerinde dikkat çekici bir potansiyele sahiptir. Su sümbülü, su yüzeyinde

yüzen geniş yaprakları ve mor renkli çiçekleri ile bilinmektedir. Kökleri su altında geniş bir alanı kaplayarak nitrat, fosfat ve ağır metal gibi besin maddelerini emmektedir. Bu özellikleri sayesinde, su kirliliğiyle mücadelede etkili bir araç olarak kullanılabilmektedir [8,9].

1. Eichhornia crassipes'in özellikleri

Su sümbülü, tropikal bölgelerde doğal olarak bulunan, tatlı su ekosistemlerinde hızla yayılan ve istilacı bir tür olarak bilinen bir bitkidir. Su sümbülü, 3-7 gün içinde popülasyonunu ikiye katlayabilir yani hızlı büyüme ve üreme potansiyeline sahiptir. Bu hızlı büyüme, biyokütle üretimi açısından büyük bir avantaj oluşturmaktadır [10,11,12].

Bitkinin kök sistemi, organik madde, ağır metal ve toksin gibi maddelerin absorbe edilmesinde etkilidir. Özellikle nitrojen ve fosfor gibi kirleticileri uzaklaştırmada yüksek kapasiteye sahiptir [13,14,15].

Su sümbülünden elde edilen biyokütle, biyogaz üretimi, organik gübre ve hatta tekstil sektöründe doğal lif kaynağı olarak değerlendirilmektedir [19,11].

Eichhornia crassipes'in atık su arıtımında kullanımına ilişkin çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. [16] numaralı çalışmada, su sümbülünün evsel ve endüstriyel atık suların biyolojik arıtımındaki etkinliği incelenmiş ve bitkinin kirlilik yükünü azaltmada ve ağır metal gideriminde faydalı olduğu gözlenmiştir. Su sümbülünün toksik metallerin uzaklaştırılmasındaki rolünü inceleyen diğer çalışmalar ise, bitkinin özellikle kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) gibi kirleticileri etkili bir şekilde uzaklaştırabileceğini ortaya koymuştur [12]. [28] numaralı çalışmada su sümbülünün azot ve fosfor gibi besin maddelerinin giderilmesindeki etkinliği ele alınmış ve temizlenen suyun tarımsal sulama için kullanılabileceği bildirilmiştir.

2. Uygulama alanları

Su sümbülü, kök sistemi sayesinde nitrojen ve fosfor gibi kirleticileri absorbe ederek suyun temizlenmesini sağlamaktadır. Bu yöntem, evsel atık suların biyoremediasyonunda etkili olmaktadır. Kök sisteminin geniş yüzey alanı, kirleticilerin bitkiye kolayca bağlanmasını ve bitki tarafından alınmasına yardımcı olmaktadır [17,18,12].

Su sümbülü, metal kaplama, boya ve kimya sektörlerinden kaynaklanan ağır metallerin giderilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Kök sistemi, ağır metallerin absorbe edilmesi ve böylece suyun temizlenmesi için idealdir. Bu uygulama, sanayi atıklarının çevresel etkilerini azaltmada faydalı olabilmektedir [18,12].

Su sümbülünden elde edilen biyokütle, biyogaz üretiminde kullanılmaktadır. Biyogaz, organik maddelerin mikrobiyal fermantasyonu sonucu elde edilen bir enerji kaynağıdır. Bu biyokütle ayrıca organik gübre olarak da kullanılabilir, bu da tarımsal faaliyetler için ek bir fayda oluşturabilir [19,11,20].

3. Eichhornia crassipes kullanımının avantaj ve dezavantajları

Eichhornia crassipes, ağır metal ve organik kirletici gibi zararlı maddeleri sudan uzaklaştırma yeteneğine sahiptir. Bu nedenle bu bitki, köklerinde bulunan biofilm tabakası sayesinde suyu

temizlemekte ve su kalitesini artırmaktadır [2,21]. Su sümbülü, biyogaz ve biyoyakıt üretimi, hayvan yemi, kompost üretimi ve biyogübre olarak değerlendirilebilir. Bu bitki, enerji üretimi ve atık yönetimi gibi alanlarda ekonomik ve çevresel faydalar sağlayabilir [22,9,23]. Ayrıca farmakolojik ve biyolojik aktiviteleri nedeniyle de tıbbi amaçlarla da kullanılmaktadır [24,9].

Eichhornia crassipes, hızlı büyüme ve yayılma yeteneği nedeniyle istilacı bir tür olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle bu bitki, su yollarını tıkamakta, su taşımacılığını ve balıkçılık faaliyetlerini engellemektedir [25,26,27]. Ayrıca su sümbülü, su kalitesini düşürmekte, biyolojik çeşitliliği azaltmakta ve istilacı olduğu bölgelerde ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu bitki, zararlı böcekler ve hastalıklar için üreme alanı da oluşturmaktadır [28]. *Eichhornia crassipes*'in kontrolü oldukça zordur. Kimyasal, biyolojik ve fiziksel kontrol yöntemleri kullanılsa da bitkinin yayılmasını tamamen engellemek mümkün değildir [29,30,26].

SONUÇ

Eichhornia crassipes (su sümbülü), atık su arıtımında etkili bir biyolojik yöntem olarak kullanılmaktadır. Bitkinin hızlı büyüme kapasitesi, geniş kök sistemi ve kirleticileri absorbe etme yeteneği, onu çevre dostu bir arıtma yöntemi olarak öne çıkarmaktadır. Nitrat, fosfat ve ağır metaller gibi kirleticilerin uzaklaştırılmasında yüksek kapasiteye sahip olan su sümbülü, biyokütlesiyle de biyogaz üretimi, organik gübre ve doğal lif kaynağı olarak değerlendirilebilir. Ancak, su sümbülünün istilacı doğası ve kontrol zorlukları, ekolojik ve ekonomik zararlar yaratabilir. Su yüzeyini kaplayarak ışık ve oksijen girişini engelleyebilir, su ekosistemlerinin dengesini bozabilir ve yerli bitki ve hayvan türlerini tehdit edebilir. Ayrıca, su kanallarını tıkayarak taşkınlara ve navigasyon sorunlarına neden olabilir, bu da ekonomik açıdan olumsuz etkiler yaratabilir. Bu nedenle, su sümbülünün avantaj ve dezavantajları dikkatlice değerlendirilerek uygun yönetim stratejileri geliştirilmelidir. Kontrol önlemleri, biyolojik, kimyasal ve mekanik yöntemlerle birleştirilerek, su sümbülünün yayılmasının önlenmesi ve ekosistem üzerindeki olumsuz etkilerinin minimize edilmesi hedeflenmelidir. Aynı zamanda, su sümbülünün yararlı özelliklerinden faydalanarak sürdürülebilir ve çevre dostu uygulamalar geliştirilmelidir.
.

KAYNAKLAR

[1] Odjegba, V. J., Fasidi, I. O. (2004). Accumulation of trace elements by Pistia stratiotes: Implications for phytoremediation. Ecotoxicology and Environmental Safety, 58(2), 227-230.

[2] Malik, A. (2007). Environmental challenge vis a vis opportunity: The case of water hyacinth. Environment International, 33(1), 122-138.

[3] Lu, Q., He, Z. L., Graetz, D. A., Stoffella, P. J., Yang, X. (2010). Phytoremediation to remove nutrients and improve eutrophic stormwaters using water lettuce (Pistia stratiotes L.) and water hyacinth (Eichhornia crassipes). Environmental Science and Pollution Research, 17(1), 84-96.

[4] Adebayo, A. A., Briski, E., Briski, E., Kalaci, O., Hernandez, M., Ghabooli, S., ... & MacIsaac, H. J. (2011). Water hyacinth (Eichhornia crassipes) and water lettuce (Pistia stratiotes) in the Great Lakes: playing with fire? Aquatic Invasions, 6(1), 91.

[5] Reddy, K.R., DeBusk, W. F. (1985). Nutrient removal potential of selected aquatic macrophytes. Journal of Environmental Quality, 14(4), 459-462.

[6] Aybar, M., Bilgin, A., & Sağlam, B. (2015). Fitoremediasyon yöntemi ile topraktaki ağır metallerin giderimi. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 1(1-2), 59-65.

[7] Yıldıztekin, M., Ulusoy, H., & Tuna, A. L. (2019). Ağır metallerle kirlenmiş toprakların iyileştirilmesinde fitoremediasyon yöntemi: tıbbi ve aromatik bitkilerin uygunluğu. 4th International Symposium on Innovative Approaches in Engineering and Natural Sciences Proceedings. 22-24 Kasım 1999. Samsun. 477-480.

[8] Ben Bakrim, W., Ezzariai, A., Karouach, F., Sobeh, M., Kibret, M., Hafidi, M., ... & Yasri, A. (2022). Eichhornia crassipes (Mart.) Solms: a comprehensive review of its chemical composition, traditional use, and value-added products. Frontiers in pharmacology, 13, 842511.

[9] Gebrehiwot, H., Dekebo, A., & Endale, M. (2022). Chemical Composition, Pharmacological Activities, and Biofuel Production of Eichhornia crassipes (Water Hyacinth): A Review. Journal of the Turkish Chemical Society, Section A: Chemistry, 9(3), 849–868.

[10] Reddy, K.R., DeBusk, W. F. (1984). Growth characteristics of aquatic macrophytes cultured in nutrient-enriched water: I. Water hyacinth, water lettuce, and pennywort. Economic Botany, 38(2), 229-239.

[11] Gunnarsson, C. C., & Petersen, C. M. (2007). Water hyacinths as a resource in agriculture and energy production: A literature review. Waste management, 27(1), 117-129.

[12] Rezania, S., Din, M. F. M., Kamaruddin, S. F., Taib, S. M., Singh, L., Yong, E. L., Dahalan, F. A. (2016). Evaluation of water hyacinth (Eichhornia crassipes) as a potential raw material source for briquette production. Energy, 111, 768-773.

[13] Najem, A. M. (2015). Evaluation the biosorption capacity of water hyacinth (Eichhornia crassipes) root for some heavy metals. Iraqi Journal of Science, 56(4A), 2846-2852.

[14] Irfan S, Al-Atawi A. 2017. Eichhoria crassipes (Mart.) Solms. Application of Macrophyte in Heavy Metals Removal. J Pure Appl Microbiol. 11(4):1737-1748. doi: 10.22207/JPAM.11.4.12

[15] Tesi, G.O., Ejeromedoghene, O., Alli, Y.A., Okunoja, H.B., Ipeaiyeda, A.R. (2025). Adsorption and Desorption Performances of Eichhornia crassipes (Water Hyacinth) Roots and Leaves Powder Towards Metal Ions in Industrial Wastewater. Ovidius University Annals of Chemistry. 36(1), https://doi.org/10.2478/auoc-2025-0001.

[16] Jianbo, L. U., Zhihui, F. U., Zhaozheng, Y. I. N. (2008). Performance of a water hyacinth (Eichhornia crassipes) system in the treatment of wastewater from a duck farm and the effects of using water hyacinth as duck feed. Journal of Environmental Sciences, 20(5), 513-519.

[17] Lu, X., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., & Homyok, K. (2004). Removal of cadmium and zinc by water hyacinth, Eichhornia crassipes. Science asia, 30(93), 103.

[18] Gülgün, B., Keskin, N., Aktaş, E., Köse, H. (2010). Su Sümbülü Bitkisi Eichornia crassipes ve Atıksu Arıtımında Kullanımı. Ziraat Mühendisliği, (354), 48-53.

[19] Nigam, J. N. (2002). Bioconversion of water-hyacinth (Eichhornia crassipes) hemicellulose acid hydrolysate to motor fuel ethanol by xylose–fermenting yeast. Journal of Biotechnology, 97(2), 107-116.

[20] Kalyoncu, B. B., Kalyoncu, H., & Ertaş, A. (2024). İstilacı tür su sümbülü (Eichhornia crassipes (mart.) Solms)'nün tekstil sektörü ve kullanım alanları açısından değerlendirilmesi. Tekstil ve Mühendis, 31(135), 182-199.

[21] Mishra, S., & Maiti, A. (2017). The efficiency of Eichhornia crassipes in the removal of organic and inorganic pollutants from wastewater: a review. Environmental science and pollution research, 24, 7921-7937.

[22] Yadav, A. K., Pathak, B., Fulekar, M. H. (2015). Rhizofiltration of heavy metals (cadmium, lead and zinc) from fly ash leachates using water hyacinth (Eichhornia crassipes). International Journal of Environment, 4(1), 179-196.

[23] Rasmiye Begum, S. L., Himaya, S. M. M. S., & Afreen, S. M. M. S. (2022). Potential of water hyacinth (Eichhornia crassipes) as compost and its effect on soil and plant properties: A review. Agricultural Reviews, 43(1), 20-28.

[24] Ruan, T., Zeng, R., Yin, X. Y., Zhang, S. X., Yang, Z. H. (2016). Water hyacinth (Eichhornia crassipes) biomass as a biofuel feedstock by enzymatic hydrolysis. BioResources, 11(1), 2372-2380.

[25] Abba, A., Sankarannair, S. (2024). Global impact of water hyacinth (Eichhornia Crassipes) on rural communities and mitigation strategies: a systematic review. Environmental Science and Pollution Research, 31(31), 43616-43632.

[26] He, Z., Zhang, X., Fan, S., Chen, R., Sun, J., Ma, F., ... & Liu, C. (2024). Effects of the interspecific competition between Eichhornia crassipes and Alternanthera philoxeroides and the additional impact of their biological control agents: relevance for aquatic weed management. Hydrobiologia, 1-14.

[27] Jha, R.R., Li, D. (2025). Quantifying the effects of water hyacinth (Pontederia crassipes) on freshwater ecosystems: a meta-analysis. Biological Invasions, 27(1), 1-11.

[28] Villamagna, A. M., Murphy, B. R. (2010). Water hyacinth: From prolific pest to potential provider. Science of The Total Environment, 408(20), 4434-4445.

[29] Patel, S. (2012). "Threats, management and envisaged utilizations of aquatic weed Eichhornia crassipes: an overview." Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 11(3), 249-259.

[30] Karouach, F., Ben Bakrim, W., Ezzariai, A., Sobeh, M., Kibret, M., Yasri, A., ... & Kouisni, L. (2022). A comprehensive evaluation of the existing approaches for controlling and managing the proliferation of water hyacinth (Eichhornia crassipes). Frontiers in Environmental science, 9, 767871.

[31] Wolverton, B. C., & McDonald, R. C. (1979). The water hyacinth: from prolific pest to potential provider. Ambio, 2-9.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

ICSIS

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Impeding and Enabling Macroeconomic Factors of Circular Economy: Analyzing the Effect of Extended STIRPAT Framework Through a Dynamic GMM Model in Western Balkan Countries

Kriselda Sulcaj GURA*, Servet GURA [2] and Fatmir GURI [3]

[1]*Department of Economy and Business, Beder University, Albania*
[2] *Department of Economy and Business, Beder University, Albania*
[3] *Department of Economy and Rural Development Policies, Agricultural University of Tirana, Albania*

**(kriseldasulcaj@gmail.com) Email of the corresponding author*

Abstract – Reducing carbon emissions scale globally is essential, as today's one of the biggest worldwide challenges is the climate change and the immediate issues it presents to both human beings and natural systems. Thus, a growing number of nations are establishing challenging goals to achieve carbon neutrality coming with the main proposition that Circular Economy (CE) is the main solution. The issue of environmental degradation, which endangers human survival, arises concurrently with economic progress. The primary causes of these problems include the heavy usage of fossil fuel-based energy, vast industrial waste, and significant resource utilization. According to Hooijschuur et al. (2023), individual countries must act together to meet these global climate targets; their contributions under the accord are set at the national level. This research used the extended STIRPAT framework and novel dynamic GMM techniques to analyze it on Western Balkan region. The results shows that macroeconomic variables like, GDP growth, FDI, technological progress, trade openness, natural resources rent and urban population are significant in CO2 emission in WBs countries. At the same time, previous year's emission and previous year natural resource rent are significant contributor in the current CO2 emission. The study recommends that, better monitoring of those interconnected factors through good governance, can contribute on the achievement of sustainability goals and in social progress in the region and can hence the transition toward circular economy.

Keywords – circular economy, CO2 emission, STIRPAT framework, natural resource preservation, GMM model

I. INTRODUCTION

Since climate change and the urgent problem it poses to both natural systems and humans are currently among the world's greatest challenges, reducing carbon emissions on a global scale is imperative. As a result, more and more countries are setting ambitious targets to become carbon neutral. Climate change and environmental degradation have rapidly evolved in recent years, posing severe challenges to the global society and policy makers. The global economy has experienced tremendous development and a notable widening of the wealth disparity since the industrial revolution. The problem of environmental deterioration, which threatens human existence, emerges with economic development. Significant resource use, extensive industrial waste, and the excessive reliance on fossil fuel-based energy are the main sources of these issues.

With shown benefits and varying degrees of effectiveness, adaptation planning and implementation have progressed across all industries and regions. Despite advancements, there are still significant adaption gaps. Maladaptation is occurring in specific businesses and regions. The existing global financial flows, which are inadequate, especially in poor countries, make it impossible to execute adaptation strategies (IPPC, 2023). If greenhouse gas emissions were dramatically, rapidly, and stably cut, global warming would noticeably slow down.

Individual nations must work together to fulfill these global climate objectives; their national contributions are determined under the deal (Hooijschuur et al., 2023). China, India, Japan, the United States, and the European Union are the top emitters, according to this methodological study. The downscaling methodology of emissions at the regional level is the primary contribution mentioned. Accordingly, several studies have conducted various investigations into the origins and consequences of gas emissions by analyzing various contributing elements.

Guliyev (2023) assesses the factors that influence sustainable development in European nations that prioritize consumption through a model specification based on exploratory variables identified by the BMA model. The results show a significant cointegration between life expectancy, energy consumption, and biocapacity on environmental degradation. Using a novel moments quantile regression model that takes into account random effects variability, Chien et al. (2023) investigate the relationship between carbon emissions in G-7 member countries and economic development, resource utilization, and foreign direct investment (FDI). They find that while FDI has a positive impact on carbon emissions, this impact is insufficient to support the pollutant haven theory in terms of lowering emissions. Kızılgöl et al. (2022) conducted a study on OECD countries and found a unidirectional causal relationship between ecological footprint, urbanization, renewable energy consumption, and foreign direct investment. Shobande et al. (2024) investigate environmental quality in OECD countries and advise that there is a considerable amount of heterogeneity in the covariates on the conditional distribution of environmental quality and its driven factors. Another study using the Environmental Kuznets Curve (EKC) framework for a subset of highly cross-correlated MENA countries examines the relationship between economic growth, globalization, population density, energy consumption, trade openness, and carbon dioxide (CO2) emissions. It finds that while globalization increases environmental degradation, energy use significantly and negatively contributes to environmental quality (Kostakis et al., 2023).

Because of their high rates of urbanization, strong dependence on conventional inventions, and substantial use of fossil fuel resources, the ASEAN-4 countries—Indonesia, Malaysia, the Philippines, and Thailand—are seeing diminishing biocapacity and growing ecological footprints. Urbanization and ecological footprints do not show an inverted U-shape curve in the short or long term, according to the results of an auto regressive distributed leg test (Salman et al., 2022).

Hakkak et al.'s (2023) study examines how Russia's use of nuclear and renewable energy affects the environment. It takes a novel approach by focusing on two key factors: ecological footprint and load capacity factor. The results show that renewable energy has both immediate and long-term environmental benefits.

The study conducted by Hoa et al. in 2023 sought to ascertain and comprehend the connection between Vietnam's innovation, use of renewable energy, foreign direct investment inflows, economic development, and CO2 emissions. To tackle the study's issues, the authors employ the panel data approach and unconstrained fixed effects. The findings show that innovation has a favorable impact on Vietnam's environmental degradation. In Vietnam, however, the use of renewable energy has a detrimental impact on environmental contamination. Environmental pollution is also significantly reduced by economic expansion and foreign direct investment inflows. Using data from the World Development Indicators (WDI) from 1972 to 2021, Voumik et al. (2023) examined the relationships between Australia's economic growth, FDI, trade openness, urbanization, and energy consumption. They supported investment strategies and energy consumption policies aimed at changing the country's paradigm from relying primarily on fossil fuels to renewable energy sources. According to Alola & Rahko (2024), emission reductions in small open economies—like the Nordic countries—rely on both local technical advancement and international technology spillovers. The study conducted by Aderemi et al. (2023) found that FDI inflows only had a long-term impact on reducing poverty in the BRICS nations. First, there was a negative and substantial short-term link between FDI inflows and human development. Energy depletion, green growth, technical cooperation awards, and labor force participation all have an influence on CO2 emissions in Pakistan from 1990 to 2020, according to Lin & Ullah's (2024) analysis. New dynamic ARDL approaches and the STIRPAT framework were employed in this study. According to the results, energy depletion eventually contaminates the ecosystem. On the other hand, green growth is eventually lowering environmental pollution.

Over the past forty years, the global economy has been affected by the rapid internationalization of businesses and the fragmentation of global production. This tendency has contributed to the growth of global economic integration by quickening the process by which markets throughout the world have grown interdependent. The last United Nations Climate Change Conference (COP28) established the framework for a rapid, fair, and just transition supported by significant emissions reductions and increased funding, signaling the "beginning of the end" of the fossil fuel age. According to scientific research, global greenhouse gas emissions should be reduced by 43% by 2030 in order to restrict global warming to 1.5°C. A global consensus on adaptation targets and the need for funding, technology, and capacity-building support to meet them is reflected in the Global Goal on Adaptation, which was identified as a reflection of the Paris Agreement goals and a reflection of the fact that countries are not meeting them, including here

large region and small region like WBs. To the best of our knowledge there is no any study taking into consideration analyzing the Western Balkan region as a group of countries planning to adopt environmental strategies in parallel. Based on this gap, this study aims to analyze the extended STRIPAT model in WBs countries using the GMM model for analysis. The novel of this study consists also in the fact that among the variables affecting carbon emission are listed also carbon emission of the previous year and natural resources rent of the previous year. The ability of countries to adopt and execute ecologically sustainable policies and practices is inextricably tied to how they handle the money they get from their natural resources. If handled successfully and economically, the use of natural resource rents can be a feasible source of finance for renewable energy projects, sustainable development programs, and other environmental preservation activities, and this may serve as a good indicator for the transition towards circular economy in Western Balkan region. The study is structured as follow: the first part is about the concept introduction where research gap, study approach and the novelty is shown; second part is about literature review where economic model is presented and hypothesis development are presented; the third part is about the methodology and econometric model used for analysis; the fourth part is about the results and finding; at the final part are confronted some discussions and derived some conclusions.

II. MATERIALS AND METHOD

2.1.Theoretical Model

Numerous articles, dozens of esteemed symposia, and an increasing number of books have addressed the interconnected challenges in the environment, population, and resources. Throughout this abundance of information, a number of dubious claims have been made more frequently. Motivated by the biologist Commoner findings regarding the damages caused to environment by faulty technologies Ehrlich and Holdren (1971) created the IPAT equation by establishing the importance of population (P), affluence (A), technology (T), and other socioeconomic variables:

*Impact=Population*Affluence*Technology* *(1)*

Despite its great contribution, IPAT model showed certain limitations it had in its construct due to its accounting nature. Dietz and Rosa (1994) raised questions on how to gain a deeper comprehension of the connections among environmental, resource, and population impacts and what steps can be taken to create structured research initiatives to investigate these connections? With an emphasis on anthropogenic environmental change, the formulated answer was STIRPAT (Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology) which further allowed for any empirical test. The conceptualized model then is:

$$\boldsymbol{I}_{i,t} = \alpha \boldsymbol{P}^{\beta 1}{}_{i,t}\ \boldsymbol{A}^{\beta 2}{}_{i,t}\ \boldsymbol{T}^{\beta 3}{}_{i,t}\ \boldsymbol{e}_{i,t} \qquad \textbf{(2)}$$

where respectively, I- environmental impact, P- population size, A- affluence, T-technology while e is the term of error. Regarding, β1, β2, β3, shows the elasticities of the respective exponent. When entering into modeling the model takes the logarithmic form of the data and is changed as follow:

$$ln\, \boldsymbol{I}_{i,t} = \alpha + \beta 1\ ln\, \boldsymbol{P}_{i,t} + \beta 2\ ln\, \boldsymbol{A}_{i,t} + \beta 3\, ln\, \boldsymbol{T}_{i,t} + \boldsymbol{e}_{i,t} \qquad \textbf{(3)}$$

The original STIRPAT model was criticized for ignoring other important aspects like institutional quality, socioeconomic conditions, and regional disparities in favor of a restricted focus on population, income, and technology (Nosheen et al., 2020; Velez-Henao et al.,2019). Considering Malthusian view as suggested by Pham et al. (2020) this paper extends the original model by incorporating some additional factors like renewable energy, trade openness, natural resources rent and FDI, as they have large potential to influence the environmental quality and employes STIRPAT framework as it is recognized for its flexibility in addressing the statistically significant relationship between the economic variables and environmental quality. As Tan at al. (2016) suggest that economic growth requires sufficient energy consumption, numerous studies have incorporated energy consumption among the drivers of CO2 emissions (Majeed et al.,2020; Thio et al., 2022). Inclusion of renewable energy in such studies is very important as it plays important roles in many aspects of economic activities, such as manufacturing, consumption, transportation, and moreover, energy is essential to all stakeholders involved sustainable development (Zhong et al., 2020). Other studies also (Abas et al., 2017; Chen et al., 2019; Khan et al., 2019) suggest that, due to use of non-renewable source of energy (mainly fossil fuels) deteriorate the environmental quality. While, Kirikkaleli & Adebayo (2021), and Qin et al. (2021) evidence how the use on renewable energy recuse considerably CO2 emission. Based on those different combinations this study develops the following relationships for null hypothesis:

H_0: Urban population, economic growth, technological progress, foreign direct investment, renewable energy, trade openness, natural resources rent, natural resources rent of the previous year, gas emissions of the previous year Significantly influence Western Balban's Circular economy transition.

2.2.Specific Hypothesis Development

The model might oversimplify the intricate relationships that influence environmental issues if these factors are ignored. Based on this, different authors suggest different other factors to be included into analysis. When climate and energy are taken into account as production variables, population can enhance environmental quality and the efficiency of energy resources. The reason for this is that accumulation is often characterized by the concentration of several plentiful resources. By utilizing these priceless resources in conjunction with knowledge, regional innovation processes may be promoted, improving the environment. The significance of population in reducing emissions was primarily emphasized in earlier studies. One significant factor influencing consumption and energy usage is urban population or

urbanization (Ma et al., 2017). Greater energy consumption is necessary to support everyday living and economic growth as urbanization rates rise. In light of Huang et al. (2021), the urban population to total population ratio is therefore incorporated as a better proxy to analyze the effect of population on gas emission and environmental degradation. In their study, Lin et al. (2017) extended the model by examining the level of urban employment, employed urbanization, industrialization, and labor productivity and they found that economic development has little bearing on environmental degradation, while population, affluence, and energy intensity are key factors in emissions. Nosheen et al. (2020) analysis the effect of urbanization on CO2 emission in Asian countries. As such the first hypothesis is:

H1: *Urbanization significantly effects the environmental degradation*

Countries are paying more attention to environmental issues as a result of the difficulties in accomplishing sustainable development goals. Existing research has long discussed and investigated the relationship between economic expansion and CO2 emissions. According to Grossman & Krueger (1995), CO2 emissions rise during the early stages of fast economic expansion, and as income levels rise, the natural environment tends to improve significantly. According to Kirikkaleli (2020), there are four pertinent theories about economic growth and emissions in the existing literature. According to the first argument, economic expansion is the cause of CO2 emissions. The second postulate makes the assumption that shifts in economic development are caused by CO2 emissions. A correlation between the two is held by the third perspective, while a neutral assumption between the two is held by the fourth, as such the hypothesis raised is:

H2: *Economic growth significantly effects the environmental degradation*

Technological progress, especially green technologies are those that address environmental concerns or positively impact the ecological environment. Notably, the latter primarily aims to build economic resilience (Xu et al., 2021), which has drawn a lot of interest from academics. Due to the fact that technology's emission mitigation impact varies greatly among countries, the corresponding effects of technology on CO2 emissions in existing works do not consistently concur. In particular, GI may significantly reduce CO2 emissions in developed nations. While Weina et al. (2016) showed that, in 95 Italian provinces between 1990 and 2010, technology has not yet had a discernible beneficial effect on environmental performance. Wurlod and Noailly (2018) examines how energy intensity has changed as a result of technological innovation in 14 industrial sectors across 17 OECD nations between 1975 and 2005, by building a portfolio of green patents for every industrial sector and estimate a translog cost function with other elements like input substitution and autonomous technological change, the majority of industries have seen a decrease in energy intensity, which we attribute to technological innovation. As highlighted by Du et al. (2020), technology innovation adoption and application also contribute to a reduction in green energy

prices, which in turn increases the percentage of green energy consumption. Additionally, by gradually removing the allocation of low-yielding and high-polluting sectors, technological progress helps to advance industrial structure. Based on this ground the next hypothesis is:

H3: *Technological innovation significantly effects the environmental degradation*

Foreign direct investment (FDI), a significant element that has a mixed influence on environmental quality is among factors widely suggested to be included on the analysis of the environmental quality. According to some studies, foreign direct investment (FDI) can enhance environmental quality by introducing contemporary technology to underdeveloped nations. Furthermore, FDI encourages local businesses to boost their investments in energy-efficient technologies while also allowing them to update and learn from their technology. But according to some studies, FDI may promote interregional cooperation and result in businesses moving to areas with laxer environmental regulations. Investigations conducted in different regions produced different results. Depending on the level of development of the nation, FDI revenue and inflows could have a variety of consequences on environmental sustainability (Saqib et al., 2023). To further clarify this relationship we raise the following hypothesis:

H4: *FDI significantly effects the environmental degradation*

The region's use of renewable energy has already proved itself as a viable alternative to lessen its reliance on fossil fuels where, offshore regions have a wealth of wind energy sources, while onshore places have easy access to solar energy (Gielen et al., 2019). Different countries have seen a resurgence of interest in renewable energy due to the rising need for desalinated water, power production, and recycling programs, as well as the affordability of solar and wind energy (Weber, 2013). Additionally, the possibility for exporting energy to the European grid is made possible by renewable energy, which provides a feasible way to repurpose the significant financial surpluses produced by oil extraction (Davies et al., 2015). The use of fossil fuels raises CO2, which is a major factor in environmental deterioration (Chen at al., 2019). In contrast, the use of renewable resources has increased dramatically in the modern era. Existing research indicates that using renewable energy sources is essential for lowering CO2 emissions. Their natural production and the fact that their use doesn't increase CO2 emissions are the reasons for this decrease (Qin et al., 2021). Additionally, these earlier studies have empirically shown a reciprocal causal relationship between environmental degradation, economic growth, and the usage of these energy resources (Yue et al., 2019). Based on this body of literature the hypothesis raised is:

H5: *Renewable usage significantly effects the environmental degradation*

According to Yang et al. (2018), who expanded the model by include trade openness, urbanization, and temperature, China's economic growth, urbanization, and trade are the main factors driving its CO2

emissions. Along with industrialization, the share of tertiary industries, trade openness was added by Wang et al. (2017) looking at the impact of fixed assets investment and results varied depending on the stage of development. Salim et al. (2017) aims to examine how pollutant emissions and energy intensity are affected in a few Asian developing nations between 1980 and 2010 by urbanization, trade openness, both renewable and non-renewable energy use, and economic growth. The findings suggested that more flexible trading regimes, careful and planned urbanization initiatives, and the replacement of non-renewable energy use with renewable energy would be good choices for the long-term development of these developing Asian countries. For the panel of recently industrialized nations, Hossain, M. S. (2011) empirically investigates the dynamic causal relationships between carbon dioxide emissions, energy consumption, economic growth, trade openness, and urbanization. The findings support the idea that there is a unidirectional short-term causal relationship between carbon dioxide emissions and economic growth and trade openness, but no evidence of a long-term causal relationship. Padhan et al. (2023) investigate the effect of economic globalization on environmental quality proxying this by using trade openness, and we are using the same approach for the sixth hypothesis:

H6: *Trade openness significantly effects the environmental degradation*

There are significant environmental ramifications to the interaction between natural resources and the ecological footprint. Despite its importance, this field has not received enough attention from academics, and the findings are unclear. Furthermore, these studies don't openly and explicitly discuss how technology innovation shapes the ecological footprint (Ahmad et al., 2020). Economic expansion increases the ecological footprint that leads to environmental deterioration, according to data from 1971 to 2014 using the autoregressive distributive lag (ARDL) econometric technique with a structural break. Furthermore, natural resources rent leads to environmental deterioration and expands the ecological footprint is the main conclusion of Hassan at al. (2019). According to the Granger causality test results, there is a bidirectional relationship between ecological footprint and natural resources and urbanization. The results are resistant to multiple estimating strategies as reported by Dada et al. (2022). Based on this the other hypothesis is:

H7: *Natural resources rent significantly effects the environmental degradation*

The term "natural resources rent" describes the income or gains made from the exploitation of natural resources, such as arable land, minerals, oil, gas, and forests. The ability of countries to adopt and execute ecologically sustainable policies and practices is inextricably tied to how they handle the money they get from their natural resources. If handled successfully and economically, the use of natural resource rents can be a feasible source of finance for renewable energy projects, sustainable development programs, and other environmental preservation activities. By lowering the environmental costs related to resource extraction, this can support long-term environmental sustainability and possible sustainable shift toward circular

economy transition. Conversely, poor management or an over-reliance on resource rents without effective environmental protections can lead to environmental deterioration and an increase in carbon emissions. In here exist also the novelty of this work that among the variables affecting carbon emissions are listed also *Natural resources rent of the previous year and* carbon emissions of the previous year as significant variables affecting the current carbon emissions. This is tested with the following hypothesizes:

H8: *Natural resources rent of previous year significantly effects the environmental degradation*

H9: *Carbon emissions of previous year, significantly effect the environmental degradation*

2.3.Methodology

2.3.1. Data Description and Econometric Model

The study is based on empirical research that was done using panel data from 6 WB member countries, respectively, Albania, North Macedonia, Kosovo, Montenegro, Bosnia and Herzegovina and Serbia. The study period examined covers the years 2013 to 2023 because different countries had different missing data for different variables. This paper's primary objective is to investigate in detail the relationships between CO2 emissions and other factors that have been suggested in a multivariate STIRPAT framework, as those countries are in preparatory phase to start the implementation of CE model. ***The carbon dioxide emission (CO2) is the dependent variable (CO2) in the econometric model and it is used as a proxy to measure the circular economy transition***. In order to interpret each variable's parameter, estimate as an elasticity of CO2 emission over the long term, all of the variables used in this study were log-transformed.

Table 1: Summary of Variables

Indicator	**Variable**	**Description**
CO_2	***Carbon Emissions***	***Dependent Variable***
Urban Population	Urb_pop	Urban population growth (annual%), it measures the annual growth rate of population movement from rural areas to urban cities.
Economic Growth	GDP Growth	Economic progress gauged by gross domestic product per capita
Technological Progress	TECH Progress	Technological progress gauged by gross domestic expenditure on R&D (% of GDP)
Foreign Direct Investment	FDI	The ratio of foreign direct investment in actual use to the fixed-asset investments
Renewable Energy	RENEW	Renewable energy consumption (% of total final energy consumption)
Trade Openness	TRADE Openness	Ratio of exports plus imports to GDP.
Natural Resource Rent	NET_Resource_Rent	Total natural resources rents (% of GDP)

Natural Resource Rent previous year	NET_Resource_Rent (-1)	Total natural resources rents (% of GDP) of previous year
CO_2 pervious year	CO_2 (-1)	Carbon emission of previous year

This study uses Generalized Method of Moments (GMM), which is generally used for panel data and as Arellano and Bond (1991) highlights it is a good estimator and perfectly handles the problem of endogeneity, unobserved heterogeneity and dynamic relationships of panel data. Latter on Blundell and Bond (1998) contribute to the model by adding the moment conditions used in level and emphasize the fact that it is good to measure macroeconomic data, especially in case when dependent variable is persistent. Lastly, Roodman (2009) adds the practical issues related to instrument proliferation and model diagnostics.

2.3.2. Model Specification

The model specified to estimate environmental impact is as follows:

I = *f* (Urb_pop, GDP_Growth, TECH_Progress, FDI, RENEW, TRADE_Opennes, NET_Resource_Rent, NET_Resource_Rent (-1), CO2 (-1)) **(4)**

The estimates for model estimation:

$$ln\boldsymbol{I}_{jit} = \alpha_j + \beta_1 ln\mathbf{Urb_pop}_{jit} + \beta_2 ln\mathbf{GDP_Growth}_{jit} + \beta_3 ln\mathbf{TECH_Progress}_{jit} + \beta_4 ln\mathbf{FDI}_{jit} + \beta_5 ln\mathbf{RENEW}_{jit} + \beta_6 ln\mathbf{TRADE_Opennes}_{jit} + \beta_7 ln\mathbf{NET_Resource_Rent}_{jit} + \beta_8 ln\mathbf{NET_Resource_Rent\ (-1)}_{jit} + \beta_9 ln\mathbf{CO_2\ (-1)}_{jit} + \mu_{ji} + e_{jit} \quad \mathbf{(5)}$$

Where: α is the constant term, $\beta_{1\ldots\ldots} \beta_9$ are the coefficients of the lagged variable which are listed in chronological order as, urban population, economic growth, technological progress, foreign direct investment, renewable energy, trade openness, natural resources rent, natural resources rent of the previous year, gas emissions of the previous year. Additionally, μ_{ji} are the residual and $e_{jit,}$ are the estimated errors of the model.

III. RESULTS

Table 2: Diagnostics Test for Stationarity/ Panel Unit Root Test/ Economic Growth/ GMM

Variables		**ADF- Test Statistics**	**PP- Test Statistics**
FDI	Level	0.0000***	0.0000***
	1st difference	0.0000***	0.0000***
GDP_GROWTH	Level	0.0000***	0.0000***
	1st difference	0.0000***	0.0001***
T_PROGRESS	Level	0.0000***	0.0000***
	1st difference	0.0000***	0.0000***
RENEWABLE_ENERGY	Level	0.8353	0.1082
	1st difference	0.0001***	0.0001***

TRADE_OPENNESS	Level	0.0228**	0.0445**
	1st difference	0.0000***	0.0000***
NATURAL_RESOURCE_RENT	Level	0.0000***	0.0000***
	1st difference	0.0000***	0.0000***
URBAN_POPULATION	Level	0.4036	0.3857
	1st difference	0.0000***	0.0000***
CO2_EMISSION	Level	0.8123	0.8414
	1st difference	0.0001***	0.0001***

*Note: *,**,*** denote significance level at 10%, 5% and 1% respectively.*

FDI, as a macroeconomic indicator, often shows a time trend over long periods and may become stationary after first differentiation (Harris, 1995). This is an expected result for a variable that is influenced by different economic and political factors over different periods (Granger & Newbold, 1974). Economic growth often follows a trend pattern and is one of the most analyzed variables in the econometric literature. Studies suggest that macroeconomic variables such as GDP usually become stationary after first differentiation due to the cyclical effects of economic development (Phillips & Perron, 1988). Technological progress is driven by rapid and complex changes, which often cause this variable to follow a cyclical pattern. The literature has shown that technology variables, such as investment in research and development, often become stationary after the first differentiation (Friedman, 2006). Renewable energy can have different trends over different periods, due to policy and investment impacts. This is a phenomenon that has been examined in the literature, where variables become stationary after first differencing due to past periods with changes in energy production and consumption (Stern, 2004). Trade openness variables often become stationary after first differencing, as large changes occur in short periods of time due to trade liberalization and changes in trade barriers (Dollar, 2001). Natural resource income is often stable, as it is closely linked to natural resources and often follows a stationary pattern. The literature has shown that variables related to natural resources are less sensitive to long-term trends and often become stationary at the original level (Barbier, 2011). Urban population growth is a process that often goes through slow periods and can become stationary after the first differentiation due to the influences of political and economic factors (Lucas, 2004). CO2 emissions are often linked to industrial cycles and economic development. Emissions are influenced by changes in environmental policies and may become stationary after the first differentiation, as they follow distinct trends and periods due to changes in industry and technology (Stern, 2007). As a conclusion, all the variables are stationary at the first difference.

Table 3: Diagnostics Test/ Zero Conditional Mean

	RESID01
Mean	6.02E-17
Median	-0.057074
Maximum	0.752865
Minimum	-0.73437
Std. Dev.	0.307112
Skewness	0.27384
Kurtosis	3.100375
Observations	**59**

This table presents the residual statistics (RESID01) from the modeling, which are important for estimating the Zero Conditional Mean. The residuals should have a mean close to zero and follow a normal distribution to ensure that the modeling has gone well and there are no potential problems. The mean of the residuals is very close to zero (due to the small scale of the value), which is a good indication for the model, since according to the zero mean condition, the residuals should not have a mean different from zero. The median is close to zero, indicating that the distribution of the residuals is balanced, however, a small difference may be present. This may mean some small variations around the mean, which is normal for economic data (Wooldridge, 2015). The maximum value indicates a large variation from the mean. This may be the result of extreme data, but is generally not a problem if these values are accepted in your model. Further analysis may be required to assess the impact of these extreme values (Asteriou & Hall, 2011). Also, the minimum indicates that the residuals may contain significant negative values, but in general, this is not a concern if the distribution is relatively balanced and does not have unusually large extreme values. The skewness is relatively small and positive, indicating a slightly skewed distribution with a high proportion of positive values. However, the screening value is close to zero, indicating that the distribution is close to symmetry, a desirable result for residuals in econometric models (Maddala, 2001). A kurtosis close to 3 indicates a distribution close to the normal distribution (i.e., a “normal” distribution), which is a desirable outcome for the model residuals. The residual results are consistent with expectations for a good econometric model.

Table 4: Diagnostics Test for Zero Conditional Mean/ Correlation Matrix

	RESID01
FDI	1.53E-16
GDP_GROWTH	-1.72E-16
REN1	-7.03E-17
T_PROGRESS	-6.48E-17
URBAN_POPULATION	3.26E-16
TRADE_OPENESS	1.43E-16
NATURAL_RESOURCE_RENT	1.77E-16
RESID01	1.000000

The results of the correlation matrix suggest that there is no strong relationship between the residuals and the model variables, as all correlations are very small and close to zero. This is a good indication that the residuals are independent of the model variables, a key condition for satisfying the zero mean of the model terms. This supports the hypothesis that the modeling is robust and not affected by the unintentionally included variables. As expected, the residuals are perfectly correlated with themselves. This is a natural result in any econometric model, since residuals are defined as the difference between the predicted value and the true value (Maddala, 2001).

Table 5: Diagnostics Test/ Heteroscedasticity

Dependent Variable: RESID01^2				
Method: Least Squares				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
FDI	-0.003279	0.00591	-0.554904	0.5815
GDP_GROWTH	-0.004756	0.005773	-0.823895	0.414
REN1	-0.001451	0.003714	-0.390766	0.6977
T_PROGRESS	6.30E-05	0.00021	0.299312	0.766
URBAN_POPULATION	-0.002767	0.003957	-0.699242	0.4877
TRADE_OPENNESS	0.001238	0.00146	0.847958	0.4006
CO2_EMISSION1(-1)	-0.038589	0.046219	-0.834917	0.4078
NATURAL_RESOURCE_RENT	0.008313	0.024454	0.33996	0.7353
NATURAL_RESOURCE_RENT(-1)	-0.005119	0.022352	-0.228998	0.8198
C	0.156597	0.226794	0.690484	0.4931

Prob(F-statistic)	**0.951347**

This table presents the results of a heteroscedasticity test, conducted using the previous regression to assess the influence of different variables on the variance of the squared residuals (RESID01^2). Heteroscedasticity occurs when the variance of the residuals varies in an indeterminate manner across data samples, and this can lead to inaccurate results in regression models. This table provides statistics for each of the variables and displays the values of the coefficients, standard errors, t-statistics, and probabilities to test the significance of each variable. In summary, all variables included in this test do not have a significant impact on the heteroscedasticity of the residuals, as the probabilities are high for all coefficients. This is a desirable result, as it indicates that the data modeling does not have problems with heteroscedasticity and can provide accurate and reliable predictions.

Table 6: Diagnostics Test/ LM Test

Dependent Variable: RESID01

Method: Least Squares

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
FDI	0.007013	0.021417	0.32744	0.7459
GDP_GROWTH	-0.001271	0.016764	-0.0758	0.9401
REN1	-0.000168	0.011243	-0.014923	0.9882
T_PROGRESS	0.000897	0.000752	1.192641	0.2434
URBAN_POPULATION	-0.000609	0.013847	-0.043984	0.9652
TRADE_OPENNESS	-0.002387	0.004871	-0.490045	0.6281
CO2_EMISSION1(-1)	0.08518	0.344383	0.24734	0.8065
NATURAL_RESOURCE_RENT	-0.024729	0.070667	-0.349941	0.7291
NATURAL_RESOURCE_RENT(-1)	0.000599	0.062648	0.009568	0.9924
RESID01(-1)	-0.049543	0.396067	-0.125088	0.9014
RESID01(-2)	-0.025297	0.244042	-0.103659	0.9182
C	0.115193	0.744518	0.154721	0.8782

This table presents the results of an LM (Lagrange Multiplier) test that aims to assess the presence of autocorrelation of residuals in the model. The LM test is a test to verify whether the residuals from a regression have an autocorrelated structure, which can affect the accuracy of the model parameter estimates. This test can help identify problems with model specification that can lead to inaccurate predictions. The t-statistic value of FDI is 0.327 and the probability is 0.7459, which is very high, indicating that the foreign

direct investment variable does not have a significant impact on the autocorrelation of the residuals. This suggests that FDI is not an influential factor for the autocorrelation in the model (Wooldridge, 2015). The value of the t-statistic for GDP growth is -0.076 and the probability is 0.9401, which suggests that economic growth does not have a significant impact on the autocorrelation of the residuals. This result supports the idea that the economic growth variable is not an influential factor in the autocorrelation of the residuals (Gujarati, 2009). The t-statistic value natural resources rent is -0.015 and the probability is 0.9882, indicating that natural resources and income from them do not have a significant impact on the autocorrelation of the residuals. This result supports the idea that this variable does not have an effect on the autocorrelation of the residuals (Asteriou & Hall, 2011). This result is an indication that the technological progress variable is not an influential factor for the autocorrelation in the model (Brooks, 2008). In summary, none of the variables included in this test have a significant impact on the autocorrelation of the residuals, as the probabilities are high for all coefficients. This is a desirable result, as it indicates that the data modeling does not have problems with the autocorrelation of the residuals, which means that the models used are accurate and do not require adjustments.

IV. DISCUSSION

Table 7: Correlation Matrix/Multicollinearity

	FDI	GDP	TPR	RENG	TOP	NRR	UPOP
FDI	1						
GDP	0.1130533	1					
TPR	-0.065301	0.0514507	1				
RENG	0.4710791	-0.044604	-0.433024	1			
TOP	0.2186023	0.0676594	-0.185507	0.052705	1		
NRR	0.0031697	0.2270456	0.2402736	-0.22525	-0.167666	1	
UPOP	0.5727378	-0.155532	-0.134035	0.5407694	0.3588299	-0.304896	1

The correlation matrix represents the linear relationships between the different variables used in your model. Such an analysis is important to assess the possibility of multicollinearity, which occurs when two or more independent variables are closely related to each other, affecting the accuracy of the model estimates. High correlation values may indicate the presence of multicollinearity, which can lead to problems in interpreting the regression results, as well as in the calculations of coefficients. The correlation between FDI and GDP is low and positive, suggesting that there is no strong relationship between these two variables. This is a desirable result, as it does not raise concerns about multicollinearity between these two variables (Wooldridge, 2015). The correlation between FDI and TPR is negative and very small, indicating that there is no significant relationship between these two variables. This is an indication that

multicollinearity is not a major concern for this pair of variables (Gujarati, 2009). The correlation between FDI and renewable energy is moderate and positive. This indicates a link between these two variables, but it is not strong enough to create significant multicollinearity problems (Brooks, 2008). The correlation between FDI and trade openness is positive and weak, indicating that there is no close relationship between these two variables. This result indicates that multicollinearity is not a problem for this pair (Maddala, 2001). The correlation between FDI and natural resource income is close to zero, suggesting that there is no relationship between these two variables. This is favorable, as there is no concern for multicollinearity (Asteriou & Hall, 2011). The correlation between FDI and urban population is relatively high and positive, suggesting a link between these two variables. However, this link is not strong enough to raise serious concerns about multicollinearity (Wooldridge, 2015). The correlation between GDP and TPR is very small and positive, indicating that there is no significant relationship between these two variables. This result suggests that there is no concern about multicollinearity between these variables (Gujarati, 2009). The correlation between GDP and renewable energy is negative and very small, suggesting that there is no obvious relationship between these two variables. This result is appropriate, as there is no risk of multicollinearity (Brooks, 2008). The correlation between GDP and market openness is small and positive, indicating that there is no close relationship between these two variables, and consequently, there are no concerns about multicollinearity (Maddala, 2001). The correlation between GDP and revenue from natural resources is moderate and positive, indicating a slight relationship between these two variables. The results of the correlation matrix do not indicate any strong multicollinearity among the variables used. The highest correlations are between FDI and UPOP (0.573) and between TPR and RENG (-0.433), but none of these correlations is high enough to raise serious concerns about multicollinearity. The data suggest that regression models can continue to be used without risking inaccurate estimates due to multicollinearity.

Table 8: Model of CE transitions and Robustness

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.	
FDI	0.034349	0.011389	3.015878	0.0041	***
GDP_GROWTH	0.023836	0.011123	2.143023	0.0371	**
REN1	-0.015021	0.008274	-1.8154	0.0756	*
T_PROGRESS	-0.000812	0.000368	-2.209392	0.0319	**
URBAN_POPULATION	-0.021106	0.008192	-2.576442	0.013	**
TRADE_OPENNESS	0.00279	0.002113	1.32016	0.1929	
CO2_EMISSION1(-1)	-0.368621	0.090908	-4.054878	0.0002	***
NATURAL_RESOURCE_RENT	0.050098	0.057624	0.869396	0.3889	
NATURAL_RESOURCE_RENT(-1)	-0.06072	0.028172	-2.155308	0.0361	**

C	0.795316	0.452139	1.759008	0.0848	
R-squared	**0.457171**	Mean dependent var		0.057988	
Adjusted R-squared	0.357468	S.D. dependent var		0.416837	
S.E. of regression	0.334128	Sum squared resid		5.470441	
Durbin-Watson stat	1.687294	**J-statistic**		**1.01E-43**	***
Instrument rank	10				

FDI positively and significantly affects the dependent variable; the increase in FDI contributes to the increase of CO2 emission meaning that it further deteriorates the environmental conditions. GDP growth has a positive and moderate impact in emissions also. The effect or renewable energy is negative and of partial significance which means that increase in renewable energy usage negatively effect the CO2 emissions resulting in environmental improvements. It may suggest high initial costs or low efficiency in the early stages of renewable energy investments. Technological progress has negative and significant coefficient → indicates that technological progress does not automatically guarantee environmental improvements; it depends on the nature of the technology used. Urbanization is often associated with increased pollution, energy demand, and resource consumption but in this case it has negative and significant impact. Openness to trade had no clear effect on the independent variable in this model and it is not statistically significant.

CO2 emissions of the previous period are significant. The delayed effect of previous emissions is negative and very significant and it indicates the existence of negative inertia or greater awareness after periods of high pollution. Natural resource rent is not significant; current natural resource use has no clear impact on this model while the lagged effect is negative and significant which supports the "resource curse" hypothesis, where overreliance on resources leads to poorer long-term outcomes. Foreign direct investment and economic growth have positive and significant effects, highlighting the need for sustainable policies to attract foreign capital and accelerate development. Urbanization and natural resources, especially in the long term, have a negative impact on sustainable development indicators or pollution. This requires careful urban policy and resource management. Past emissions significantly affect the future, demonstrating the importance of long-term environmental policies. Technology must be oriented towards greenness and efficiency, as mere technological progress does not guarantee improvements without clear strategies.

V. CONCLUSION

FDI is among the largest contributor for the Circular Economy transitions, as through the investment initially, it increases the capacity and capability of developing countries, it may be a source of transfer for green technology, improvement of infrastructure, new job opportunities and increase the overall productivity (Borensztein et al., 1998). Moreover, FDI may be a reason for emerging sectors and if properly

governed those sectors may contribute to the achievement of sustainability. The results showed that GDP growth positively affected CO2 emission which is in line with Romer (1990) results. Considering the fact that most of the countries in Western Balkan region are transitional economies, this result is also supported by the Environmental Kuznets Curve hypothesis which highlight the fact that turning the initial phases GDP growth increase environmental degradation while after some development it is among the factors that contribute to the environmental improvement (Grossman and Krueger, 1995). In the same line negative impact of the renewable energy on CO2 emission is related with the transitional phase and adaptation phase those countries are undergoing. The clear effect is not evident in those countries as the renewable energy incorporate some initial costs, needs the proper infrastructure to give its impact and this is explained by Marques and Fuinhas (2012) which explain it by the need of proper policy design and good governance, but despite this renewable energy even at this phase negatively impacted the emissions, which derives us to the conclusion that the shift towards circular transition. Intuitively, technological progress negatively impacts the CO2 emission, as it reduces some inefficiency during different process, increase the infrastructure and neutralize environmental degradation. In this regard we would suggest the green orientation of technological innovation on those studies and adequate regulations as stated by Popp (2006) to better monitor the process. Urbanization generally is linked with increased pollution, resource depletion, increased congestions and difficulty in management and governance, but the main explanation is that in essence the environmental degradation caused by urbanization has the real cause the poor planning and informal organization (Henderson). Counterintuitively, in WB countries urbanization has a negative impact on emission, but we can not say that this is a result of a good governance and adequate plaining without any further analysis. Trade openness as expected contributes to increased pollution.

A very valuable result of the study is also the fact that the effect of previous years CO2 emission in current emission is negative. In literature this is related with the increased awareness of both the institutions and the society, and the adjustment in the behavior (Stern, 2004). In our case this can be explained also by the fact that, previously we sow that technological progress has a positive effect in pollution reduction and at this point the change of the effect from year to year may be explained also by the innovation and technology improvements. Lastly, this is also explained by the fact that natural resource rent from year to year change the impact on CO2 emission. At this stage there no enough evidence how natural resources are used, but this is explained by “resource course” hypothesis which highlights that economies which have high exploitation rate of natural resource are not efficient enough, and may have weak institutional development. Additionally, we see the positive effect on environmental improvement of the last years resources which may derive us to the idea that natural resources may have given the positive impact on sustainable and productive sectors of the economy.

REFERENCES

[1] Abas, N., Kalair, A., Khan, N., & Kalair, A. R. (2017). Review of GHG emissions in Pakistan compared to SAARC countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *80*, 990-1016.

[2] Aderemi, T. A., Opele, A. M., Olanipekun, W. D., & Al-Faryan, M. A. S. (2023). A panel analysis of FDI inflows and poverty reduction in BRICS countries: An implication for the sustainable development goal one. *Transnational Corporations Review*, *15*(4), 35-41.

[3] Ahmad, M., Jiang, P., Majeed, A., Umar, M., Khan, Z., & Muhammad, S. (2020). The dynamic impact of natural resources, technological innovations and economic growth on ecological footprint: an advanced panel data estimation. *Resources Policy*, *69*, 101817.

[4] Alola, A. A., & Rahko, J. (2024). The effects of environmental innovations and international technology spillovers on industrial and energy sector emissions–Evidence from small open economies. *Technological Forecasting and Social Change*, *198*, 123024.

[5] Arellano, M., & Bond, S. (1991). Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. Review of Economic Studies, 58(2), 277–297.

[6] Aslam, B., Hu, J., Majeed, M. T., Andlib, Z., & Ullah, S. (2021). Asymmetric macroeconomic determinants of CO 2 emission in China and policy approaches. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*, 41923-41936.

[7] Auty, R. M. (1993). Sustaining Development in Mineral Economies: The Resource Curse Thesis. Routledge.

[8] Blundell, R., & Bond, S. (1998). Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. Journal of Econometrics, 87(1), 115–143.

[9] Borensztein, E., De Gregorio, J., & Lee, J.-W. (1998). *How does foreign direct investment affect economic growth?* Journal of International Economics, 45(1), 115–135. UNCTAD. (2020). *World Investment Report*.

[10] Brooks, C. (2008). Introductory Econometrics for Finance. Cambridge University Press.

[11] Chen, Y., Zhao, J., Lai, Z., Wang, Z., & Xia, H. (2019). Exploring the effects of economic growth, and renewable and non-renewable energy consumption on China's CO2 emissions: Evidence from a regional panel analysis. *Renewable energy*, *140*, 341-353.

[12] Chen, Y., Zhao, J., Lai, Z., Wang, Z., & Xia, H. (2019). Exploring the effects of economic growth, and renewable and non-renewable energy consumption on China's CO2 emissions: Evidence from a regional panel analysis. *Renewable energy*, *140*, 341-353.

[13] Chien, F., Hsu, C. C., Zhang, Y., & Sadiq, M. (2023). Sustainable assessment and analysis of energy consumption impact on carbon emission in G7 economies: Mediating role of foreign direct investment. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *57*, 103111.

[14] Dada, J. T., Adeiza, A., Ismail, N. A., & Marina, A. (2022). Investigating the link between economic growth, financial development, urbanization, natural resources, human capital, trade openness and ecological footprint: evidence from Nigeria. *Journal of bioeconomics*, *24*(2), 153-179.

[15] Davies, M., Hodge, B., Schellekens, G., & Ahmad, S. (2015). Developing renewable energy projects: A guide to achieving success in the Middle East. *Egypt: EverSheds, Shahid Law Firm, Pwc*.

[16] Dietz, T., & Rosa, E. A. (1994). Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology. *Human ecology review*, *1*(2), 277-300.

[17] Du, K., Yu, Y., & Li, J. (2020). Does international trade promote CO2 emission performance? An empirical analysis based on a partially linear functional-coefficient panel data model. *Energy Economics*, *92*, 104983.

[18] Ehrlich, P. R., & Holdren, J. P. (1971). Impact of Population Growth: Complacency concerning this component of man's predicament is unjustified and counterproductive. *Science*, *171*(3977), 1212-1217.

[19] Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., & Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy strategy reviews*, *24*, 38-50.

[20] Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *The quarterly journal of economics*, *110*(2), 353-377.

[21] Gujarati, D. N. (2009). Basic Econometrics (5th ed.). McGraw-Hill.

[22] Guliyev, H. (2023). Determinants of ecological footprint in European countries: Fresh insight from Bayesian model averaging for panel data analysis. *Science of The Total Environment*, 169455.

[23] Hakkak, M., Altintaş, N., & Hakkak, S. (2023). Exploring the relationship between nuclear and renewable energy usage, ecological footprint, and load capacity factor: A study of the Russian Federation testing the EKC and LCC hypothesis. *Renewable Energy Focus*, *46*, 356-366.

[24] Henderson, J. V. (2002). *Urbanization in Developing Countries*. World Bank Research Observer, 17(1), 89–112.

[25] Hoa, P. X., Xuan, V. N., & Thu, N. T. P. (2023). Nexus of innovation, renewable consumption, FDI, growth and CO2 emissions: The case of Vietnam. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, *9*(3), 100100.

[26] Hooijschuur, E., den Elzen, M., & Dafnomilis, I. (2023). ANALYSIS OF PROJECTED GREENHOUSE GAS EMISSION REDUCTION LEVELS BY 2040 FOR MAJOR EMITTING COUNTRIES.

[27] Hossain, M. S. (2011). Panel estimation for CO2 emissions, energy consumption, economic growth, trade openness and urbanization of newly industrialized countries. *Energy policy*, *39*(11), 6991-6999.

[28] Huang, C., Zhang, X., & Liu, K. (2021). Effects of human capital structural evolution on carbon emissions intensity in China: A dual perspective of spatial heterogeneity and nonlinear linkages. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *135*, 110258.
[29] Khan, M. K., Teng, J. Z., Khan, M. I., & Khan, M. O. (2019). Impact of globalization, economic factors and energy consumption on CO2 emissions in Pakistan. *Science of the total environment*, *688*, 424-436.
[30] Kirikkaleli, D. (2020). New insights into an old issue: Exploring the nexus between economic growth and CO2 emissions in China. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(32), 40777-40786.
[31] Kirikkaleli, D., & Adebayo, T. S. (2021). Do public-private partnerships in energy and renewable energy consumption matter for consumption-based carbon dioxide emissions in India?. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(23), 30139-30152.
[32] Kızılgöl, Ö., & Öndes, H. (2022). Factors affecting the ecological footprint: A study on the OECD countries. *Science of the Total Environment*, *849*, 157757.
[33] Kostakis, I., Armaos, S., Abeliotis, K., & Theodoropoulou, E. (2023). The investigation of EKC within CO2 emissions framework: Empirical evidence from selected cross-correlated countries. *Sustainability Analytics and Modeling*, *3*, 100015.
[34] Lee, H., Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P., ... & Park, Y. (2023). IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001
[35] Lin, B., & Ullah, S. (2024). Effectiveness of energy depletion, green growth, and technological cooperation grants on CO2 emissions in Pakistan's perspective. *Science of The Total Environment*, *906*, 167536.
[36] Lin, S., Wang, S., Marinova, D., Zhao, D., & Hong, J. (2017). Impacts of urbanization and real economic development on CO2 emissions in non-high income countries: Empirical research based on the extended STIRPAT model. *Journal of cleaner production*, *166*, 952-966.
[37] Ma, M., Yan, R., Du, Y., Ma, X., Cai, W., & Xu, P. (2017). A methodology to assess China's building energy savings at the national level: An IPAT–LMDI model approach. *Journal of cleaner production*, *143*, 784-793.
[38] Maddala, G. S. (2001). Introduction to Econometrics (3rd ed.). Wiley.
[39] Majeed, M. T., Khan, S., & Tahir, T. (2020). Analytical tool for unpacking the driving forces of environmental impact: an IPAT analysis of Pakistan. *GeoJournal*, 1-13.
[40] Marques, A. C., & Fuinhas, J. A. (2012). Are public policies towards renewables successful? Evidence from European countries. Renewable Energy, 44, 109–118.
[41] Nosheen, M., Abbasi, M. A., & Iqbal, J. (2020). Analyzing extended STIRPAT model of urbanization and CO 2 emissions in Asian countries. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*, 45911-45924.
[42] Padhan, H., Sahu, S. K., & Dash, U. (2023). Economic globalization and environmental quality: a study of OECD economies. *Environment, Development and Sustainability*, *25*(9), 10123-10142.
[43] Pham, N. M., Huynh, T. L. D., & Nasir, M. A. (2020). Environmental consequences of population, affluence and technological progress for European countries: A Malthusian view. *Journal of environmental management*, *260*, 110143.
[44] Popp, D. (2006). International innovation and diffusion of air pollution control technologies: the effects of NOx and SO2 regulation in the US, Japan, and Germany. Journal of Environmental Economics and Management, 51(1), 46–71.
[45] Qin, L., Raheem, S., Murshed, M., Miao, X., Khan, Z., & Kirikkaleli, D. (2021). Does financial inclusion limit carbon dioxide emissions? Analyzing the role of globalization and renewable electricity output. *Sustainable Development*, *29*(6), 1138-1154.
[46] Romer, P. M. (1990). *Endogenous Technological Change*. Journal of Political Economy, 98(5), S71–S102.
[47] Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). *Economic Growth and the Environment*. Quarterly Journal of Economics, 110(2), 353–377.
[48] Roodman, D. (2009). How to do xtabond2: An introduction to difference and system GMM in Stata. The Stata Journal, 9(1), 86–136.
[49] Hassan, S. T., Baloch, M. A., Mahmood, N., & Zhang, J. (2019). Linking economic growth and ecological footprint through human capital and biocapacity. *Sustainable Cities and Society*, *47*, 101516.
[50] Salim, R. A., Rafiq, S., & Shafiei, S. (2017). Urbanization, energy consumption, and pollutant emission in Asian developing economies: an empirical analysis (No. 718). ADBI Working Paper.
[51] Salman, M., Zha, D., & Wang, G. (2022). Interplay between urbanization and ecological footprints: Differential roles of indigenous and foreign innovations in ASEAN-4. *Environmental Science & Policy*, *127*, 161-180.
[52] Saqib, N., Ozturk, I., Usman, M., Sharif, A., & Razzaq, A. (2023). Pollution haven or halo? How European countries leverage FDI, energy, and human capital to alleviate their ecological footprint. *Gondwana Research*, *116*, 136-148.
[53] Shobande, O. A., Ogbeifun, L., & Tiwari, A. K. (2024). Unlocking information technology infrastructure for promoting climate resilience and environmental quality. *Technological Forecasting and Social Change*, *198*, 122949.
[54] Stern, D. I. (2004). *The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve*. World Development, 32(8), 1419–1439**.**
[55] Tang, C. F., Tan, B. W., & Ozturk, I. (2016). Energy consumption and economic growth in Vietnam. *Renewable and sustainable energy reviews*, *54*, 1506-1514.

[56] Thio, E., Tan, M., Li, L., Salman, M., Long, X., Sun, H., & Zhu, B. (2022). The estimation of influencing factors for carbon emissions based on EKC hypothesis and STIRPAT model: Evidence from top 10 countries. *Environment, Development and Sustainability*, 1-34.
[57] Vélez-Henao, J. A., Vivanco, D. F., & Hernández-Riveros, J. A. (2019). Technological change and the rebound effect in the STIRPAT model: A critical view. *Energy Policy*, *129*, 1372-1381.
[58] Voumik, L. C., Rahman, M. H., Rahman, M. M., Ridwan, M., Akter, S., & Raihan, A. (2023). Toward a sustainable future: Examining the interconnectedness among Foreign Direct Investment (FDI), urbanization, trade openness, economic growth, and energy usage in Australia. *Regional Sustainability*, *4*(4), 405-415.
[59] Wang, F., Shackman, J., & Liu, X. (2017). Carbon emission flow in the power industry and provincial CO2 emissions: Evidence from cross-provincial secondary energy trading in China. *Journal of Cleaner Production*, *159*, 397-409.
[60] Weber, A. S. (2013, March). Review of sustainable and renewable energy activities in the state of Qatar. In *2013 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)* (pp. 91-95). IEEE.
[61] Weina, D., Gilli, M., Mazzanti, M., & Nicolli, F. (2016). Green inventions and greenhouse gas emission dynamics: a close examination of provincial Italian data. *Environmental Economics and Policy Studies*, *18*, 247-263.
[62] Wooldridge, J. M. (2015). Introductory Econometrics: A Modern Approach (6th ed.). Cengage Learning.
[63] Wurlod, J. D., & Noailly, J. (2018). The impact of green innovation on energy intensity: An empirical analysis for 14 industrial sectors in OECD countries. *Energy Economics*, *71*, 47-61.
[64] Xu, B., Sharif, A., Shahbaz, M., & Dong, K. (2021). Have electric vehicles effectively addressed CO2 emissions? Analysis of eight leading countries using quantile-on-quantile regression approach. *Sustainable Production and Consumption*, *27*, 1205-1214.
[65] Yang, L., Xia, H., Zhang, X., & Yuan, S. (2018). What matters for carbon emissions in regional sectors? A China study of extended STIRPAT model. *Journal of Cleaner Production*, *180*, 595-602.
[66] Yue, W., Jingyou, W., Mei, Z., & Lei, S. H. I. (2019). Spatial correlation analysis of energy consumption and air pollution in Beijing-Tianjin-Hebei region. *Energy Procedia*, *158*, 4280-4285.
[67] Zhong, J., Hu, X., Yüksel, S., Dinçer, H., & Ubay, G. G. (2020). Analyzing the investments strategies for renewable energies based on multi-criteria decision model. *IEEE Access*, *8*, 118818-118840.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Impact of Recycled Sands on the Durability of Sand Concrete in Aggressive Environments

Rezaiguia Nouha*, Hebhoub Houria[2], Berdoudi Said[3], Djebri Noura[4]

[1,2] *Civil Engineering Department, Faculty of Technology, 20 August 1955 University, Skikda, Algeria*
[3] *Mining Department, Faculty of Earth Sciences, University Badji Mokhtar, Annaba, Algeria.*
[4] *Civil Engineering Department, Faculty of Technology, Mohamed Boudiaf University, M'Sila,, Algeria*

(e-mail: n.rezaiguia@univ-skikda.dz)

Abstract – Durability parameters play a fundamental role in assessing the performance of construction materials, particularly concrete, when exposed to aggressive environmental conditions. This study is part of a sustainable approach aiming to valorize inert industrial waste, specifically recycled granite and clinker, as partial replacements for natural sand in sand concrete formulations. The main objective is to evaluate the effect of these substitutions on the durability of the concrete mixtures by analyzing their behavior under chemically aggressive environments.

Several concrete mixtures were prepared by replacing 20% and 40% of natural sand with recycled sands. These concretes were immersed for 120 days in solutions of sodium hydroxide (NaOH) and sulfuric acid (H_2SO_4), both of which are highly aggressive media. Performance was assessed by measuring mass loss and compressive strength reduction. The results showed that the reference concrete, without substitution, exhibited the best overall performance in both environments. However, some mixtures containing 40% recycled sand showed promising results, particularly in the basic medium.

Recycled clinker sand induced significant leaching, especially at high substitution levels, which negatively affected durability. Granite sand, although less reactive, did not provide significant improvements when used in higher proportions. In conclusion, this study highlights both the environmental and technical potential of incorporating recycled materials into durable concrete formulations, offering a sustainable alternative to conventional materials while reducing the exploitation of natural resources.

Keywords – Sand concrete, durability, recycled sand, compressive strength, mass loss.

I. INTRODUCTION

In a global context marked by the gradual depletion of natural resources and the increase in industrial waste, the construction sector is called to adopt more sustainable solutions. Concrete, the most widely used construction material, represents a major environmental challenge, particularly due to its high consumption of natural aggregates. In response to these challenges, the valorization of waste materials, such as those from granite cutting and clinker production, stands out as a promising alternative.

At the same time, the durability of concrete, defined as its ability to maintain its properties over time under environmental stresses, is a key performance criterion. Exposure of sand concrete to aggressive environments, whether acidic or alkaline, can lead to significant degradation, affecting its mass and mechanical properties.

Recent studies have explored the use of recycled materials in concrete to improve durability and performance. Partial replacement of sand with granite waste (up to 20-30%) has shown improvements in compressive strength and acid resistance in concrete [1], [2]. Similarly, incorporating recycled clinker into geopolymer concrete can enhance mechanical properties and acid resistance, particularly when cured at higher temperatures [3]. The addition of seashell powder (up to 10%) as a cement substitute, combined with granite waste, can further improve the mechanical properties and durability of flowable sand concrete [4]. Self-compacting concrete containing bone-china ceramic powder and granite cutting waste also demonstrates better durability against acid and sulfate attacks [5]. These findings suggest that the strategic use of recycled materials can lead to more durable and high-performance concrete formulations.

It is with this in mind that the present study focuses on the incorporation of recycled sands into sand concrete formulations and their influence on durability in harsh chemical environments. The main objective is to assess the behavior of these sand concretes, containing 20% and 40% of granite or recycled clinker waste sand, when exposed to aggressive environments such as sodium hydroxide (NaOH) and sulfuric acid (H_2SO_4). The analysis mainly focuses on the loss of mass and mechanical strength after immersion, allowing the identification of the most effective and stable formulations against chemical attacks. This work is part of a sustainable construction approach, combining technical performance with environmental respect.

II. Materials and Method

A. *Materials*

The materials used in the study include

- The cement used is a Portland composite cement CPJ-CEM II 42.5 (S-L), supplied by the Hadjar Essoud cement factory located in Skikda, Algeria.
- Dune sand (DS), of siliceous nature, is sourced from the Oued Z'hor quarry in the east of Skikda, Algeria.
- Granite sand (GS) is produced by crushing and sieving granite waste.
- Recycled clinker sand (CS) is obtained by crushing and screening baked or unbaked clinker, also retrieved from the Hadjar Essoud cement factory in Skikda, Algeria.
- Fine limestone (F) is collected from the filters of the Ben Azzouz quarry, located in the eastern part of Skikda, Algeria.
- The superplasticiser (SP) used is a high-range water reducer of the *Master Glenium 26* type.
- Mixing water, at a temperature of 28 °C, is provided by the local tap water supply.

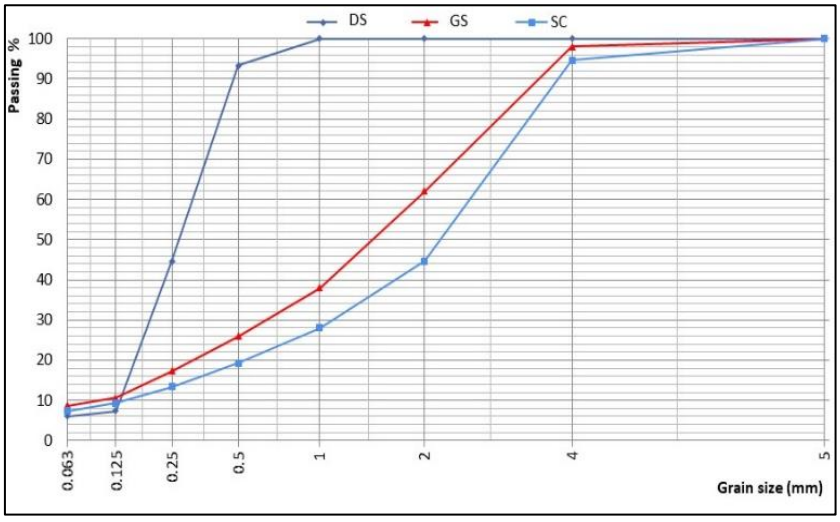


Fig. 1 Particle size distribution of sands age

B. *Experimental Program*

In this study, natural dune sand was partially replaced by tow recycled sands (granite waste and recycled clinker) at rates of 20% and 40% by volume. The impact of these substitutions on the durability properties of sand concrete was assessed. All mixes were designed according to the Sablocrete experimental method [6], with fixed parameters: water-to-cement ratio (W/C = 0.68), cement content, limestone fines dosage, and 1% superplasticiser. The formulations investigated were:

- BS0: Control mix with 100% natural sand
- BSC20: Mixes with 20% recycled clinker.
- BSC40: Mixes with 40% recycled clinker.
- BSG20: Mixes with 20% sand from granite waste.
- BSG40: Mixes with 40% sand from granite waste.

C. *Methods*

To assess the impact of incorporating recycled granite and clinker sands on the durability of sand concrete, cubic specimens (5×5×5) cm3 were prepared and exposed to two aggressive solutions: 4% H2SO4 (acid) and 4% NaOH (alkali), in accordance with ASTM C267-96. After 28 days of curing, mass loss was measured at regular intervals (up to 120 days) to monitor the degradation process. The specimens were then subjected to compressive strength tests to evaluate the residual strength of the concrete under aggressive chemical conditions.

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. *Mass loss in acidic Medium (4% Sulfuric Acid H_2SO_4)*

The reference concrete (BS0) exhibited the lowest mass loss (Figure 2), with a decrease of 18.4%. In contrast, the formulations containing recycled clinker sand experienced greater mass loss. The BSC40 mix showed the highest loss, reaching 39.82%, due to the leaching of gypsum formed from the reaction between clinker and acid [7]. Mixes with granite waste sand (BSG20 and BSG40) also showed notable losses, although less significant than those with recycled clinker. The mass losses for BSG40 and BSG20 were 26.50% and 21.20%, respectively, suggesting that granite sand exhibits some chemical inertia in acidic environments, but its effectiveness is limited [8].

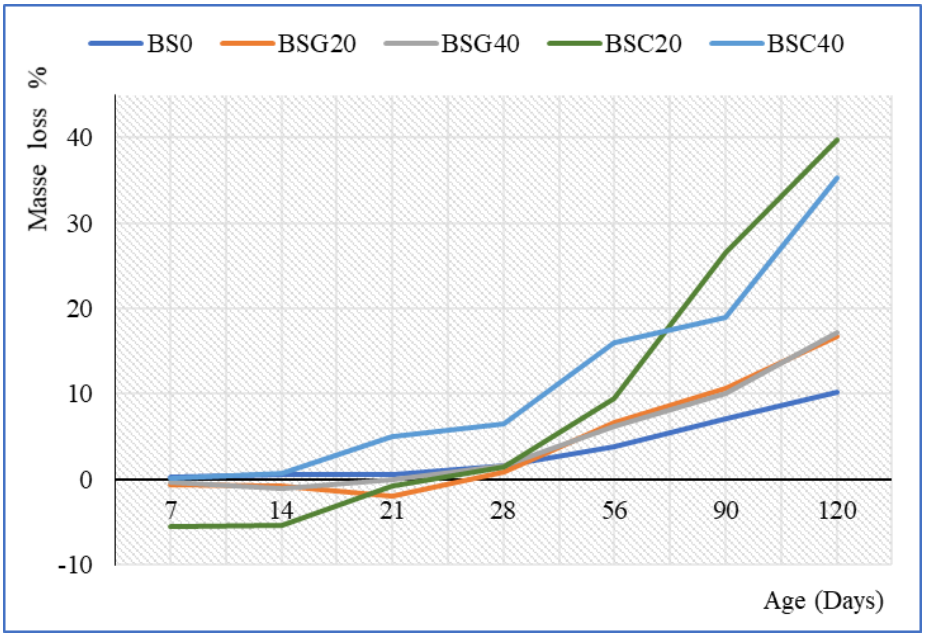


Fig.2 Mass loss of all concrete mixes after exposure to H_2SO_4

B. Mass loss in alkaline medium (4% Sodium Hydroxide NaOH)

After 120 days of immersion in the alkaline solution, it was observed that the reference concrete developed increasing mass gains (Figure 3). The reference mix (BS0) showed a moderate mass gain of 2.8%, while the concrete BSG20 recorded the highest gain at 6.3%. The BSC40 mix exhibited a lower mass gain of 2.5%, indicating a favorable interaction between the clinker and the NaOH solution, leading to the formation of ettringite and beneficial expansive products [9].

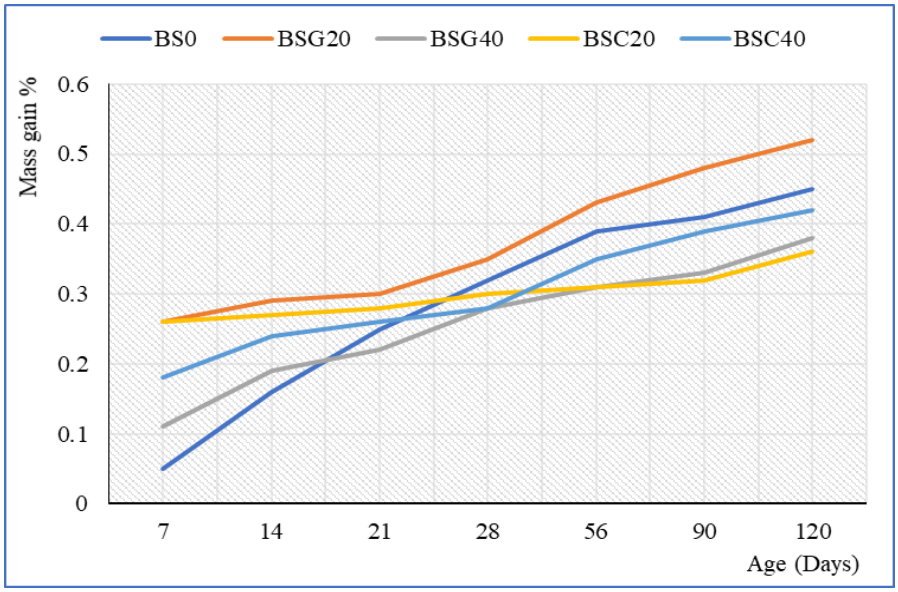


Fig. 3 Mass loss of all concrete mixes after exposure to NaOH

C. Compressive Strength Loss after Sulfuric Acid Exposure

The control concrete (BS0) exhibited a loss of 60.36%, highlighting its high vulnerability to acid attack due to the reaction between H_2SO_4 and the calcium-based compounds in cement **(**Figure 4). The concrete BSG40 showed greater strength loss compared to BSG20, which may be attributed to both the improved particle packing by fine granite grains [10] and the formation of a less favorable microstructure at higher substitution rates [11]. Regarding concretes with recycled clinker, BSC20 and BSC40 lost 75.38% and 85.56% of their compressive strength, respectively. This significant reduction reflects the high reactivity of recycled clinker with sulfuric acid, resulting in rapid chemical degradation of the cementitious matrix.

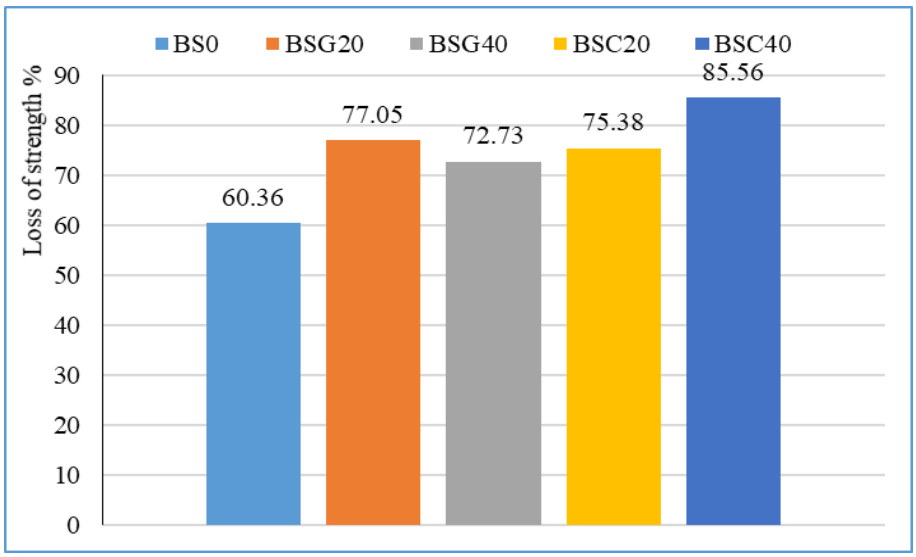


Fig. 4 Loss of compressive strength of all concrete mixes after exposure to H_2SO_4

D. *Compressive Strength Loss after Sodium Hydroxide Exposure*

According to the figure 5, BS0 exhibits a low strength loss, indicating good resistance to NaOH attack. BSG20, containing 20% recycled granite sand, shows a slightly higher strength loss (21.72%), suggesting that the addition of granite makes the concrete slightly more vulnerable, although still within a moderate range. BSG40 experiences a more significant loss (36.13%), indicating that a higher proportion of granite reduces the concrete's integrity under alkaline attack [12]. BSC20, with 20% recycled clinker, undergoes the highest strength loss (42.64%), showing that clinker increases the concrete's sensitivity to NaOH. In contrast, BSC40 exhibits the lowest strength loss among the tested mixes (15.12%), suggesting that at this concentration, recycled clinker improves resistance to alkaline attack, likely due to a favorable interaction with NaOH that enhances the concrete matrix.

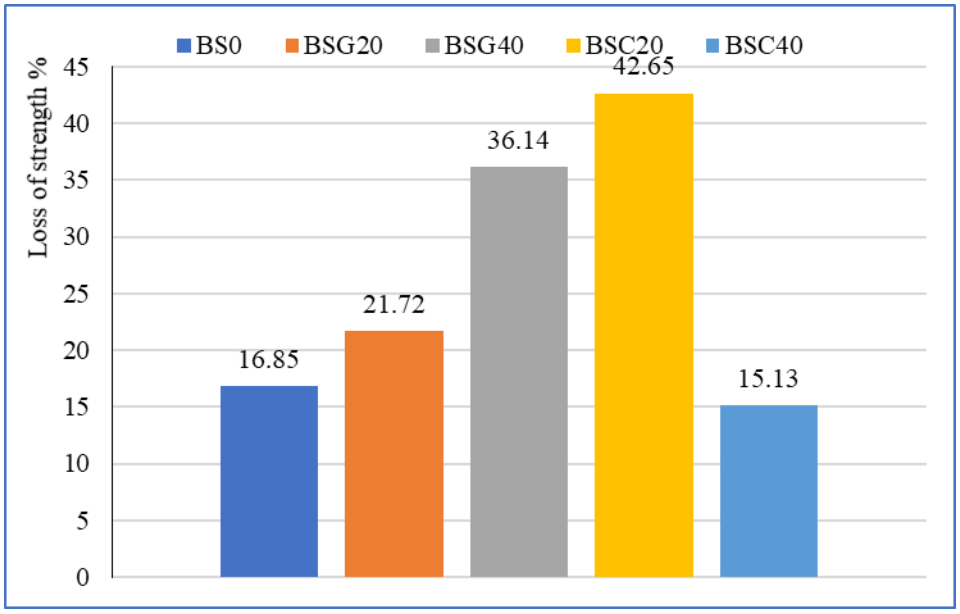


Fig. 5 Loss of compressive strength of all concrete mixes after exposure to NaOH

IV. CONCLUSION

This study highlights the potential of using recycled sands from granite waste and recycled clinker as partial replacements for natural sand in sand concrete production. The results demonstrate that the reference concrete exhibited the highest resistance in sulfuric acid, while mixtures incorporating recycled clinker suffered greater mass losses due to gypsum leaching, particularly BSC20. In alkaline environments (NaOH solution), the control concrete showed gradual mass gains over 120 days, with the mix containing 20% granite sand exhibiting the highest gain. The BSC20, BSC40, and BSG40 mixes demonstrated improved resistance to ion penetration, promoting ettringite formation and swelling.

Despite the benefits in mass gain, all concretes made with recycled sands experienced higher compressive strength losses in sulfuric acid than the control mix. Interestingly, BSG40 exhibited a lower strength loss than BSG20, suggesting that excessive granite may reduce compressive strength. The most significant losses were recorded for BSC20 and BSC40, reflecting the high reactivity of recycled clinker under acidic attack. In contrast, under alkaline conditions, the control concrete showed a low strength loss. BSG20 and BSG40 experienced slightly higher losses, due to the inert behaviour of granite. Notably, BSC40 presented the lowest strength loss in this environment, indicating a favorable interaction between clinker and NaOH that enhances matrix stability.

Overall, the findings suggest that partially replacing natural sand with recycled granite and clinker waste is a practical and sustainable approach. This substitution improves both the mechanical and durability characteristics of concrete while contributing to waste valorization and environmental

protection. The incorporation of such alternative materials represents a promising direction for greener, more efficient construction practices.

REFERENCES

[1] Kherraf, L., Kherraf, S., Hebhoub, H., & Belachia, M. (2023). Performance of concrete containing partial granite and tiling wastes as fine aggregate. Civil and Environmental Engineering Reports, 33(2), 85–105. https://doi.org/10.59440/ceer/172751

[2] Rezaiguia, N., Hebhoub, H., Kherraf, L., & Benhalilou, M. I. (2024). Contribution to the study of an eco-sand concrete containing recycled sands from waste granite and recycled clinker. Research on Engineering Structures and Materials. https://doi.org/10.17515/resm2024.129ma1220rs

[3] Bayrak, B., Mostafa, S. A., Öz, A., Tayeh, B. A., Kaplan, G., & Aydın, A. C. (2023). The effect of clinker aggregate on acid resistance in prepacked geopolymers containing metakaolin and quartz powder in the presence of ground blast furnace slag. Journal of Building Engineering, 69, 106290. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106290

[4] Hadjadj, M., Guendouz, M., & Boukhelkhal, D. (2024). The effect of using seashells as cementitious bio-material and granite industrial waste as fine aggregate on mechanical and durability properties of green flowable sand concrete. Journal of Building Engineering, 87, 108968. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108968

[5] Gautam, L., Bansal, S., Sharma, K. V., & Kalla, P. (2023). Bone-china ceramic powder and granite industrial by-product waste in self-compacting concrete: A durability assessment with statistical validation. Structures, 54, 837–856. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.05.094

[6] Sablocrete. Synthèse du Projet National de Recherche et Développement. Bétons de sable, caractéristiques et pratiques d'utilisation. Presses de l'école Nationale des Ponts et Chaussées LCPC, Paris, 1994:92-199, ISBN :13 978-2-85978-221-4.

[7] Rashwan, M. A., Al - Basiony, T. M., Mashaly, A. O., & Khalil, M. M. (2020). Behaviour of fresh and hardened concrete incorporating marble and granite sludge as cement replacement. Journal of Building Engineering, 32, 101697. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101697

[8] Sellaf, H., & Adda, H. M. (2020). Performance evaluation of concrete incorporating granite powder as partial substitution of cement in aggressive environments. Revue des Matériaux et Energies Renouvelable Vol 4, N°1. ISSN : 507-554. https://www.researchgate.net/publication/347828282

[9] Benalia, S., & Zeghichi, L. (2021). Contribution à l'étude de l'effet de l'activation sur le comportement mécanique des géopolymeres. Academic Journal of Civil Engineering, 87-90 Pages. https://doi.org/10.26168/AJCE.39.1.20

[10] Jain, K. L., Sancheti, G., & Gupta, L. K. (2020). Durability performance of waste granite and glass powder added concrete. Construction and Building Materials, 252, 119075. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119075

[11] Aarthi, K. (2018). Durability studies on fibre reinforced self-compacting concrete with sustainable wastes. Journal of Cleaner Production, 174, 247 255. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.270

[12] Venyite, P., Giogetti Deutou Nemaleu, J., Cyriaque Kaze, R., Bruno Tchamba, A., Kamseu, E., Chinje Melo, U., & Leonelli, C. (2022). Alkali-silica reactions in granite-based aggregates: The role of biotite and pyrite. Construction and Building Materials, 320, 126259. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.126259

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Towards understanding the adsorption of FAF on a ruthenium surface DFT study: First steps

SARI MOHAMMED Hanaa[1], AZIZI Sihem [1]

[1] *Laboratory of Catalysis and Synthesis in Organic Chemistry, Faculty of Science, University of Tlemcen, Algeria*

[*] *hanaa.sarimohammed@gmail.com*

Abstract – The catalytic production of biofuels in a one-pot process is carried out experimentally via a hydrodeoxygenation (HDO) method under high temperature and pressure conditions. This process involves several chemical reactions: hydrogenation of unsaturated bonds, ring opening, dehydration, and deoxygenation. Experimental studies on biofuel production through HDO have shown that, due to the diversity of reactions involved, the process is catalyzed by metallic materials. Therefore, a theoretical approach is required to conduct a mechanistic study aimed at identifying the adsorption sites of reactants and intermediates, as well as the active sites for each of the reactions involved in this process.

Keywords – catalytic production, hydrodeoxygenation (HDO), metallic materials, DFT, pseudopotentials, basis.

I. INTRODUCTION

The production of biofuels from biomass feedstocks is a carbon-neutral and sustainable alternative to the exploitation of fossil resources[1]. Furthermore, it constitutes an effective method of reducing air pollution without necessitating significant alterations to vehicle technology. To this end, second-generation biofuels can be produced from non-edible lignocellulosic biomass, such as agricultural and municipal wastes, forestry residues, specialized non-food crops, etc. A well-known and exploited example of industrial biofuel synthesis from lignocellulosic biomass is the production of bioethanol. The process typically involves pre-treatment of the raw material, followed by enzymatic hydrolysis and microbial fermentation of the resulting sugar mixtures.[2] In this case, some of the compounds derived from biomass pre-treatments, such as furfural and 5-hydroxymethylfurfural, inhibit the fermentation process and their production should be avoided as far as possible.[3]

A different approach to second generation biofuels is the production of high-quality biodiesel, composed mainly of medium and long chain (C_8-C_{21}) alkanes, obtained by catalytic reduction of suitable precursors. These biodiesels are seen as alternatives to fatty acid methyl ester (FAME) ones, which are generally produced by transesterification of vegetable oils and animal fats.[4] Among the most promising precursors for the production of biodiesels and other useful bio-derived chemicals by catalytic hydrodeoxygenation are furfural-acetone adducts, obtained by aldol condensation of furfural and acetone, where the furfural moiety can be extracted from the hemicellulose component of the lignocellulosic biomass.[5-7] Indeed, these platform molecules provide a direct and accessible means of obtaining medium- and long-chain alkanes and alcohols.[8]

II. MATERIALS AND METHOD

In order to design optimal catalytic systems for the conversion of FAF (furfural-aceton-furfural) precursors into biofuel, it is essential to have a comprehensive understanding of the structural properties of the inherent species.

All calculations for the isolated FAF molecule, the Ru(111) surface, were performed using CP2K. Geometry optimizations were carried out at the Perdew–Burke–Ernzerhof (PBE) functional level, a widely used Generalized Gradient Approximation (GGA) functional in Density Functional Theory (DFT). The calculations employed a plane wave cut-off of 800 eV, along with the DZVP-MOLOPT-SR-GTH basis set and the Goedecker-Teter-Hutter (GTH) pseudopotentials.

DFT[9] is a quantum mechanical method for studying the electronic structure of molecules and materials. It simplifies the many particules system problem by focusing on electron density instead of wavefunctions, making it computationally efficient for large systems.

The PBE[10]functional accounts for exchange-correlation effects by incorporating both the local electron density and its gradient, offering a reliable balance between accuracy and computational cost for a variety of systems

The GTH[11] pseudopotential effectively replaces core electrons with an efficient potential, reducing computational complexity while maintaining accuracy. The DZVP-MOLOPT-SR-GTH[11] basis set, optimized for molecular calculations, provides a high-quality double-zeta valence description with polarization functions, ensuring a good balance between computational efficiency and precision.

A. Construction and optimization of geometries

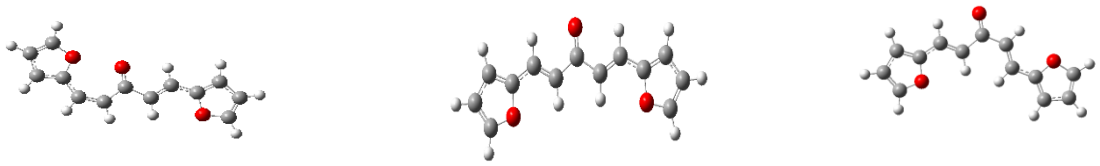
level 1:

A geometry optimization of the organic molecule is done in order to describe the most stable geometry .

level 2:

in ordre to determine the opimal number of layers for accurate slab calculations of Ru(111),a series of converence tests was performed with increasing slab thicknes, three and six layers .

B. Figures and Table

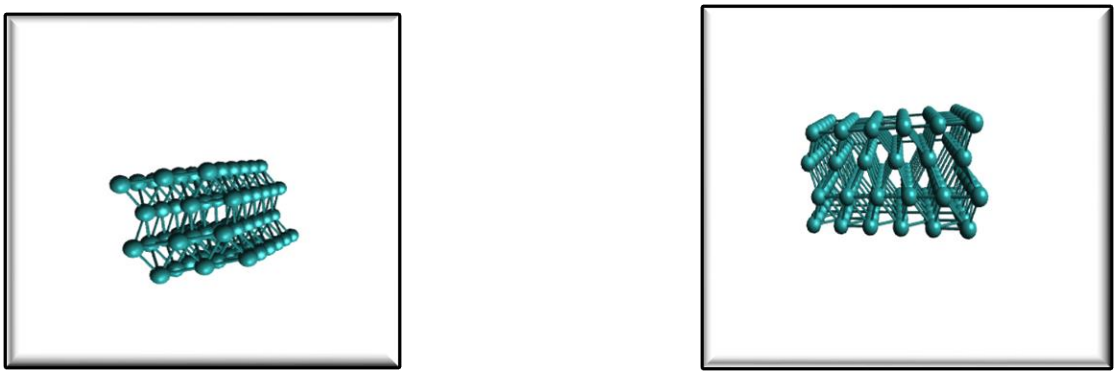


FAF1 FAF2 FAF3

Fig 1. The optimized structures of FAF (the most stable)

Table 1. Optimization Energies of FAF

Molecule	Energie (ua)	Energie (ev)
FAF1	-127.97043992335229	−3483.48
FAF2	-127.98198212084677	-3483.81
FAF3	-127.97966157224042	−3483.74



Salb Ru (111) three layers

Salb Ru (111) six layers

Fig 2. The optimized structures Ru(111) slab.

Table 2. Optimization Energies of Ru(111) slab

Slab	Energie (ua)	Energie (ev)
Salb 3 layers	-6816.188577733424609	−185527.98
Slab 6 layers	-13636.02451528963138	−371022.144

III. RESULTS

Among the different geometries tested, FAF2 was found to be the most stable.

Furthermore, the 6-layer slab model provides more accurate and reliable results compared to the 3-layer slab.

IV. DISCUSSION

Table 1 shows that the energies follow the trend: E(FAF2) < E(FAF3) < E(FAF1). This clearly indicates that FAF2 corresponds to the most stable geometry among the three structures, since the lower energy indicates a more stable configuration.

Table 2 presents the energies obtained with different slab models. The results demonstrate that the 6-layer slab provides more accurate and consistent energy values compared to the 3-layer slab, highlighting its better reliability for modeling surface interactions.

V. CONCLUSION

The optimization energy is essential for analyzing the system's stability, evaluating interactions, and understanding adsorption or reaction mechanisms in theoretical studies.

At this stage, we have identified the most stable geometry of the organic molecule as well as the most suitable slab model. However, we have not yet achieved our ultimate objective of determining the most stable configuration for modeling the adsorption mechanism. Ongoing work is focused on exploring different adsorption geometries and orientations to accurately characterize the interaction between the molecule and the surface.

REFERENCES

[1] Kamla, M.; Capareda, S. C.; Kamboj, B. R.; Malik, S.; Singh, K.; Arya, S.; Bishnoi, D. K. Biofuels Production: A Review on Sustainable Alternatives to Traditional Fuels and Energy Sources. *Fuels* **2024**.

[2] Robak, K.; Balcerek, M. Review of Second Generation Bioethanol Production from Residual Biomass. *Food Technol. Biotechnol.* **2018**.

[3] Iwaki, A.; Kawai, T.; Yamamoto, Y.; Izawa, S. Biomass Conversion Inhibitors Furfural and 5-Hydroxymethylfurfural Induce Formation of Messenger RNP Granules and Attenuate Translation Activity in Saccharomyces cerevisiae. *Appl. Environ. Microbiol.* **2013**.

[4] Vyas, A. P.; Verma, J. L.; Subrahmanyam, N. A review on FAME production processes. *Fuel* **2010**.

[5] Luo, Y.; Li, Z.; Li, X.; Liu, X.; Fan, J.; Clark, J. H.; Hu, C. The production of furfural directly from hemicellulose in lignocellulosic biomass: A review. *Catalysis Today* **2019**.

[6] Agirrezabal-Telleria, I.; Gandarias, I.; Arias, P.L. Heterogeneous acid-catalysts for the production of furan-derived compounds (furfural and hydroxymethylfurfural) from renewable carbohydrates: A review. *Catalysis Today* **2014**.

[7] Mariscal, R.; Maireles-Torres, P.; Ojeda, M.; Sádaba, I.; López Granados, M. Furfural: a renewable and versatile platform molecule for the synthesis of chemicals and fuels. *Energy Environ. Sci.* **2016**.

[8] Ramos, R.; Hidalgo, J. M.; Göpel, M.; Tišler, Z.; Bertella, F.; Martínez, A.; Kikhtyanin, O.; Kubička, D. Catalytic conversion of furfural-acetone condensation products into bio-derived C_8 linear alcohols over NiCu/Al-SBA-15. *Catalysis Communications* **2018**.

[9] Y. Zhao, N. E. Schultz, et D. G. Truhlar, J. Chem. Theory Comput. 2, 364 (2006)

[10] J. P. Perdew, K. Burke, and M. Ernzerhof, "Generalized Gradient Approximation Made Simple," (1996)

[11] VandeVondele, J., et al. "Quickstep: Fast and accurate density functional calculations using a mixed Gaussian and plane waves approach, (2005).

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

ICSIS

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

TORYUM NÜKLEER YAKITLI FÜZYON-FİSYON HİBRİD REAKTÖRLERDE ÇİNKO SELENÜR (Zn-Se) TERMOKİMYASAL ÇEVRİMİ İLE HİDROJEN ÜRETİMİNİN İNCELENMESİ

Serkan SİVRİKAYA[1*], Ramazan ÇAKIROĞLU [2] ve Adem ACIR [1,3]

[1]*Nükleer Bilimler Ana Bilim Dalı / Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Türkiye*
[2]*Enerji Sistemleri Mühendisliği / Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Türkiye*
[3]*Enerji Sistemleri Mühendisliği / Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Türkiye*

[*]*(serkan.sivrikaya@gazi.edu.tr) Başlıca yazarın mail adresi*

Özet **–** Bu çalışma kapsamında, ThO_2 yakıtlı yüksek sıcaklık füzyon-fisyon hibrid reaktöründe Çinko-Selenür (Zn-Se) termokimyasal çevrimi kullanılarak hidrojen üretimi potansiyeli nötronik ve termodinamik analizler yoluyla araştırılmıştır. Reaktör blanket yapısında FLiBe ve FLiNaBe soğutucular kullanılarak sistem performansı değerlendirilmiş, SCALE4.4a kodu ile gerçekleştirilen nötronik analizlerde 48 aylık işletim sonunda her iki soğutucu için trityum üretim oranı (TBR) değerlerinin 1,05 eşik değerinin üzerinde kalarak sürdürülebilir üretim sağladığı tespit edilmiştir. Enerji çoğaltım faktörü (M), FLiBe için 1,47'den 2,16'ya, FLiNaBe için 1,48'den 2,31'e yükselmiş ve böylece reaktörün enerji üretim kapasitesinde anlamlı bir artış elde edilmiştir. Termodinamik analizler sonucunda, hidrojen üretim miktarının ($\dot{m}_{H_2}$) FLiBe soğutucusu ile 4,85 kg/s'den 7,61 kg/s'ye, FLiNaBe soğutucusu ile ise yaklaşık 4,84 kg/s'den 8,23 kg/s'ye çıktığı belirlenmiştir. Bulgular, blanket yapısında yalnızca soğutucu değişimi ile reaktör performansının önemli ölçüde optimize edilebileceğini ve FLiNaBe kullanımının hidrojen üretimi ve enerji çoğaltımı açısından daha üstün sonuçlar sağladığını ortaya koymaktadır. Çinko-Selenür (Zn-Se) çevriminin sistem verimi %27,7, çevrim verimi ise %51,5 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler – Füzyon, Fisyon, Hibrid reaktör, Toryum, Nükleer, Hidrojen, Trityum, Soğutucu

I. GİRİŞ

Fosil yakıtların yoğun kullanımı, sera gazı salınımı ve iklim değişikliği gibi küresel çevresel sorunları tetikleyerek alternatif enerji kaynaklarına geçişi zorunlu kılmıştır [1]-[3]. Bu bağlamda, çevre dostu bir enerji taşıyıcısı olan hidrojen, sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda stratejik bir konuma yükselmiştir [4]-[7]. Yalnızca su buharı açığa çıkararak enerji üretmesi ve geniş kullanım potansiyeli, hidrojenin 2050 yılına kadar net sıfır emisyon hedeflerinde kilit rol oynamasını mümkün kılmaktadır [2], [3].

Paris Anlaşması ile belirlenen hedefler doğrultusunda, hidrojen üretimi için düşük karbon salınımlı ve verimli yöntemlerin geliştirilmesi kritik bir öncelik haline gelmiştir [8, 9]. Su elektrolizi, metan pirolizi ve biyoteknolojik yöntemlerin yanı sıra, nükleer destekli termokimyasal çevrimler hidrojen üretimi için umut vadeden teknolojiler arasında yer almaktadır [10].

Nükleer enerjiden verimli şekilde faydalanabilmek adına, geleneksel fisyon reaktörlerinde ortaya çıkan nötron eksikliği, füzyon-fisyon hibrid reaktörler aracılığıyla giderilebilmektedir [11]. Füzyon-fisyon hibrid reaktör konsepti, ilk kez Hans Bethe ve Andrei Sakharov tarafından 20. yüzyılın ortalarında sunulmuş ve D-T füzyon reaksiyonlarının fisil malzeme üretimi için nötron kaynağı olarak

kullanılabileceği ifade edilmiştir. Füzyon kaynaklı nötronlar sayesinde, ^{238}U ve ^{232}Th gibi fisil olmayan izotopların ^{239}Pu, ^{241}Pu ve ^{233}U gibi fisil izotoplara dönüşmesi sağlanabilmektedir.

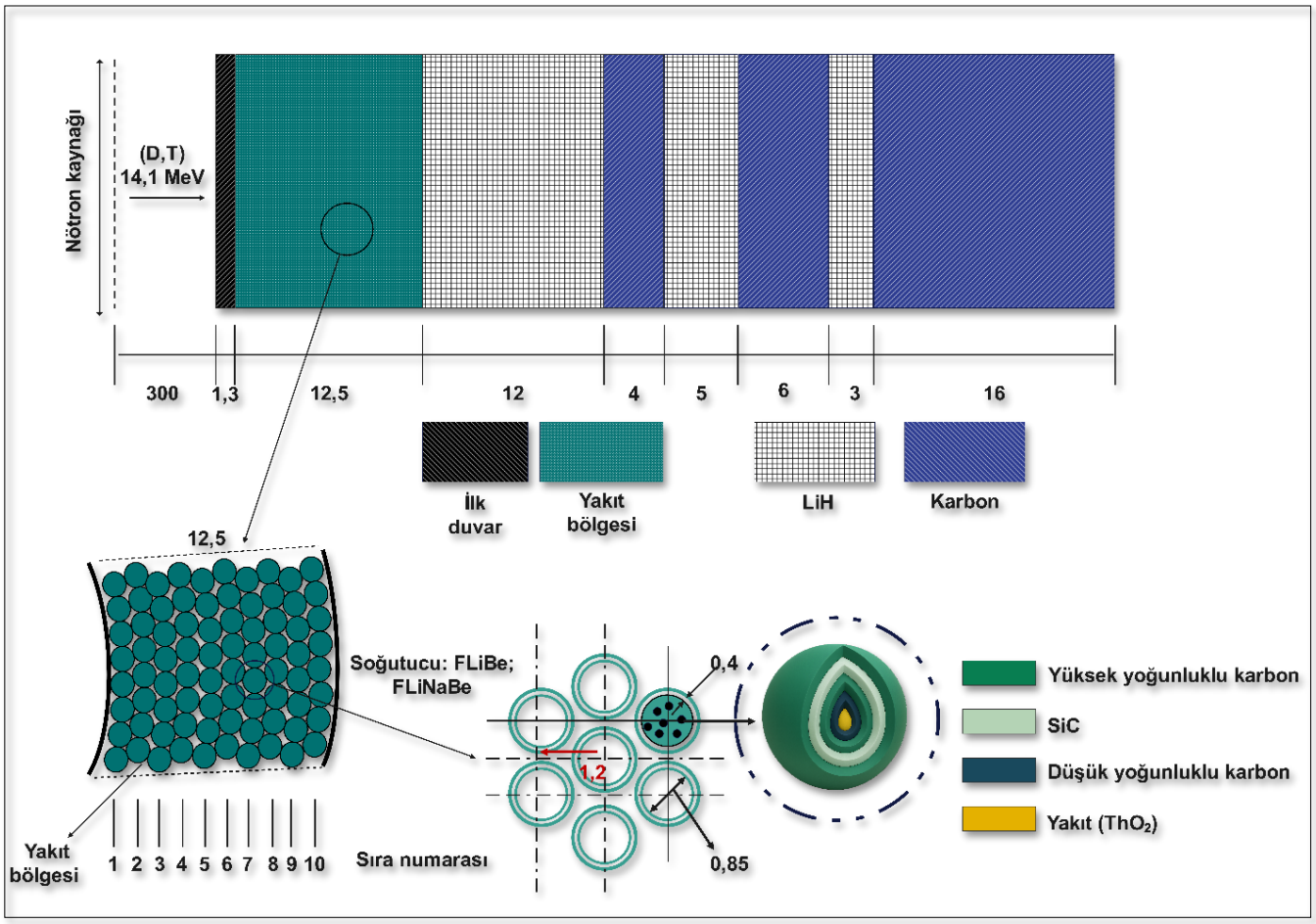
Özellikle füzyon-fisyon hibrid reaktörleri, yüksek sıcaklık üretimi kapasiteleriyle termokimyasal çevrimlerin verimliliğini artırmakta ve düşük karbon salınımlı hidrojen üretiminde önemli bir rol üstlenmektedir.

Bu çalışmada, füzyon-fisyon hibrid reaktörlerinde Çinko-Selenür (Zn-Se) termokimyasal çevrimi kullanarak hidrojen üretimini nötronik ve termodinamik açıdan incelemekte ve sürdürülebilir enerji sistemlerine bilimsel katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Literatürde nadiren incelenmiş olan Çinko-Selenür (Zn-Se) termokimyasal çevrimini merkeze alarak, özgün bir yaklaşımla FLiBe ve FLiNaBe soğutucuları altında nötronik analizlerin karşılaştırmalı değerlendirmesini gerçekleştirilmiştir. İki farklı soğutucu kullanımının reaktörün nötronik karakteristiklerine etkileri detaylı biçimde analiz edilmiş ve hidrojen üretimi potansiyeline yönelik nitelikli bulgular ortaya konmuştur.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Füzyon-Fisyon Hibrid Reaktörü ve Blanket Yapısı

Şekil 1'de bu çalışmada kullanılan blanket yapısı, soğutucular ve yakıt hakkında bilgi verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan blanket yapısında, LiH bazlı trityum üretim katmanı, TRISO kaplamalı ThO_2 yakıt partikülleri ve soğutucu olarak FLiBe ile FLiNaBe alternatifleri değerlendirilmiştir. Yapısal değişiklik yapılmaksızın yalnızca soğutucu farklılığı temelinde sistem performansı analiz edilmiştir.



Şekil 1. Hesaplamalarda kullanılan blanket yapısı (Ölçüler cm verilmiştir)

Füzyon-fisyon hibrid reaktör sistemleri, geleneksel fisyon reaktörlerine göre daha yüksek güvenlik ve yakıt kullanım verimliliği sunarak enerji üretiminde potansiyel bir alternatif oluşturmaktadır [11], [12].

B. Füzyon-Fisyon Reaktörlerinde Hidrojen Üretimi

Döteryum (D) ve Trityum (T) çekirdeklerinin birleşmesi sonucu gerçekleşen füzyon reaksiyonunda bir Helyum (He) çekirdeği ve bir serbest nötron (n) oluşmakta, bu süreçte 17.6 MeV enerji açığa çıkmaktadır. Bu füzyon reaksiyonu Eş. 1'de verilmiştir.

$$D + T \rightarrow He + n + 17.6\,\text{MeV} \tag{1}$$

Bu çalışmada, füzyon-fisyon hibrid reaktör sisteminde SCALE4.4a kodu kullanılarak yapılan nötronik analizler sonucunda, 48 aylık işletim sonunda toplam termal güç (P_{hpf}), enerji çoğaltım faktörü (M) ve hidrojen üretim miktarı ($\dot{m}_{H_2}$) hesaplanmıştır. Zn-Se çevriminde kullanılan bileşiklerin sıcaklık bağımlı entalpileri Shomate denklemleri aracılığıyla belirlenmiş, eksik veriler ise literatürden sağlanmıştır. Çevrimde yalnızca ısı enerjisi kullanılmış olup, sistemin toplam termal güç oranı ($1-\psi$) ve enerji gereksinimi (P_{hpf}) ilgili formüller aracılığıyla hesaplanmıştır. Çinko-Selenür (Zn-Se) çevriminde FLiBe ile FLiNaBe soğutucuları için çevrimin ısı gereksinimi 3,92 MJ/kg olarak belirlenmiştir. Bu çevrimde kullanılan termal güç oranı ($1-\psi$) ile tesisin toplam ısıl enerji gereksinimi (P_{hpf}), sırasıyla Eş. 2 ve Eş. 3 ile ifade edilmektedir [13].

$$1 - \psi = 1 - \frac{1}{\eta_{ihx} \cdot \eta_{ds}[Q \cdot (x_a + x_n \cdot M) + 1] \cdot [\eta_{gt} + \varepsilon]} + \frac{\varepsilon}{[\eta_{gt} + \varepsilon]} + \frac{x_{aux} + x_{isf}}{\eta_{ihx} + [\eta_{gt} + \varepsilon]} \tag{2}$$

$$P_{hpf} = (1 - \psi) \cdot (1 + \varepsilon) \cdot \eta_{ihx} \cdot \frac{P_f}{Q} \cdot [Q \cdot (x_a + x_n \cdot M) + 1] \tag{3}$$

Zn-Se termokimyasal çevriminin tepkime verim değeri (η) 0,90 olarak alınmıştır. Çinko-Selenür (Zn-Se) termokimyasal çevriminde q_{tot} değerleri FLiBe ve FLiNaBe soğutucuları için 3,92 MJ/kg'dır. Çinko-Selenür (Zn-Se) çevrimi için gerekli ısı (Q) hesaplamasında kullanılan formüller Eş. 4 – 5'te verilmiştir [14].

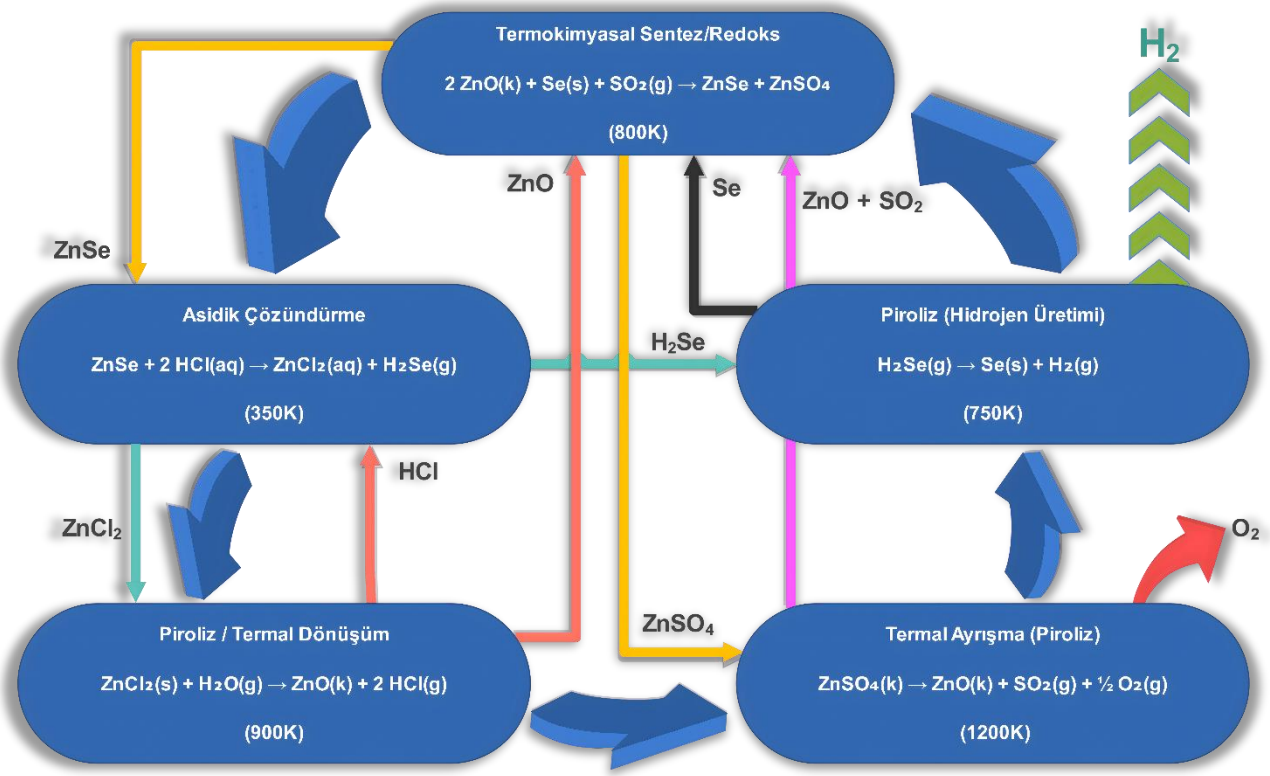
$$\bar{h}(T) - \bar{h}_0 = AT + B\frac{T^2}{2} + C\frac{T^3}{3} + D\frac{T^4}{4} - \frac{E}{T} + F - H \tag{4}$$

$$Q = \sum n_ç \left(\bar{h}_f^0 + \bar{h} - \bar{h}_0\right)_c - \sum n_g \left(\bar{h}_f^0 + \bar{h} - \bar{h}_0\right)_g \tag{5}$$

Bu bağlamda, $\bar{h}$ (kJ/mol) entalpiyi, $\bar{h}_f^0$ (kJ/mol) oluşum entalpisini ve $\bar{h}_0$ (kJ/mol) ise standart entalpiyi ifade etmektedir. Shomate katsayıları temel alınarak entalpi değerlerinin türetilmesi için Eş. 4 kullanılmıştır.

C. Çinko-Selenür (Zn-Se) Termokimyasal Çevrimi

Füzyon-fisyon hibrid reaktöründe Çinko-Selenür (Zn-Se) çevrimi kullanılarak düşük karbon salınımlı hidrojen üretimi nötronik ve termodinamik açıdan kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Çinko-Selenür (Zn-Se) çevrimi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Beş adımlı Çinko-Selenür (Zn-Se) termokimyasal çevriminin şematik gösterimi

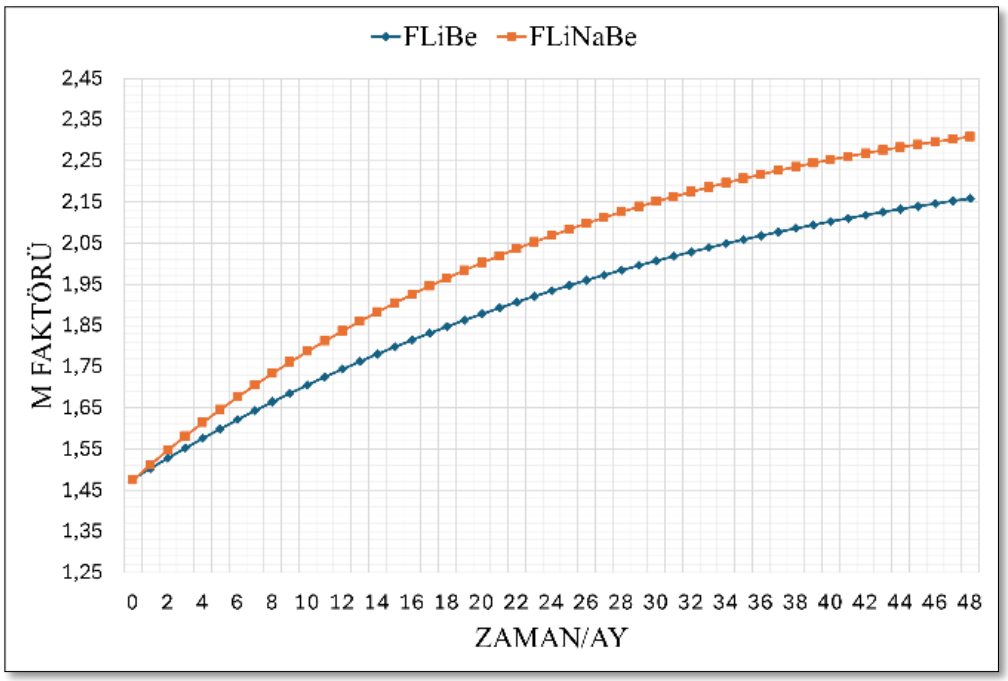
III. BULGULAR

Bu çalışmada, 48 aylık işletim süreci sonunda FLiBe ve FLiNaBe soğutucuları ile trityum üretim oranı (TBR) değerleri 1,05 eşik değerinin üzerinde kalmış ve sürdürülebilir üretim sağlanmıştır. Enerji çoğaltım faktörü (M) FLiBe için 2,16'ya, FLiNaBe için 2,31'e yükselmiştir. Yakıt yanma derecesi (BU) FLiBe ile 47,2 GWd/tM'e, FLiNaBe ile 57,2 GWd/tM'e ulaşmıştır. Toplam fisyon oranı ve ^{233}U üretimi her iki soğutucuda da artmış, toryum tüketimi ise azalmıştır. Termal güç oranı $(1-\psi)$ FLiBe için 0,59'a, FLiNaBe için 0,58'e çıkmıştır. Toplam termal güç (P_{hpf}) ve hidrojen üretim miktarı ($\dot{m}_{H_2}$) her iki soğutucuda da artış göstermiş; hidrojen üretimi FLiBe için 7,61 kg/s, FLiNaBe için yaklaşık 8,23 kg/s olarak belirlenmiştir. Çinko-Selenür (Zn-Se) çevriminin sistem verimi %27,7, çevrim verimi ise %51,5 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 1'de 5 MW/m^2 nötron duvar yükünde, başlangıçtan 48 aylık işletim süresi sonuna kadar farklı soğutucular için ^{6}Li ve ^{7}Li izotoplarının trityum üretimine katkıları ve trityum üretim oranının toplamı (TBR) verilmiştir.

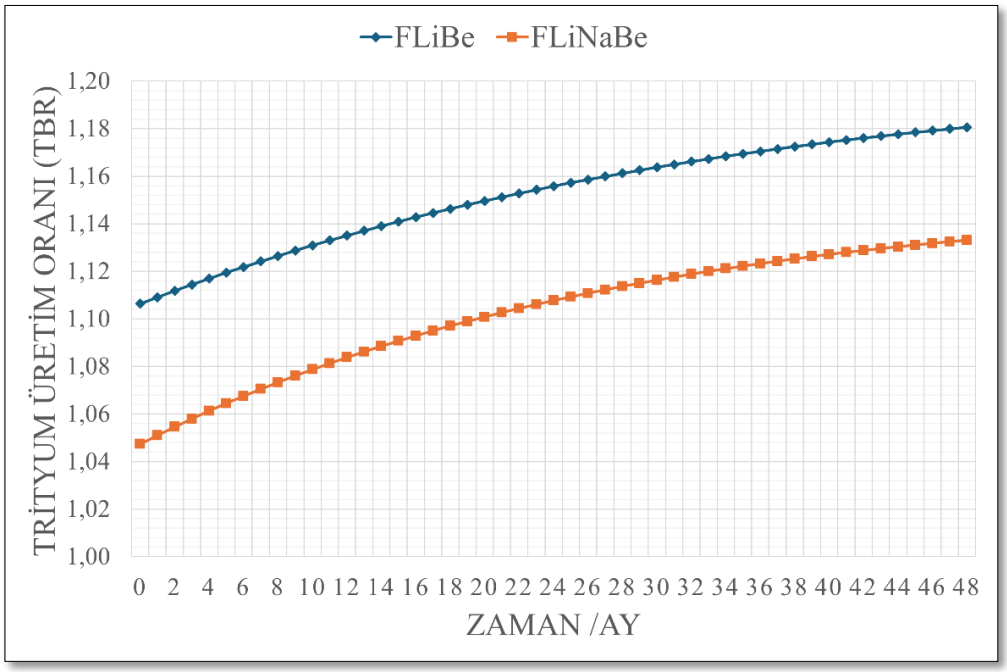
Tablo 1. Farklı soğutucular için trityum üretimi (a: işlem başlangıcı; b: 48 ay sonra)

Nötron Duvar Yükü	5 MW/m^2	
Soğutucu	FLiBe	FLiNaBe
T_6	0,98654 a) 1,05912 b)	0,95763 a) 1,04198 b)
T_7	0,11655 a) 0,11817 b)	0,0868 a) 0,08822 b)
TBR (T_6+T_7)	1,10635 a) 1,18057 b)	1,04733 a) 1,13311 b)



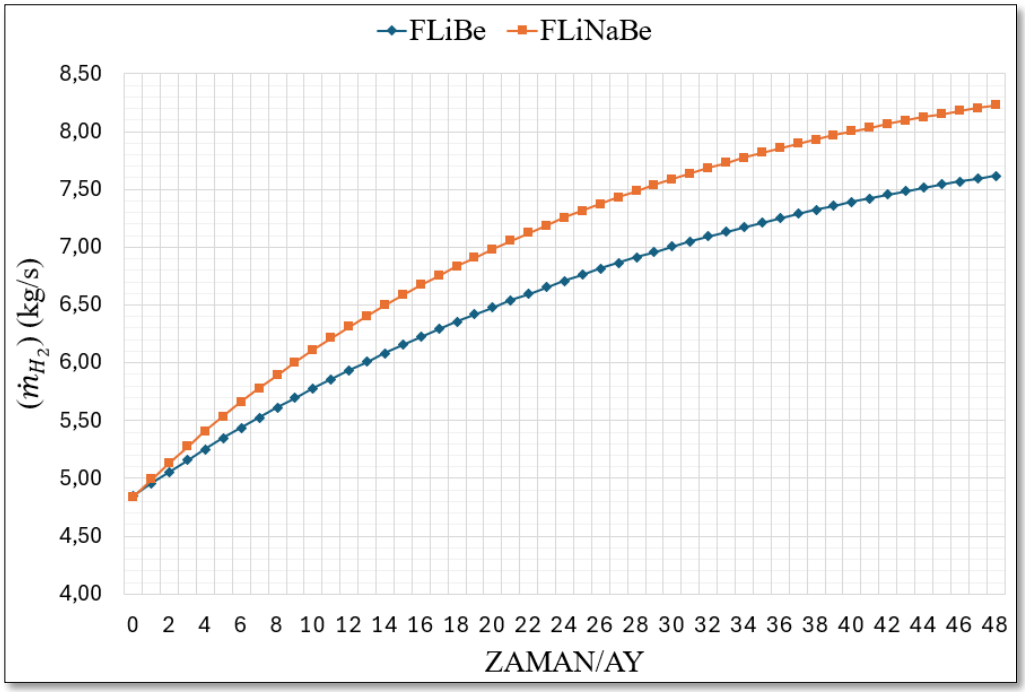
Şekil 3. Farklı soğutucular için enerji çoğaltım faktörü (M)

Şekil 3'te görüldüğü gibi, FLiNaBe soğutucusu, FLiBe soğutucusuna kıyasla daha yüksek enerji çoğaltım faktörü (M) sağlamıştır. Bu durum, FLiNaBe kullanılan hibrid reaktörün daha fazla güç üretmesine olanak tanımış ve böylece çevrime sağlanan enerji miktarını artırarak hidrojen üretimi için daha elverişli bir ortam oluşturmuştur.



Şekil 4. Farklı soğutucular için trityum üretim oranı (TBR)

Şekil 4'te görüldüğü gibi, her iki soğutucu da 48 aylık işletim süresince TBR değerlerini 1,05 eşik seviyesinin üzerinde tutmuş; ancak FLiBe, berilyumun nötron çoğaltımı ve lityumun etkin trityum üretimi sayesinde daha yüksek TBR sağlarken, FLiNaBe'de ise sodyumun düşük nötron etkileşim kesiti nedeniyle trityum üretim oranı (TBR) FLiBe'ye göre düşük kalmıştır.



Şekil 5. Farklı soğutucular için hidrojen üretimi ($\dot{m}_{H_2}$)

Şekil 5'te görüldüğü gibi, hidrojen üretim oranı ($\dot{m}_{H_2}$) her iki soğutucuda da zamanla artış göstermiş; ancak FLiNaBe, daha yüksek termal güç üretimi sayesinde FLiBe'ye kıyasla daha yüksek hidrojen üretim kapasitesine ulaşmıştır.

IV. TARTIŞMA

Bu çalışmada, FLiBe ve FLiNaBe soğutucularının füzyon-fisyon hibrid reaktör performansı üzerindeki etkileri nötronik ve termodinamik parametreler üzerinden değerlendirilmiştir. Her iki soğutucu da trityum üretimi ($\dot{m}_{H_2}$) açısından yeterli performans göstermiştir. Ancak, FLiNaBe'nin enerji çoğaltım faktörü (M) ve hidrojen üretimi ($\dot{m}_{H_2}$) açısından daha yüksek değerler sunması, literatürde yeterince tartışılmamış bir farklılık olarak öne çıkmaktadır.

Önceki araştırmalar, genellikle soğutucu seçimini yalnızca trityum üretim potansiyeline göre değerlendirmiştir. Bu çalışma ise hidrojen üretimi ve toplam termal güç gibi parametreleri detaylı şekilde analiz ederek, füzyon destekli sistemlerin çok yönlü kullanım potansiyeline dair özgün bulgular sunmuştur. Çinko-Selenür (Zn-Se) çevriminin kullanımı ise, mevcut hidrojen üretim çevrimlerine alternatif oluşturacak düzeyde bir verimlilik sergilemiştir.

Ayrıca, sistem verimi ve çevrim verimi değerlerinin elde edilen düzeyleri, mevcut füzyon destekli hidrojen üretim konseptleriyle rekabet edebilir bir performans ortaya koymuştur. Bu da füzyon-fisyon hibrid reaktörlerin, yalnızca elektrik üretimi için değil, aynı zamanda hidrojen gibi stratejik enerji taşıyıcılarının üretiminde de etkin kullanılabileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma, farklı soğutucu seçeneklerinin füzyon-fisyon sistem verimliliği üzerindeki etkilerini nötronik ve termodinamik veriler ışığında kapsamlı bir şekilde değerlendirerek, literatüre özgün bir katkı sunmuş ve Çinko-Selenür (Zn-Se) çevrimi özelinde hidrojen üretimi alanında yeni bir referans oluşturmuştur.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ThO_2 yakıtlı füzyon-fisyon hibrid reaktör sistemi kapsamında Çinko-Selenür (Zn-Se) termokimyasal çevrimi kullanılarak hidrojen üretim performansı nötronik ve termodinamik analizlerle değerlendirilmiştir. SCALE4.4a kodu ile gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

- ✓ FLiBe ve FLiNaBe soğutucularının her ikisinin de 48 aylık işletim süresi boyunca trityum üretim oranı (TBR) değerlerini 1,05 eşik seviyesinin (TBR>1.05) üzerinde tuttuğu ve sürdürülebilir trityum üretimini sağladığı belirlenmiştir.

- ✓ Enerji çoğaltım faktörü (M) açısından, FLiNaBe soğutucusu FLiBe'ye göre daha yüksek bir artış göstermiştir. Benzer şekilde, hidrojen üretim kapasitesi bakımından da FLiNaBe'nin daha yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür.

- ✓ Fisil yakıt ^{233}U üretiminde ise FLiBe'nin, nötron yakalama ve fisil yakıt üretimi süreçlerinde FLiNaBe'ye kıyasla bir miktar daha verimli olduğu tespit edilmiştir.

- ✓ Hidrojen üretim miktarının ($\dot{m}_{H_2}$) FLiBe soğutucusu ile 4,85 kg/s'den 7,61 kg/s'ye, FLiNaBe soğutucusu ile ise yaklaşık 4,84 kg/s'den 8,23 kg/s'ye çıktığı belirlenmiştir.

- ✓ Yakıt yanma derecesi (BU) ve toplam fisyon oranı parametrelerinde FLiNaBe soğutucusunun daha etkin performans sergilediği gözlemlenmiştir. Termal güç oranı ($1-\psi$) açısından ise her iki soğutucu arasında oldukça yakın sonuçlar elde edilmiş; FLiBe'nin 0,01'lik küçük bir farkla daha yüksek bir termal iletim performansı sunduğu belirlenmiştir.

- ✓ Toplam termal güç (P_{hpf}) üretiminde FLiNaBe, FLiBe'ye kıyasla daha yüksek artış sağlamış ve bu doğrultuda sistemin enerji dönüşüm verimliliğini daha etkin desteklemiştir. Çinko-Selenür (Zn-Se) çevriminin genel sistem verimi %27,7, çevrim verimi ise %51,5 olarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, her iki soğutucu da nötronik süreçlerin ve hidrojen üretiminin sürekliliğini desteklemiş; ancak FLiNaBe, toplam enerji üretimi ve hidrojen üretimi açısından daha avantajlı bir performans ortaya koyarken, FLiBe fisil yakıt üretimi ve termal denge açısından kısmi üstünlük sağlamıştır. Bu bulgular, füzyon-fisyon hibrid reaktörlerde soğutucu seçiminin sistem performansı üzerinde kritik bir belirleyici olduğunu göstermekte ve Çinko-Selenür (Zn-Se) çevrimi özelinde literatüre özgün katkılar sunmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi sürecinde değerli katkıları ve akademik destekleri için Doç. Dr. Ramazan ÇAKIROĞLU'na ve Prof. Dr. Adem ACIR'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

[1] A. Chaube, A. Chapman, Y. Shigetomi, K. Huff, and J. Stubbins, "The role of hydrogen in achieving long term Japanese energy system goals," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 17, Sep. 2020, doi: 10.3390/en13174539.

[2] M. Saberi Kamarposhti *et al.*, "A comprehensive review of AI-enhanced smart grid integration for hydrogen energy: Advances, challenges, and future prospects," *Int J Hydrogen Energy*, vol. 67, pp. 1009–1025, May 2024, doi: 10.1016/J.IJHYDENE.2024.01.129.

[3] F. Qureshi *et al.*, "A State-of-The-Art Review on the Latest trends in Hydrogen production, storage, and transportation techniques," *Fuel*, vol. 340, p. 127574, May 2023, doi: 10.1016/J.FUEL.2023.127574.

[4] A. N. Sakib, F. Mehjabin, J. B. Schmidt, M. Haque, K. Saha, and M. M. H. Bhuiyan, “Harnessing Hydrogen: A Comprehensive Literature Review on Strategic Launching Initiatives in the Global Energy Market,” *Int J Energy Res*, vol. 2024, pp. 1–21, Jan. 2024, doi: 10.1155/2024/3265065.

[5] M. T. Ahad, M. M. H. Bhuiyan, A. N. Sakib, A. Becerril Corral, and Z. Siddique, “An Overview of Challenges for the Future of Hydrogen,” Oct. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/ma16206680.

[6] S. G. Nnabuife *et al.*, “The prospects of hydrogen in achieving net zero emissions by 2050: A critical review,” *Sustainable Chemistry for Climate Action*, vol. 2, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.scca.2023.100024.

[7] M. M. Hossain Bhuiyan and Z. Siddique, “Hydrogen as an alternative fuel: A comprehensive review of challenges and opportunities in production, storage, and transportation,” Feb. 10, 2025, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.ijhydene.2025.01.033.

[8] United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), “Paris Agreement on Climate Change,” 2015. Accessed: Jan. 18, 2025. [Online]. Available: : https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement

[9] M. Roelfsema *et al.*, “Taking stock of national climate policies to evaluate implementation of the Paris Agreement,” *Nat Commun*, vol. 11, no. 1, Dec. 2020, doi: 10.1038/s41467-020-15414-6.

[10] Nuclear Energy Agency (NEA), “The Role of Nuclear Power in the Hydrogen Economy,” 2022.

[11] W. M. Stacey, *Fusion-Fission Hybrid Nuclear Reactors For enhanced nuclear fuel utilization and radioactive waste reduction*. 2022.

[12] B. Zohuri and F. Mossavar-Rahmani, “Exploring the Future of Energy The Promise of Fusion-Fission Hybrid Reactors Citation.” [Online]. Available: www.mkscienceset.com

[13] Ş. Asal, “Toryum Nükleer Yakıtlı Lazar Sürücülü Bir Füzyon Reaktöründe Fisil Yakıt ve Hidrojen Üretim Potansiyelinin Araştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü/Gazi Üniversitesi, 2020.

[14] G. Şener, “SOMBRERO Füzyon Reaktöründe Termokimyasal Döngüler Kullanılarak Hidrojen Üretim Potansiyelinin İncelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü/ Gazi Üniversitesi, Ankara, 2024.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

FÜZYON-FİSYON BİR HİBRİD REAKTÖRDE HyS-Cl TERMOKİMYASAL ÇEVRİMİYLE HİDROJEN ÜRETİM POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ

Ali Kurnaz[1*], Ramazan Çakıroğlu [2] ve Adem Acır [3]

[1]*Nükleer Bilimler /Fen Bilimleri Enstitüsi, Gazi Üniversitesi, Türkiye*
[2]*Enerji Sistemleri Mühendiği /Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Türkiye*
[3]*Enerji Sistemleri Mühendiği /Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Türkiye*

[*]*(ali.kurnaz1@gazi.edu.tr)*

Özet – Bu çalışmada, UO_2 yakıtlı bir Hibrit Füzyon-Fisyon Reaktöründe HyS-Cl termokimyasal çevrimi kullanılarak hidrojen üretiminin performansı değerlendirilmiştir. LiH blanket geometrisi için hidrojen üretim miktarları sırasıyla ilk ay 12,46– 48 aylık işletim süreci sonunda 15,88 kg/s aralığında belirlenmiştir. Sistem ve çevrim verimleri, stokiyometrik kütlesel debi hesaplamaları ve Shomate katsayılarından elde edilen entalpi değişimleriyle analiz edilmiştir. Ayrıca nötronik hesaplamalar S_8-P_3 çözümleme yöntemiyle SCALE4.4a nötronik kodu kullanılarak gerçekleşmiştir. 5 MW/m^2 nötron yükü altında LiH blanket geometrisi için M değeri 2,11404'ten 2,61708'e, TBR ise 1,20562'den 1,25335'e yükselmiştir. Bu artışlar, sistemin enerji üretim kapasitesini ve trityum verimliliğini olumlu yönde etkilemiştir. Hesaplamalar sonucunda, HyS-Cl termokimyasal çevriminin sistem verimi tüm süreç boyunca %46,31, çevrim verimi ise %62,91 olarak bulunmuştur. Genel olarak, HyS-Cl çevriminin hem enerji verimliliği hem de üretim kapasitesi açısından etkin bir performans sergilediği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler – Füzyon, fisyon, HyS-Cl, termokimyasal döngü, hidrojen, LiH, trityum, nötron

I. GİRİŞ

Enerji, insanlık tarihinin her döneminde yaşamın temel taşlarından biri olmuş, ateşin keşfinden sanayi devrimine kadar uzanan süreçte medeniyetlerin gelişimini şekillendirmiştir. Günümüzde, tarım, hayvancılık, barınma gibi temel ihtiyaçlar teknolojinin sunduğu imkanlarla birleşerek daha konforlu yaşam alanları yaratırken, bu gelişmelerin temelinde yüksek enerji tüketimi yatmaktadır. Ancak, artan talep karşısında kaynakların hızla tükenmesi ve fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar, sürdürülebilir enerji çözümlerini zorunlu hale getirmiştir. Bu bağlamda, çevre dostu alternatif enerji kaynaklarına yönelim, yalnızca çevresel etkileri azaltmakla kalmamakta, aynı zamanda enerji üretiminde uzun vadeli bir gelecek vizyonu sunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve hibrid sistemlerin kullanımı, enerji talebini karşılamada yenilikçi yaklaşımlar olarak öne çıkmaktadır.

Hidrojen, enerji dönüşüm sürecinde sıfır emisyonlu bir enerji taşıyıcısı olarak dikkat çekmektedir. Fosil yakıtlara alternatif olarak kullanılan hidrojen, küçük ölçekli enerji üretiminden büyük ölçekli kimyasal enerji ihracatına kadar geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Yenilenebilir enerji, nükleer enerji ve fosil yakıtlardan elde edilen hidrojen, karbon emisyonlarını azaltarak çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlar. Özellikle nükleer enerjiyle hidrojen üretimi, düşük karbonlu bir seçenek sunarak geleneksel yöntemlerin çevresel sorunlarına çözüm getirmektedir. IV. Nesil nükleer reaktörler ve Küçük Modüler Reaktör (SMR) tasarımlarındaki ilerlemeler, hidrojen üretimini daha etkin hale getirmiştir.

Bu çalışma, lityum soğutuculu ve UO_2 yakıtlı bir füzyon-fisyon hibrid reaktörde, HyS-Cl termokimyasal çevrimiyle hidrojen üretim potansiyelini araştırmaktadır. Reaktör, nötronik analizlerle desteklenmiş ve SCALE4.4a kodu kullanılarak S_8-P_3 çözümleme yöntemiyle temel performans parametreleri belirlenmiştir. 5 MW/m² nötron duvar yükü altında 48 aylık işletim süreci boyunca trityum üretim oranı (TBR), enerji çoğaltım faktörü (M), yanma oranları ve hidrojen üretim hızı gibi parametreler detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Hibrid reaktörlerin yüksek sıcaklık kapasiteleri, termokimyasal süreçlerle entegre edilerek temiz ve sürdürülebilir hidrojen üretiminde önemli bir fırsat sunmaktadır. Bu bağlamda, çalışmamız nükleer destekli hidrojen üretiminin teknik ve ekonomik fizibilitesini ortaya koymayı amaçlamakta, temiz enerji ve çevresel sürdürülebilirlik açısından literatüre katkı sağlamayı hedeflemektedir.

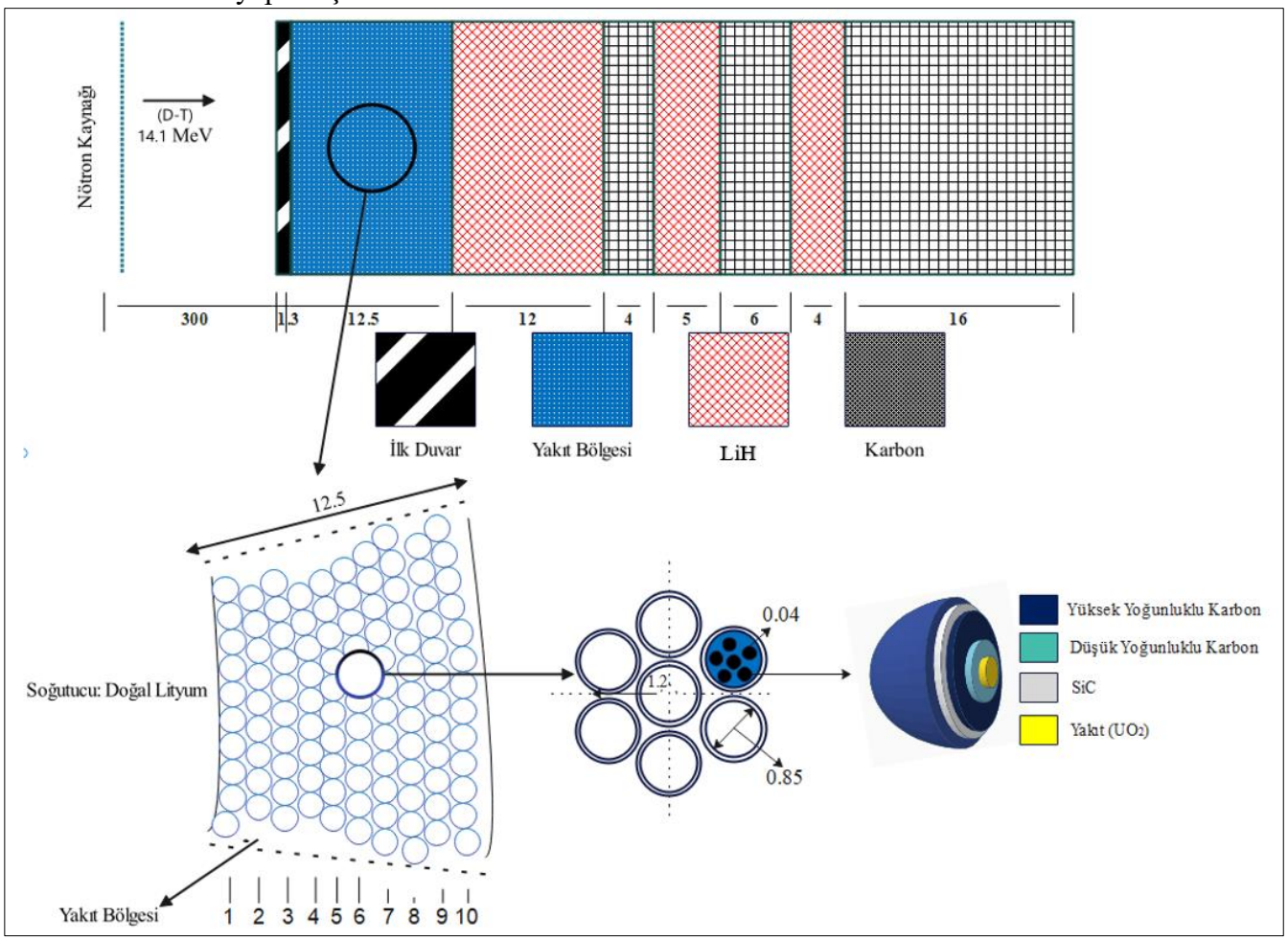
II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Füzyon-Fisyon Hibrid Reaktör Tasarımı

Doğal lityum soğutmalı ve UO_2 yakıtlı bir füzyon-fisyon hibrid reaktörünün merkezinde D-T füzyon nötron kaynağı yer almıştır.

$$D + T \rightarrow {}_4^2He\ (3{,}5\ MeV) + n\ (14{,}1\ MeV) \quad (1)$$

Çevresinde 1,3 cm kalınlığında SS-304 ilk duvar, TRISO kaplamalı UO_2 yakıt bölgesi, LiH içeren katı trityum üreteçleri ile grafit yansıtıcı bölgeler konumlandırılmıştır (Şekil 1) [1]. TRISO yakıt parçacıkları, iç pirolitik karbon (IPyC), silisyum karbür (SiC) ve dış pirolitik karbon (OPyC) katmanlarından oluşur; SiC yüksek termal iletkenlik ve korozyon direnci sağlarken, PyC katmanları radyoaktif sızıntıyı önler [1], [2], [3]. UO_2, yüksek erime noktası (2800°C) ve kimyasal kararlılığı ile tercih edilmiştir; ancak stokiyometrik sapmalar termal iletkenliği etkileyebilir [5]. Nötronik analizler, SCALE4.4a kodu ile S_8-P_3 yöntemi kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 1. Blanket geometrisinin kesit görünümü (cm)

B. Hidrojen Üretim Teorisi

HyS-Cl çevrimiyle hidrojen üretimi, TRISO yakıt kaplamalı hibrid reaktörde gerçekleştirilmiştir. Lityumun yüksek termal verimliliği, yüksek sıcaklık gerektiren termokimyasal döngüler için ideal bir ısı kaynağı sağlar. Nükleer enerji, hidrojen üretiminde ekonomik ve çevresel avantajlar sunar. Reaktör, yenilenebilir enerji sistemleriyle entegre edilerek sürdürülebilir çözümler sunar. Termal güç oranı (1-ψ) ve toplam termal güç (P_{hpf}) [6]:

$$1-\psi = 1-\frac{1}{\eta_{ihx}.\eta_{ds}[Q.x_a.x_n.M)+1].[\eta_{gt}+\varepsilon-\eta_{gt}.x_{net}]}+\frac{\varepsilon}{[\eta_{gt}+\varepsilon-\eta_{gt}.x_{net}]}+\frac{x_{aux}+x_{isf}}{\eta_{ihx}+[\eta_{gt}+\varepsilon-\eta_{gt}.x_{net}]} \quad (2)$$

Eş.2'de termokimyasal döngü için hidrojen üretimine yönlendirilen termal güç oranını hesaplar. Burada ψ, toplam termal gücün elektriksel güce ayrılan payını ifade eder; dolayısıyla $1-\psi$, termal gücün hidrojen üretimine ayrılan kısmıdır. η_{ihx}, ara ısı değiştiricisinin verimliliğini; η_{ds}, sürücü sisteminin verimliliğini; Q, füzyon enerji kazanım oranını; x_a ve x_n, alfa parçacıkları ve nötronların enerji kesirlerini; M, enerji çoğaltım faktörünü; η_{gt}, gaz türbininin verimliliğini; ε, termal ve elektriksel güç oranı sabitini; x_{aux} ve x_{isf}, yardımcı sistem ve izotop ayrıştırma tesisi güç oranlarını temsil eder. Denklem, sistemin enerji dağılımını belirlemek için kullanılır [6].

$$P_{hpf} = (1-\psi)\cdot(1+\varepsilon)\cdot\eta_{ihx}\cdot\frac{P_f}{Q}\cdot[Q\cdot(x_\alpha+x_n\cdot M)+1] \quad (3)$$

Eş.3'tehidrojen üretim tesisinin ihtiyaç duyduğu toplam termal gücü (P_{hpf}) hesaplar. P_f, füzyon güç çıktısını gösterir. Bu denklem, döngünün termal enerji ihtiyacını ve hidrojen üretim kapasitesini belirlemek için kullanılır [6].

C. HyS-Cl Çevrim Tepkimeleri

HyS-Cl çevrimiyle Çevrim tepkimeleri Eş. 4- Eş. 7 arasında verilmiş ve entalpi değerleri Eş.8 ve Eş.9'da gösterilmiştir.

$$Cl_{2(g)} + H_2O_{(g)} \xrightarrow{800^0C} 2HCl_{(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \qquad \Delta H = 116{,}43\ \text{kJ/mol} \quad (4)$$

Bu adımda, klor gazı su buharıyla yüksek sıcaklıkta (800°C) tepkimeye girerek hidroklorik asit ve oksijen gazı üretir. Döngünün oksijen çıkışını sağlayan bu reaksiyon, termokimyasal enerjiyle desteklenir ve çevrimin sürdürülebilirliği için kritik bir başlangıç noktasıdır.

$$2HCl_{(g)} + S_{(s)} + 2FeCl_{2(s)} \xrightarrow{100^0C} H_2S_{(g)} + 2FeCl_{3(s)} \qquad \Delta H = 33{,}515\ \text{kJ/mol} \quad (5)$$

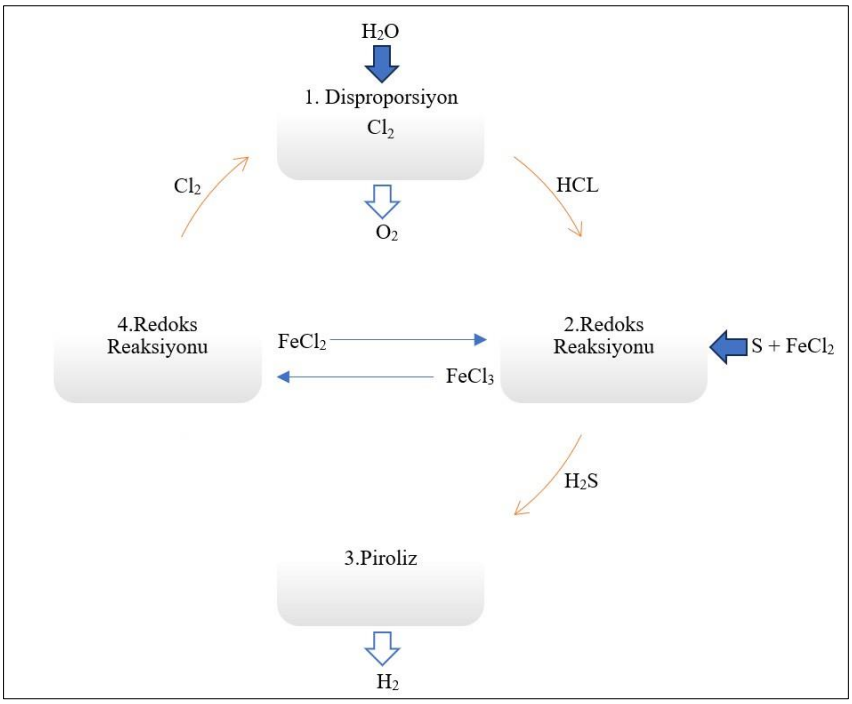
Bu adımda, hidroklorik asit, katı kükürt ve demir (II) klorür, düşük sıcaklıkta (100°C) tepkimeye girerek hidrojen sülfür (H_2S) ve demir (III) klorür üretir. H_2S, döngünün sonraki aşamalarında hidrojen üretimine katkı sağlar.

$$H_2S_{(g)} \xrightarrow{800^0C} H_{2(g)} + \frac{1}{2}S_{2(g)} \qquad \Delta H = 175{,}01\ \text{kJ/mol} \quad (6)$$

Bu adımda, hidrojen sülfür (H_2S) yüksek sıcaklıkta (800°C) ayrılarak hidrojen gazı (H_2) ve kükürt gazı (S_2) üretir. Döngünün hidrojen üretim aşaması olan bu reaksiyon, çevrimin temel hedefini gerçekleştirir [7].

$$2FeCl_{3(l)} \xrightarrow{420^0C} 2FeCl_{2(s)} + Cl_{2(g)} \qquad \Delta H = 56{,}49\ \text{kJ/mol} \quad (7)$$

Döngünün devamı için klor gazı geri kazanılır. Bu reaksiyon, demir (III) klorürün ($FeCl_3$) demir (II) klorüre ($FeCl_2$) indirgenmesi ve klor gazı (Cl_2) üretimiyle ilgilidir. Bu klor, çevrimin bir sonraki döngüsünde tekrar kullanılır



Şekil 2. Hibrid sülfür-klor çevrimi termokimyasal akış şeması

Şekil 2'de çevrimin tüm adımlarının akış şeması ve hidrojenin çıkış adımları gösterilmektedir. Entalpi değişimleri Eş.8 ve Eş.9'daki shomate denklemleriyle hesaplanmıştır [8]. HyS-Cl termokimyasal çevriminin tepkime verim değeri (η) 0,90 olarak kabul edilmiştir.

$$\bar{h}(T) - \bar{h}_0 = AT + B\frac{T^2}{2} + C\frac{T^3}{3} + D\frac{T^4}{4} - \frac{E}{T} + F - H \quad (8)$$

Eş.8'de Shomate modeli kullanılarak bir maddenin belirli bir sıcaklıkta (T) entalpi değişimini ($\bar{h}(T) - \bar{h}_0$) hesaplar. Burada T, Kelvin cinsinden sıcaklık; A, B, C, D, E, F, H, maddenin termodinamik özelliklerini tanımlayan Shomate katsayılarıdır.

$$Q = \sum n_ç(\bar{h}_f^0 + \bar{h} - \bar{h}_0)_ç - \sum n_g(\bar{h}_f^0 + \bar{h} - \bar{h}_0)_g \quad (9)$$

Eş.9'dabir reaksiyonun toplam ısı gereksinimini (Q) hesaplar. ($\sum n_ç(\bar{h}_f^0 + \bar{h} - \bar{h}_0)_ç$), ürünlerin oluşum entalpisi ($\bar{h}_f^0$) ve entalpi değişimlerini; ($\sum n_g(\bar{h}_f^0 + \bar{h} - \bar{h}_0)_g$), reaktanların entalpi katkılarını ifade eder. n, molar sayıyı temsil eder. HyS-Cl döngüsünde Q, döngünün endotermik adımları için gereken toplam enerjiyi hesaplayarak hidrojen üretiminin enerji ihtiyacını belirlenir.

III. BULGULAR

A. Nötronik Analizler

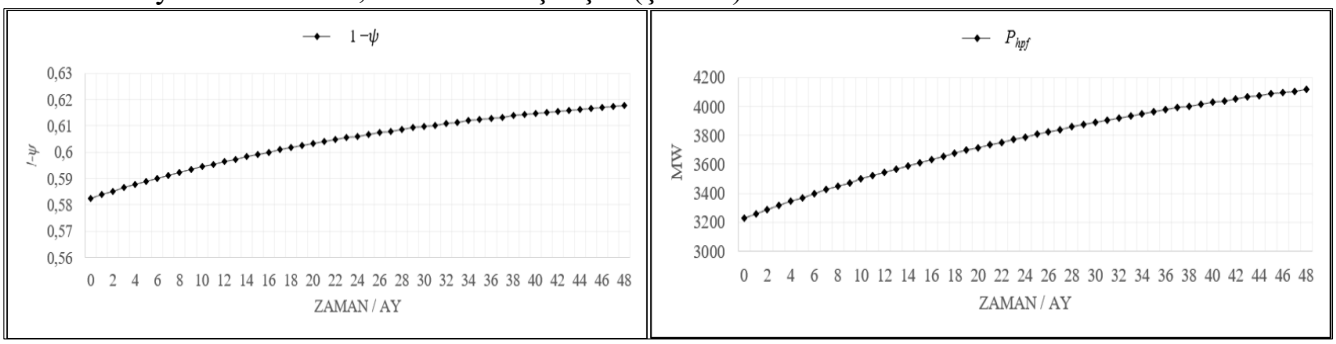
SCALE4.4a kodu kullanılarak S_8-P_3 çözümleme yöntemiyle yapılan analizde aşağıda bulgular elde edilmiştir. Tablo 1'de gösterildiği üzere LiH blanket geometrisinde trityum üretim oranı (TBR), başlangıçta 1,20562 iken 48 ay sonunda %3,97 artışla 1,25335'e yükselmiştir. TBR'nin 1,05'in üzerinde olması, reaktörün trityum sürdürülebilirliğini sağlamaktadır ve enerji çoğaltım faktörü (M), başlangıçta 2,11404 iken 48 ay sonunda %23,8 artışla 2,61708'e ulaşmıştır (Tablo 1). Bu artış, LiH'nin nötron moderasyonu ve fisyonu desteklemesiyle ilişkilidir. Fisyon oranı, başlangıçta 0,05777 iken 48 ay sonunda %59,5 artışla 0,09222'ye yükselmiştir. Bu, fisyon olaylarının zamanla yoğunlaştığını göstermektedir. Yanma oranı (Burnu up), 48 ay sonunda 79,80 GWd/tU olarak ölçülmüştür. Süreç boyunca istikrarlı bir artış gözlenmiştir. Kütlesel olarak incelendiğinde U-235 kütlesi 172,56 g/cm^3'ten 57,97 g/cm^3'e gerilerken, Pu-239 kütlesi 1276,72 g/cm^3'e ulaşmıştır. U-238 kütlesi 24301,20 g/cm^3'ten 19032,40 g/ cm^3'e düşmüştür.

Tablo 1. 5 MW/m² nötron duvar yükü altında LiH katı trityum üretecine bağlı trityum üretimi ve enerji çoğaltım faktörü (a: işlem başlangıcı; b: 48 ay sonra)

Nötron Duvar Yükü	5 MW/m^2
Soğutucu	LiH
Trityum Üretim Oranı (TBR)	1,20562[a)] 1,25335[b)]
Enerji Çoğaltım Faktörü (M)	2,11404 [a)] 2,61708 [b)]

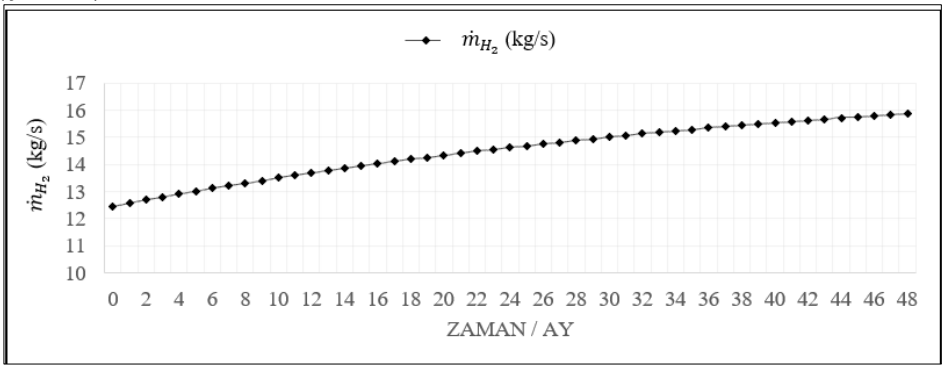
B. Hibrid Reaktör ve Hidrojen Üretim Potansiyeli

Yapılan hesaplamalar sonucunda döngünün toplam ısı gereksinimi, başlangıç bileşiğinin molar kütlesine bölünmesi ile $qtot$: 5,37 MJ/kg değeri bulunmuştur. Ayrıca termal Güç Oranı (1-ψ), başlangıçta 0,5824 iken 48 ay sonunda 0,6175'e yükselmiştir (Şekil 3). Toplam termal güç (P_{hpf}), başlangıçta 3228,67 MW iken 48 ay sonunda 4115,63 MW'a ulaşmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. LiH blanket geometrisinde termal güç oranı (1 -ψ) ve toplam termal güç (P_{hpf}) zamana bağlı değişimi

Hidrojen üretim hızı ($\dot{m}_{H_2}$) başlangıçta 12,46 kg/s iken 48 ay sonunda 15,88 kg/s'ye yükseldiği gözlemlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. LiH blanket geometrisi üzerine entegre hidrojen üretim tesisinde üretilen hidrojen miktarının ($\dot{m}_{H_2}$) zamana bağlı değişimi

IV. TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında, hibrid füzyon-fisyon reaktöründe HyS-Cl termokimyasal döngüsüyle hidrojen üretim performansı değerlendirilmiştir. Hidrojen üretim hızı ($\dot{m}_{H_2}$), LiH blanket geometrisinde 12,46 kg/s'den 15,88 kg/s'ye yükselmiştir (Şekil 4). Bu sonuçlar, diğer reaktörlerle karşılaştırıldığında hibrid reaktörün hidrojen üretim performansını ortaya koymaktadır. SOMBRERO füzyon reaktörü, HyS-Br döngüsünde 3,14–4,52 kg/s ve HyCa-Br döngüsünde 2,63–3,78 kg/s hidrojen üretimi elde etmiştir [9]. PACER füzyon reaktörü, S-I döngüsünde 6,5–12 kg/s ve Fe-Cl döngüsünde 5,6–10,2 kg/s üretim sağlamış [10], LIFE füzyon reaktörü, Cu-Cl (9 kg/s), Co-Cl (4,8 kg/s) ve S-I (7,36 kg/s) döngülerinde

sabit üretim sunmuştur [11]. FFHR füzyon reaktörü, S-I döngüsünde 11,25 kg/s ile bu çalışmada başlangıçta üretilen ($\dot{m}_{H_2}$)'ye yakın bir üretim göstermiştir. Apex füzyon reaktörü ise SMR döngüsünde 60 kg/s üretim sağlarken, HTE (8,60 kg/s) ve S-I (8,40 kg/s) üretim sağlamıştır [6]. HTR-PM fisyon reaktörü, Mg-Cl döngüsünde 2,43 kg/s ile bu tez kapsamında kullanılan hibrid füzyon-fisyon reaktörden daha az hidrojen ürettiği gözlemlenmiştir [12].

V. SONUÇLAR

Bu çalışma, doğal lityum soğutmalı ve UO_2 yakıtlı bir füzyon-fisyon hibrid reaktörde HyS-Cl termokimyasal çevrimiyle hidrojen üretimini değerlendirmiştir. LiH blanket geometrisi için SCALE4.4a nötronik kodu ve S_8-P_3 yöntemiyle temel performans parametreleri belirlenmiştir. Bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- Trityum Üretim Oranı (TBR): Başlangıçta 1,20562 iken, 48 ay sonunda %4,0 artışla 1,25335'e yükselmiştir.
- Enerji Çoğaltım Faktörü (M): Başlangıçta 2,11404 iken, 48 ay sonunda %23,8 artışla 2,61708'e ulaşmıştır.
- Fisyon Oranı: Başlangıçta 0,05777 iken, 48 ay sonunda %59,6 artışla 0,09222'ye çıkmıştır.
- Yanma Oranı: 48 ay sonunda 79,80 GWd/tU olarak ölçülmüştür.
- Fissil Yakıt Üretimi: U-238 kütlesi 24301,20 g/cm^3'ten 19032,40 g/ cm^3'e düşmüştür. U-235 ise 172,56 g/cm^3'ten 57,97 g/cm^3'e gerilemiştir. Pu-239 kütlesi ise 48 ay sonunda 1276,72 g/cm^3'e ulaşmıştır.
- Termal Güç Oranı (1-ψ): Başlangıçta 0,5824 iken, 48 ay sonunda %6,0 artışla 0,6175'e yükselmiştir.
- Toplam Termal Güç (Phpf): Başlangıçta 3228,67 MW iken, 48 ay sonunda %27,5 artışla 4115,63 MW'a ulaşmıştır.
- Hidrojen Üretim Hızı ($\dot{m}_{H_2}$): Başlangıçta 12,46 kg/s iken, 48 ay sonunda %27,47 artışla 15,88 kg/s olmuştur.

KAYNAKLAR

[1] Yıldız, K., & Acır, A. (2003). UC_2 yakıtlı bir hibrid reaktörün farklı nötron kütüphanelerine göre nötronik performanslarının karşılaştırılması. Politeknik Dergisi, 6(2), 465-473.

[2] Schappel, D., Terrani, K., Powers, J., Snead, L., & Wirth, B. (2018). Modeling the performance of TRISO-based fully ceramic matrix (FCM) fuel in an LWR environment using BISON. Nuclear Engineering and Design, 335, 216-228

[3] Chen, M., Wu, B., Zhou, L., Zhu, Y., & Wu, H. (2020). Micromechanical properties of pyrolytic carbon with interlayer crosslink. Carbon, 159, 549-560.

[4] Voice, E. H. (1969). Silicon carbide as a fission product barrier in nuclear fuels. In Proceedings of the International Conference on Silicon Carbide (pp. S331-S339). University Park, Pennsylvania.

[5] Simnad, T. M. (2003). Nuclear reactor materials and fuels. In Encyclopedia of Physical Science and Technology (3rd ed., pp. 775-815). Academic Press

[6] Genç, G. (2010). Hydrogen production potential of APEX fusion transmuter fueled minor actinide fluoride. International Journal of Hydrogen Energy, 35(19), 10190-10201

[7] 61. Funk, J. E. (2001). Thermochemical hydrogen production: Past and present. International Journal of Hydrogen Energy, 26(3), 185-190

[8] NIST Chemistry WebBook. (2025). National Institute of Standards and Technology

[9] Şener, G. (2024). SOMBRERO füzyon reaktöründe termokimyasal döngüler kullanılarak hidrojen üretim potansiyelinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Simnad, T. M. (2003). Nuclear reactor materials and fuels. In Encyclopedia of Physical Science and Technology (3rd ed., pp. 775-815). Academic Press

[10] Özkaya, M. (2024). PACER füzyon reaktöründe enerji ve hidrojen üretiminin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

[11] Asal, Ş., & Acır, A. (2023). Evaluation and comparison of hydrogen production potential of the LIFE fusion reactor by using copper-chlorine (Cu-Cl), cobalt-chlorine (Co-Cl) and sulfur-iodine (S-I) cycles. International Journal of Hydrogen Energy, 48(60), 22791-22805.

[12] Asal, Ş., Acır, A., & Dinçer, İ. (2024). A study on integrated HTR-PM driven hydrogen production using thermochemical cycles. Energy Conversion and Management, 307, 118336

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Nanoparticles Levitated in a Paul Trap: Advances and Applications

İlhan CANDAN[*1]

[1]*Physics Department/ Science Faculty, Dicle University, Turkey*

[*]*(ilhancndn@gmail.com) Email of the corresponding author*

Abstract **–** Levitating nanoparticles using Paul traps - originally developed for charged atomic and molecular ions - has emerged as a powerful technique for investigating fundamental physics, precision sensing, and quantum control at mesoscopic scales. This paper reviews recent advances in the manipulation of nanoparticles in radiofrequency (RF) quadrupole traps (Paul traps), focusing on developments in control techniques, cooling strategies, and sensing capabilities. We also explore diverse applications ranging from quantum thermodynamics and Casimir force measurements to high-sensitivity force detection and inertial sensing, highlighting the unique advantages and future directions of this rapidly evolving field.

Keywords – Paul trap, nanoparticles, levitation, RF, cooling

I. INTRODUCTION

Paul traps, or RF quadrupole traps, have long served as key tools in atomic and molecular physics, facilitating the confinement and control of single ions for high-precision experiments [1]. In recent years, these traps have been successfully adapted for use with charged nanoparticles—typically in the range of tens to hundreds of nanometers in diameter—creating new opportunities for fundamental research and technology development [2, 3]. Unlike optical traps, Paul traps offer the advantage of minimal photon recoil and heating, enabling long coherence times and extremely stable confinement. The adaptation of Paul traps to nanoparticles represents a convergence of atomic physics, nanotechnology, and quantum optics, promising novel applications in both classical and quantum domains.

II. PRINCIPLES OF PAUL TRAPPING FOR NANOPARTICLES

A Paul trap confines charged particles using a combination of static and oscillating electric fields, typically generated by applying RF voltages to a set of electrodes arranged in a quadrupolar geometry. The dynamic confinement arises from the time-averaged ponderomotive potential experienced by the charged particle in the oscillating field. For nanoparticles, which may carry a net charge from laser ablation, electrospray, or plasma loading, the basic principles of confinement remain valid, though the mass-to-charge ratio is much higher than for atomic ions [4].

To achieve stable levitation, the Mathieu parameters must be carefully tuned to account for the size, charge state, and damping environment of the nanoparticle. Typically, experiments are conducted in high vacuum (below 10^{-5} mbar) to minimize gas damping and allow for precise motion control and feedback-based cooling [5].

III. COOLING AND CONTROL TECHNIQUES

Thermal motion of nanoparticles in a Paul trap poses a challenge for high-precision applications. As such, several techniques have been developed to cool the center-of-mass motion of trapped particles [6, 7].

3.1. Feedback Cooling

By monitoring the position of the particle (usually via scattered light detection) and applying real-time feedback to the trap electrodes, it is possible to cool the particle's motion from room temperature to the millikelvin regime. Digital feedback systems enable precise control over multiple degrees of freedom, allowing 3D cooling and stabilization.

3.2. Parametric and Cavity Cooling

Parametric cooling leverages modulation of the trapping potential at twice the motional frequency to remove energy from the system. In cavity-based schemes, a nanoparticle interacts with a high-finesse optical cavity field, enabling optomechanical cooling through radiation pressure or photothermal effects. Though more commonly applied to optical traps, adaptations of cavity cooling principles have been proposed for RF traps as well.

3.3. Cryogenic Operation

Operating the Paul trap apparatus at cryogenic temperatures naturally reduces thermal noise and blackbody radiation, further suppressing decoherence and enabling longer coherence times for quantum measurements.

IV. SENSING APPLICATIONS

Nanoparticles in Paul traps have demonstrated exceptional sensitivity to external forces, electric fields, and temperature fluctuations, making them ideal for precision sensing [8].

4.1. Force and Acceleration Sensing

The high quality factor of levitated particles in vacuum enables force sensitivities in the attonewton range. Applications include searches for weak forces (e.g., dark matter interactions), Casimir forces near surfaces, and short-range deviations from Newtonian gravity. Paul traps have also been configured for accelerometry, offering compact, high-performance inertial sensors.

4.2. Electric and Magnetic Field Sensing

Due to their charge, levitated nanoparticles respond sensitively to electric fields. Modulated field signals can be detected with high precision by observing driven motion in the trap. Magnetic field sensing is achievable by coating particles with magnetic materials or embedding magnetic nanoparticles within dielectric spheres.

V. QUANTUM APPLICATIONS

A major frontier in levitated nanoparticle research is the exploration of quantum behavior in mesoscopic systems. While optical traps dominate current quantum optomechanics experiments, Paul traps offer unique advantages for low-noise operation [9].

5.1. Macroscopic Quantum Superpositions

Several proposals suggest using Paul-trapped nanoparticles to realize quantum superpositions of spatially separated states, enabling experimental tests of quantum mechanics at macroscopic scales, such as spontaneous wavefunction collapse models.

5.2. Matter-Wave Interferometry

Efforts are underway to develop interferometric protocols in which nanoparticles are delocalized over micrometer-scale distances and then recombined to observe interference. Paul traps provide the necessary isolation and stability to pursue such experiments.

VI. RECENT ADVANCES AND EXPERIMENTAL DEMONSTRATIONS

Recent experimental milestones include:

Sub-kelvin cooling of levitated silica nanoparticles using hybrid optical-electrical feedback.

Stable levitation of particles for days in high vacuum without significant heating.

Observation of quantized motional states under cryogenic conditions.

Development of multi-particle traps for studying interactions and collective dynamics.

Several research groups have also demonstrated the use of levitated nanoparticles as testbeds for nonequilibrium thermodynamics, exploring stochastic work, entropy production, and fluctuation theorems at the nanoscale.

VII. CHALLENGES AND FUTURE DIRECTIONS

Despite significant progress, several challenges remain:

Charge Stability: The net charge of nanoparticles can fluctuate due to cosmic rays or interactions with background gas, leading to trap instability.

Size and Shape Control: Manufacturing nanoparticles with consistent properties is essential for reproducibility and scalability.

Quantum State Preparation: Techniques for initializing and measuring quantum states in trapped nanoparticles are still in early stages.

Future directions include integration with on-chip electronics for portable sensing, coupling to superconducting qubits for hybrid quantum systems, and implementing protocols for entanglement and quantum error correction in mesoscopic particles.

VIII. CONCLUSION

Paul traps have evolved from tools for atomic ion manipulation into versatile platforms for the study and application of levitated nanoparticles. With advances in cooling, control, and detection, these systems are now at the forefront of precision measurement and quantum technology development. Continued progress in this field promises new insights into fundamental physics and novel applications in sensing, metrology, and quantum information science.

IX. REFERENCES

[1] L. S. Brown, "Quantum motion in a Paul trap," *Physical Review Letters,* vol. 66, no. 5, p. 527, 1991.

[2] S. K. Löfgren, R. M. Fragoso, J. Weidow, and J. Enger, "The Mechanical Paul Trap: Introducing the Concept of Ion Trapping," *The Physics Teacher,* vol. 61, no. 9, pp. 762-765, 2023.

[3] D. Carney, H. Häffner, D. C. Moore, and J. M. Taylor, "Trapped electrons and ions as particle detectors," *Physical review letters,* vol. 127, no. 6, p. 061804, 2021.

[4] E. Bonvin, "Hybrid Traps for Coherent State Expansion of a Levitated Nanoparticle," ETH Zurich, 2023.

[5] C. Gonzalez-Ballestero, M. Aspelmeyer, L. Novotny, R. Quidant, and O. Romero-Isart, "Levitodynamics: Levitation and control of microscopic objects in vacuum," *Science,* vol. 374, no. 6564, p. eabg3027, 2021.

[6] Z. Chen, J. Li, and Y. Zheng, "Heat-mediated optical manipulation," *Chemical reviews,* vol. 122, no. 3, pp. 3122-3179, 2021.

[7] Y. Ren and M. Green, "Micro-Levitated Electromechanics," King's College London, 2023.

[8] F. Zhang, P. Camarero, P. Haro-González, L. Labrador-Páez, and D. Jaque, "Optical trapping of optical nanoparticles: Fundamentals and applications," *Opto-Electronic Science,* vol. 2, no. 9, pp. 230019-1-230019-23, 2023.

[9] G. Gasbarri *et al.*, "Testing the foundation of quantum physics in space via Interferometric and non-interferometric experiments with mesoscopic nanoparticles," *Communications Physics,* vol. 4, no. 1, p. 155, 2021.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Petrol fiyatının sanayi üretimi üzerindeki etkisi: Net petrol ithalatçısı ülkelerden kanıtlar

Kadir Karagöz[1]

[1]*Ekonometri Bölümü, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye*

kadir.karagoz@cbu.edu.tr

Özet – Bu ampirik çalışmada, petrol fiyatlarındaki dalgalanmaların petrol ithalatçısı bir grup ülkenin sanayi üretimi üzerindeki asimetrik etkileri incelenmektedir. Doğrusal olmayan Otoregresif Dağıtılmış Gecikme (NARDL) modeli kullanılarak gerçekleştirilen analiz, petrol fiyatlarındaki hem artışların hem de azalışların sanayi üretimi üzerinde anlamlı ve pozitif etkiler yarattığını ortaya koymaktadır. Bu bulgu, geleneksel literatürdeki doğrusal yaklaşımlardan sapmakta ve petrol fiyatı şoklarıyla sanayi üretimi arasındaki ilişkinin karmaşıklığını ve doğrusal olmadığını göstermektedir.

Petrol fiyatlarındaki düşüşler, girdi maliyetlerini azaltarak ve tüketici talebini canlandırarak sanayi üretimini desteklerken, fiyatlardaki yükselişler ise enerji sektörüne yönelik yatırımları teşvik etme, ülke sanayisinin göreceli rekabet gücünü artırma ve kısa vadeli enflasyon beklentilerini tetikleme gibi mekanizmalar aracılığıyla sanayi üretimini olumlu etkileyebilmektedir. NARDL modelinin asimetrik etkileri yakalama kabiliyeti bu beklenmedik sonuçların daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır.

Elde edilen sonuçlar, enerji politikalarının ve sanayi stratejilerinin formülasyonunda petrol fiyatı şoklarının doğrusal olmayan ve potansiyel olarak pozitif etkilerinin de dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Gelecek araştırmalar, bu asimetrik etkilerin altında yatan sektörel dinamikleri ve ülke özelindeki farklılıkları daha derinlemesine inceleyerek politika yapıcılar için daha incelikli çıkarımlar sunabilir. Ayrıca çalışma, petrol fiyatı dalgalanmaları ve sanayi üretimi arasındaki ilişkiyi anlamak için doğrusal olmayan modellemenin önemini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler – Sanayi üretimi, petrol fiyatı, petrol ithalatçısı ülkeler, panel veri, (N)ARDL yöntemi

I. GİRİŞ

Enerji, modern sanayi üretiminin vazgeçilmez bir girdisidir ve petrol, küresel enerji tüketiminde önemli bir paya sahiptir. Bu nedenle, petrol fiyatlarındaki keskin ve öngörülemeyen dalgalanmalar, sanayi sektörünün maliyet yapısını, üretim planlarını ve genel ekonomik performansını derinden etkileyebilme potansiyeline sahiptir. Son yıllarda jeopolitik gerilimler, arz-talep dengesizlikleri, küresel ekonomik büyüme beklentilerindeki değişimler ve çevresel düzenlemeler gibi çeşitli faktörler petrol piyasasında önemli üretim ve fiyat oynaklıklarına yol açmıştır. Bu durum, sanayi üreticileri için hem bir risk unsuru oluşturmakta hem de stratejik karar alma süreçlerinde dikkate alınması gereken kritik bir değişken haline gelmektedir.

Sanayi üretimi, bir ülkenin ekonomik büyümesinin temelini oluşturan ve istihdam yaratma kapasitesi yüksek olan bir sektördür. Petrol fiyatlarındaki artışlar, doğrudan enerji maliyetlerini yükselterek sanayi ürünlerinin üretim maliyetlerini artırabilir. Bu durum, üreticilerin kârlılıklarını olumsuz etkileyebilir ve nihayetinde tüketici fiyatlarına yansıyarak enflasyonist baskılara neden olabilir. Özellikle enerji yoğun sektörlerde (örneğin, petrokimya, demir-çelik, çimento) bu etki daha belirgin bir şekilde hissedilebilir. Artan maliyetler, firmaların üretim kapasitelerini düşürmelerine, yatırım kararlarını ertelemelerine veya hatta bazı durumlarda faaliyetlerini durdurmalarına yol açabilir.

Öte yandan, petrol fiyatlarındaki düşüşler ise sanayi üreticileri için bir maliyet avantajı yaratabilir. Azalan enerji maliyetleri, firmaların kârlılıklarını artırabilir, üretim hacimlerini genişletmelerine olanak sağlayabilir ve rekabet güçlerini artırabilir. Bu durum, genel ekonomik aktivite üzerinde olumlu bir etki yaratma potansiyeline sahiptir. Ancak, petrol fiyatlarındaki ani ve sert düşüşler, talep yetersizliğinin veya küresel ekonomik yavaşlamanın bir işareti olarak algılanabilir ve bu durum, sanayi üreticilerinin geleceğe yönelik beklentilerini olumsuz etkileyebilir.

Literatürde, petrol fiyatlarındaki dalgalanmaların makroekonomik değişkenler ve sektörel performans üzerindeki etkilerini inceleyen çok sayıda ampirik çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar genellikle petrol fiyatlarındaki şokların enflasyon, yatırım ve tüketim gibi değişkenler üzerindeki simetrik etkilerini vurgulamaktadır. Ancak, petrol fiyatlarındaki aşağı ve yukarı yönlü hareketlerin sanayi üretimi üzerindeki farklılaşabilen etkileri konusu üzerinde pek durulmadığı görülmektedir. Bazı çalışmalar, petrol fiyatlarındaki artışların düşüşlere kıyasla sanayi üretimi üzerinde daha güçlü ve olumsuz bir etkiye sahip olduğunu ileri sürmektedir. Bununla birlikte, bu etkinin büyüklüğü ve yönü, ülkenin ekonomik yapısı, enerji bağımlılık düzeyi, sanayi sektörünün özellikleri ve uygulanan ekonomik politikalar gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, petrolde dışa bağımlı (net ithalatçı) ekonomiler özelinde petrol fiyatlarındaki dalgalanmaların sanayi üretimi üzerindeki etkilerini ampirik olarak detaylı bir şekilde analiz etmektir. Çalışmada zaman serisi analiz yöntemleri kullanılarak, petrol fiyatlarındaki şokların sanayi üretim endeksi üzerindeki kısa ve uzun dönemli asimetrik etkileri incelenmektedir. Elde edilen bulgular, enerji politikalarının oluşturulması, sanayi sektörünün rekabet gücünün artırılması ve ekonomik istikrarın sağlanması açısından önemli çıkarımlar sunması beklenmektedir. Ayrıca, bu çalışma, literatürdeki mevcut tartışmalara asimetrik ilişki bağlamında yeni bir perspektif kazandırarak alana katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

II. İLGİLİ TEORİK VE AMPİRİK LİTERATÜR

Petrol fiyatlarındaki dalgalanmaların ekonomik etkileri, uzun yıllardır iktisat literatürünün önemli bir araştırma alanı olmuştur. Teorik çerçevede, bu ilişki genellikle maliyet kanalı ve talep kanalı üzerinden açıklanmaktadır. Maliyet kanalı, petrolün sanayi üretiminde doğrudan veya dolaylı bir girdi olması nedeniyle fiyat artışlarının üretim maliyetlerini yükselttiğini ve dolayısıyla arzı azalttığını öne sürer. Bu durum, sanayi üretiminde düşüşe ve fiyatlarda artışa yol açabilir. Talep kanalı ise petrol fiyatlarındaki artışların hane halkının ve firmaların harcanabilir gelirini azaltarak toplam talebi düşürebileceğini ve bunun da sanayi üretimini olumsuz etkileyebileceğini savunur. Tersine, petrol fiyatlarındaki düşüşler bu kanallar aracılığıyla sanayi üretimi üzerinde olumlu etkiler yaratabilir.

Neoklasik büyüme modelleri gibi daha genel makroekonomik modellerde, enerji fiyatlarındaki şoklar üretim fonksiyonunda bir girdi fiyatı değişimi olarak ele alınır. Yüksek enerji fiyatları, verimliliği düşürebilir ve uzun dönemli büyüme potansiyelini olumsuz etkileyebilir. Keynesyen iktisat ise, petrol fiyatlarındaki dalgalanmaların beklentiler ve yatırım kararları üzerindeki psikolojik etkilerini vurgular. Belirsizlik ortamının artması, firmaların yatırım iştahını azaltabilir ve bu da sanayi üretiminde daralmaya neden olabilir.

Ampirik literatür, petrol fiyatlarındaki dalgalanmaların sanayi üretimi üzerindeki etkilerini inceleyen geniş bir yelpazeye sahiptir. Hamilton (1983) gibi öncü çalışmalar, petrol fiyatı şoklarının ABD ekonomisi üzerindeki resesyonist etkilerini ortaya koymuştur. Bu çalışmalar, genellikle petrol fiyatlarındaki ani ve büyük artışların ekonomik aktivite üzerinde daha belirgin ve olumsuz etkiler yarattığını göstermektedir. Herrera vd. (2011) reel petrol fiyatından ABD sanayi üretimine ve sektörel bileşenlerine asimetrik ve doğrusal olmayan geri besleme etkisini test etmişler ve bu tür bir geri beslemenin tahmin dönemine duyarlı olduğunu göstermişlerdir. 1973 petrol krizi öncesi dönemde doğrusal olmayan bir ilişki yönünde kanıtlar güçlü iken, 1973 sonrası veriler kullanıldığında, simetriye karşı kanıtlar önemli ölçüde zayıflamaktadır. Bununla birlikte, özellikle üretimde enerji yoğun olan (kimyasallar gibi) veya kullanımda enerji yoğun olan mallar üreten (ulaşım ekipmanları gibi) endüstriler için, ayrıştırılmış düzeyde asimetri olduğuna dair güçlü kanıtlar vardır.

Bölgesel ve ülke bazlı çalışmalarda ise farklı sonuçlar elde edilmiştir. Gelişmekte olan ülkelerde, enerji bağımlılığının yüksek olması ve sanayi yapısının enerji yoğun sektörlere dayanması nedeniyle petrol fiyatı şoklarının sanayi üretimi üzerindeki etkisinin daha güçlü olduğu gözlemlenmiştir. Bayar ve Kılıç (2014), 18 AB ülkesi için yürüttükleri panel veri analizinde Brent petrol ve doğal gaz fiyatlarının sanayi üretimiyle negatif ilişkili olduğu yönünde bulguya ulaşmışlardır. Bazı çalışmalar, petrol ihraç eden ülkelerde ise yüksek petrol fiyatlarının sanayi üretimi üzerinde kısa vadede olumlu etkiler yaratabileceğini, ancak uzun vadede kaynak bağımlılığı ve diğer sektörlerin ihmali nedeniyle olumsuz sonuçlar doğurabileceğini göstermiştir.

Sonraki dönemlerde yapılan ampirik çalışmalar, bu ilişkinin doğrusal olmadığını ve petrol fiyatlarındaki artışların düşüşlere kıyasla sanayi üretimi üzerinde daha asimetrik ve olumsuz etkiler yarattığını ileri sürmüştür (örneğin, Mork, 1989; Lee ve Ni, 2002; Eatayib, 2022). Bu asimetri, firmaların ve tüketicilerin fiyat artışlarına karşı daha hassas olmaları ve bu duruma daha hızlı tepki vermeleriyle açıklanmaktadır. Ayrıca, petrol fiyatlarındaki artışların yarattığı belirsizlik ortamının yatırım ve üretim kararlarını olumsuz etkilemesi de bu asimetriye katkıda bulunabilir.

Teorik literatür petrol fiyatlarındaki dalgalanmaların sanayi üretimi üzerindeki potansiyel etkilerini maliyet ve talep kanalları aracılığıyla açıklarken, ampirik literatür bu ilişkinin karmaşık ve doğrusal olmadığını, genellikle fiyat artışlarının daha olumsuz etkiler yarattığını ve ülke özelinde farklılıklar gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Bu çalışma, petrol ithalatçısı ekonomiler bağlamında bu ilişkiyi daha derinlemesine inceleyerek literatüre katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

III. YÖNTEM, MODEL VE VERİ

Çalışmada petrol fiyatlarındaki aşağı ve yukarı yönlü hareketlerin sanayi üretimi üzerindeki etkisinin farklılık gösterip göstermediğini araştırmak üzere panel NARDL yöntemine başvurulmaktadır. Zaman serileri arasındaki asimetrik uzun dönem ilişkisini araştırmak üzere Shin vd. (2014) tarafından önerilen doğrusal olmayan ARDL (NARDL) yöntemi, Pesaran vd. (2001) tarafından geliştirilmiş olan ARDL modeline dayalı sürecin bir versiyonudur. Panel NARDL ise bu yöntemin panel veri yapısına uyarlanmış biçimidir.

NARDL yöntemi, kısa ve uzun dönemli asimetrileri yakalayan dinamik bir hata düzeltme modeli içerir. Aynı zamanda bu yöntem tek bir denklem aracılığıyla eşbütünleşme ve asimetrik doğrusal-dışılığa izin verir (Lukman vd., 2019). NARDL ve geleneksel ARDL, tümüyle I(1) veya karma derecede bütünleşik değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkisini araştırma konusunda güvenilir ve doğru sonuçlar sağlamada klasik çok değişkenli regresyon modeline göre çok daha başarılıdır.

Bir ARDL modelinin panel versiyonu jenerik olarak şöyle yazılabilir:

$$\Delta y_{it} = \delta + \rho y_{i,t-1} + \theta x_{i,t-1} + \sum_{j=1}^{p-1} \alpha_j \Delta y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^{q-1} \beta_j \Delta x_{i,t-j} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$

$$i = 1,2,\dots,N \qquad t = 1,2,\dots,T \text{ için}$$

Burada ρ ve θ uzun dönem katsayıları, α_j ve β_j kısa dönem katsayılarıdır. μ_i ve $\lambda_t$ise sırasıyla birim ve zaman etkilerini göstermektedir. Shin vd. (2014) yukarıdaki ARDL(p,q) modelinde $x_{i,t}$'deki pozitif ve negatif kümülatif değişimleri ayrıştırıp modele açıklayıcı değişken olarak ekleyerek modeli doğrusal olmayan bir karaktere kavuşturmuştur. Kümülatif toplamlar aşağıdaki şekilde türetilmektedir:

$$x_{it}^{+} = \sum_{s=1}^{T} \Delta x_{is}^{+} = \sum_{s=1}^{T} \max(\Delta x_{is}, 0)$$

$$x_{it}^{-} = \sum_{s=1}^{T} \Delta x_{is}^{-} = \sum_{s=1}^{T} \min(\Delta x_{is}, 0)$$

Bu kümülatif bileşenler modelde $x_{i,t}$ yerine ikame edildiğinde model aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\Delta y_{it} = \delta + \rho y_{i,t-1} + \theta^{+} x_{i,t-1}^{+} + \theta^{-} x_{i,t-1}^{-} + \sum_{j=1}^{p-1} \alpha_j \Delta y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^{q-1} (\beta_j^{+} x_{i,t-1}^{+} + \beta_j^{-} x_{i,t-1}^{-})$$

$$+\mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$

Burada θ^+ ve β_j^+ sırasıyla petrol fiyatındaki uzun ve kısa dönemli pozitif şokların etkisini, θ^- ve β_j^- ise sırasıyla uzun ve kısa dönemli negatif şokların etkisini temsil etmektedir. Uzun ve kısa dönemli asimetrik etkinin varlığını araştırmak için sırasıyla $\theta^+ = \theta^-$ ve $\beta_j^+ = \beta_j^-$ şeklindeki sıfır hipotezlerini Wald testi ile sınamak gerekmektedir. Sıfır hipotezlerinin reddedilememesi simetriye, reddedilebilmesi ise asimetrik etkileşimin varlığına işaret eder.

Araştırmanın örnekleminde çeşitli gelişmişlik seviyelerinden 29 net petrol ithalatçısı ülkeye yer verilmiştir (ülke listesi için bkz. Ek). Bu ülkeler hem nüfus hem de sanayi sektörünün toplam ekonomi içindeki ağırlığı bakımından farklılık göstermektedirler. Ayrıca petrol ithalatı açısından da ülkeler arasında ciddi farklılıklar vardır. Bazı ülkeler petrol ihtiyacının neredeyse tümünü ithalat yoluyla karşılarken bazı ülkeler önemli oranda yerli üretime sahiptir. Bu nedenle ham petrol fiyatlarındaki değişimin sanayi üretimine etkisinin de ülkeden ülkeye farklılık göstermesi beklenebilir.

Analizde sanayi üretiminin göstergesi olarak sanayi üretim endeksi, petrol fiyatlarının göstergesi olarak ise Brent petrol varil fiyatı esas alınmıştır. Örneklemdeki ülkelerin neredeyse tamamı Avrupa'da yer aldığından bu bölgede yaygın olarak kullanılan Brent petrol fiyatı tercih edilmiştir. Sanayi üretim endeksi verileri IMF'nin online veritabanından, Brent petrol varil fiyatları ise Amerikan Enerji İdaresi (EIA) verilerinden derlenmiştir. Her bir seri için 2011 Ocak – 2023 Aralık dönemine ait aylık veriler (toplam 4524 gözlem) kullanılmıştır.

IV. BULGULAR

Zaman serileri analizinde olduğu gibi zaman boyutu kayda değer bir derinliğe ulaşan panel veri analizlerinde de standart uygulama ilk olarak serilerin durağanlık özelliklerini incelemek ve gerekiyorsa eşbütünleşme analizine başvurmaktır. Panel veri analizinde durağanlık araştırması için kullanılan birim-kök testleri serilerin yatay-kesitsel bağımlılık içerip içermemesine göre farklılaşmaktadır. Tablo 1'de verilen dört farklı testin sonuçlarına göre her iki seri de yatay-kesitsel bağımlılık içermektedir. Bu nedenle SÜE serisinin durağanlık araştırması ikinci nesil birim-kök testlerinden biri olan Bai ve Ng (2004) tarafından geliştirilen PANIC (Panel Analysis of Nonstationarity in Idiosyncratic and Common Components) testi ile araştırılmıştır. Öte yandan, örneklemdeki hiçbir birim tek başına ham petrol fiyatını etkileme gücüne sahip olmadığından Brent petrol fiyatı tüm birimler açısından dışsal kabul edilebilir. Bu nedenle HPF serisi tüm birimler için aynı (birime göre sabit) değerlerden oluşmaktadır. Bu noktadan hareketle HPF serisi için 2011-2023 dönemini içeren zaman serisi verilerine ADF birim-kök testi uygulanmıştır. Elde edilen bulgulara göre her iki seri de düzey değerleri itibariyle durağan değilken birinci farkları alındığında durağan hâle gelmektedirler.

Tablo 1. Yatay-kesitsel bağımlılık testleri

	SÜE		**HPF**	
Test	**İstatistik**	**p-değeri**	**İstatistik**	**p-değeri**
Breusch-Pagan LM	20277,5873	< 0,01	63335,9999	< 0,01
Pesaran scaled LM	697,3560	< 0,01	2208,4101	< 0,01
Bias-corrected scaled LM	697,2624	< 0,01	2208,3165	< 0,01
Pesaran CD	108,7439	< 0,01	251,6664	< 0,01

Tablo 2. Birim -kök testleri

	Düzey		**1. Fark**	
	İstatistik	**p-değeri**	**İstatistik**	**p-değeri**
SÜE: PANIC testi	0,4999	0,6172	± ∞	< 0,01
HPF: ADF testi	-2,1537	0,2243	-9,5085	< 0,01

Her iki serinin de I(1) olduğu anlaşıldıktan sonra seriler arasındaki uzun dönemli ilişkinin varlığı Kao (1999) eşbütünleşme testi ile incelenmiştir. Elde edilen test istatistiği 3,3732 (p değeri 0,0004) serilerin eşbütünleşik olduklarını ortaya koymaktadır. Pozitif ve negatif şokların asimetrik bir etki doğurup doğurmadığını belirlemek için yürütülen Wald testi istatistiği 5,7944'dir (p değeri 0,0161) ve uzun dönemde bir asimetrik etkinin geçerli olduğuna işaret etmektedir.

Bu bulgular ışığında tahmin edilen asimetrik NARDL(3,0) ve simetrik ARDL(3,2) modellerinin sonuçları aşağıda Tablo 3-4'te verilmiştir.

Tablo 3. NARDL(3,0) modeli tahmini

Değişken	Katsayı	St. hata	t-istatistiği	p-değeri
	Uzun dönem (pooled) katsayıları			
Sabit	97,6231	0,6433	151,7482	< 0,01
HPF^{+}	0,0559	0,0121	4,6278	< 0,01
HPF^{-}	0,0490	0,0112	4,3749	< 0,01
	Kısa dönem (Mean-Group) katsayıları			
HDT	-0,0624	0,0185	-3,3579	< 0,01
ΔSUE_{t-1}	-0,1036	0,0436	-2,3759	0,0175
ΔSUE_{t-2}	-0,1728	0,0184	-9,3788	< 0,01

Tablo 3'teki asimetrik etkileşimi ortaya koyan NARDL modeli tahminleri incelendiğinde ham petrol fiyatındaki aşağı ve yukarı yönlü hareketlerin sanayi üretimi üzerinde anlamlı ve pozitif etkide bulunduğu görülmektedir. Petrol fiyatındaki düşüşler beklentiye uygun olarak sanayi üretimini artırıcı etkide bulunurken fiyat artışlarının da sanayi üretimini yükseltmesi şaşırtıcıdır. Bu durum birçok karmaşık ve birbirleriyle kısmen ilişki olguyla açıklanabilir. Ayrıca tabloda verilen hata düzeltme terimi (HDT) değeri uzun dönem dengesindeki bozulmaların yavaş da olsa zaman içinde giderildiğini göstermektedir.

Petrol fiyat hareketlerinin yön açısından ayrıştırılmadığı simetrik/doğrusal ARDL modeli tahminlerine göre ise petrol fiyatının uzun dönemde sanayi üretimi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır.

Tablo 4. ARDL(3,2) modeli tahmini

Değişken	Katsayı	St. hata	t-istatistiği	p-değeri
	Uzun dönem (pooled) katsayıları			
Sabit	96,0874	1,2289	78,1864	< 0,01
HPF	0,0025	0,0153	0,1622	0,8712
	Kısa dönem (Mean-Group) katsayıları			
HDT	-0,0589	0,0171	-3,4547	< 0,01
ΔSUE_{t-1}	-0,1347	0,0409	-3,2924	< 0,01
ΔSUE_{t-2}	-0,1620	0,0184	-8,7910	< 0,01
ΔHPF_{t}	0,0685	0,0115	5,9591	< 0,01
ΔHPF_{t-1}	0,0653	0,0302	2,1668	0,0303

V. TARTIŞMA

Yukarıda verilen model tahminleri birlikte incelendiğinde uzun dönemde NARDL modelinin katsayılarının klasik ARDL modelinden büyüklük ve anlamlılık açısından önemli ölçüde farklılaştığı görülmektedir. Kısa dönemde ise ARDL modeline göre sanayi sektörünün kendi temposunun yanı sıra petrol fiyatlarındaki son birkaç döneme ait değişim de sanayi üretimi üzerinde etkili olurken NARDL modelinde petrol fiyatlarındaki kısa dönemli değişim sanayi üretimini etkilemiyor görünmektedir.

NARDL modeli tahminleri incelendiğinde ham petrol fiyatındaki artış ve düşüşlerin sanayi üretimi üzerinde anlamlı ve pozitif etkide bulunduğu görülmektedir. Petrol fiyatlarındaki düşüşler sanayi üretiminde girdi maliyetlerini azaltır (özellikle enerji yoğun sektörlerde ve lojistik maliyetlerinde). Bu durum, firmaların kârlılıklarını artırabilir ve üretimlerini genişletmelerine olanak tanıyabilir. Aynı

zamanda, düşen enerji fiyatları tüketicilerin harcanabilir gelirini artırarak sanayi ürünlerine olan talebi destekleyebilir. Bu olumlu etkilerin sanayi üretimine yansıması genellikle daha hızlı ve doğrudan olabilir.

Petrol fiyatlarındaki yükselişin sanayi üretimini olumlu etkilemesi ise daha dolaylı ve uzun vadeli mekanizmalar üzerinden gerçekleşebilir:

- Beklentiler ve Yatırımlar: Yükselen petrol fiyatları, enerji sektörüne ve alternatif enerji kaynaklarına yönelik yatırımları teşvik edebilir. Bu durum, bu sektörlerde ve bunlara girdi sağlayan sanayi kollarında (makine imalatı, inşaat vb.) üretim artışına yol açabilir. Ayrıca, gelecekte enerji maliyetlerinin daha da artacağı beklentisi, enerji verimliliğini artırmaya yönelik teknoloji ve ekipmanlara olan talebi artırabilir, bu da ilgili sanayi kollarını olumlu etkileyebilir.
- İhracat Etkisi: Örneklemde yer alan Avrupa ülkeleri genellikle yüksek katma değerli ve teknoloji yoğun ürünler ihraç etmektedir. Petrol fiyatlarındaki küresel bir artış, diğer ülkelerin üretim maliyetlerini daha fazla etkileyebilirken, Avrupa sanayisinin rekabet avantajını (göreceli olarak) artırabilir. Bu durum, Avrupa sanayi ürünlerine olan talebi artırarak ihracatı ve dolayısıyla sanayi üretimini olumlu etkileyebilir.
- Enflasyon Beklentisi ve Stoklama: Yükselen petrol fiyatları, gelecekte enflasyonun artacağı beklentisini yaratabilir. Bu durum, firmaların üretimlerini artırarak stoklama yapmasına ve tüketicilerin dayanıklı mal alımlarını öne çekmesine neden olabilir, bu da kısa vadede sanayi üretimini olumlu etkileyebilir. Ancak bu etki geçicidir.

VI. SONUÇLAR

Bu çalışmada, petrol fiyatlarındaki dalgalanmaların çoğu Avrupa ülkesi olan bir grup net petrol ithalatçısı ülkelerin sanayi üretimi üzerindeki ampirik etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular, ilk bakışta beklenenin aksine, petrol fiyatlarındaki hem yükselişlerin hem de düşüşlerin sanayi üretimi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bu sonuç, petrol fiyatı şoklarının sanayi üretimi üzerindeki etkileşiminin karmaşıklığını ve farklı ekonomik mekanizmaların eş zamanlı olarak işleyebildiğini düşündürmektedir.

Petrol fiyatlarındaki düşüşlerin, girdi maliyetlerini azaltarak ve tüketici talebini destekleyerek sanayi üretimini olumlu etkilemesi teorik beklentilerle büyük ölçüde örtüşmektedir. Ancak, petrol fiyatlarındaki yükselişlerin de sanayi üretimini olumlu etkilemesi, bu ilişkinin doğrusal olmadığını ve daha karmaşık dinamiklerin söz konusu olabileceğini işaret etmektedir. Bu durum, yükselen petrol fiyatlarının tetiklediği enerji sektörü ve alternatif enerji kaynaklarına yönelik yatırımlar, Avrupa sanayisinin göreceli rekabet avantajındaki artış veya enflasyon beklentisiyle tetiklenen kısa vadeli üretim artışları gibi faktörlerle açıklanabilir.

Bu sonuçlar, enerji politikalarının ve sanayi stratejilerinin formülasyonunda dikkatli olunması gerektiğini vurgulamaktadır. Sadece petrol fiyatlarındaki düşüşlerin olumlu etkilerine odaklanmak yerine, yükselişlerin potansiyel pozitif yansımaları da dikkate alınmalıdır. Gelecek araştırmalar, bu beklenmedik bulgunun altında yatan sektörel farklılıkları, ülkelere özgü heterojenlikleri ve farklı makroekonomik koşulların etkilerini daha derinlemesine inceleyerek bu ilişkinin karmaşıklığını daha iyi anlamaya yardımcı olabilir. Ayrıca, politika yapıcıların enerji fiyatlarındaki dalgalanmaların sanayi üretimi üzerindeki farklı etkilerini dikkate alarak daha esnek ve bütüncül politika yaklaşımları geliştirmesi önem arz etmektedir.

EK: Örneklemdeki ülkeler

Almanya, Avusturya, Belçika, Bosna-Hersek, Bulgaristan, Çekya, Finlandiya, Fransa, Güney Kore, Hırvatistan, Hollanda, İngiltere, İrlanda, İspanya, İsveç, İtalya, Japonya, Karadağ, Kuzey Makedonya, Macaristan, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Sırbistan, Slovakya, Slovenya, Türkiye, Yunanistan

KAYNAKLAR

[1] Hamilton, J. D. (1983). Oil and the macroeconomy since World War II. Journal of Political Economy, 91(2), 228-248.

[2] Mork, K. A. (1989). Oil and the macroeconomy when prices go up and down: An extension of Hamilton's results. Journal of Political Economy, 97(3), 740-744.

[3] Lee, K., & Ni, S. (2002). Asymmetric oil price shocks and the current account, Journal of Money, Credit and Banking, 34(4), 933-952.
[4] Luqman, M., Ahmad, N., & Bakhsh, K. (2019). Nuclear energy, renewable energy and economic growth in Pakistan: evidence from non-linear autoregressive distributed lag model, Renewable Energy, 139, 1299-1309.
[5] Herrera, A. M., Lagalo, L. G. & Wada, T. (2011). Oil price shocks and industrial production: Is the relationship linear? Macroeconomic Dynamics, 15 (Supplement 3), 472–497.
[6] Bayar, Y. & Kılıç, C. (2014). Effects of Oil and Natural Gas Prices on Industrial Production in the Eurozone Member Countries, International Journal of Energy Economics and Policy, 4(2), 238-247.
[7] Eatayib, M. (2022). Ho Do Natural Gas and Oil Prices Affect Industrial Production in G 7 Countries during the Russian-Ukrainian war: Based on Panel NARDL Approach, Journal of Smart Economic Growth, 7(1), 15-34.
[8] Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships, Journal of Applied Econometrics, 16(3), 289-326.
[9] Shin, Y., Yu, B., & Greenwood-Nimmo, M. (2014). Modelling Asymmetric Cointegration and Dynamic Multipliers in a Nonlinear ARDL Framework. In: Sickles, R., Horrace, W. (eds) Festschrift in Honor of Peter Schmidt. Springer, New York, pp. 281–314.
[10] Bai, Jushan, & Serena Ng (2004). A PANIC attack on unit roots and cointegration, Econometrica, 72, 1127–1177.
[11] Kao, C. (1999). Spurious Regression and Residual-Based Tests for Cointegration in Panel Data, Journal of Econometrics, 90, 1–44.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

ICSIS

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Model-Based Optimization of Culture Media in Plant Tissue Cultures: Design of Expert (DOE) Approach

Heydem EKİNCİ[1*], Bekir Erol AK[2]

[1] *Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Harran University, Sanliurfa, Türkiye*
[2] *Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Harran University, Sanliurfa, Türkiye*

[*]*(heydemekinci@harran.edu.tr) Email of the corresponding author*

Abstract – Success in plant tissue cultures directly depends on the composition of the culture medium used. In traditional methods, medium optimization is mostly based on single-factor variable experiments, which can lead to inefficiencies in time, cost, and resource utilization. Moreover, due to inherent limitations, traditional methods often overlook potential interactions among factors. In contrast, Design of Expert (DOE), a modern technique, offers a systematic approach to planning and conducting experiments. By organizing the data collection process, DOE enables the simultaneous evaluation of individual and interactive effects of factors while reducing the number of experiments and increasing statistical reliability. In addition, DOE supports holistic and more effective process improvements by allowing multi-response optimization.

This study examines the role of DOE in the development of culture media, and the advantages and application areas of model-based optimization are discussed based on studies conducted on different plant species. The systematic analysis provided by DOE optimizes resource utilization, improves data quality, and significantly contributes to minimizing experimental errors. Furthermore, DOE enhances experimental processes' scalability, provides adaptability under different conditions, and strengthens the transferability of findings to practical applications. The findings reveal that DOE is not limited to improving existing experimental designs but also holds significant potential as a strategic tool for developing next-generation culture medium protocols in plant biotechnology. In this context, DOE is expected to play a pioneering role in fostering innovative approaches to enhance efficiency in future plant tissue culture studies.

Keywords – Biotechnology, Design of Expert (DOE), Medium Optimization, Plant Tissue Culture

I. INTRODUCTION

Plant tissue culture is based on the aseptic cultivation of plant cells, tissues, and organs under defined physical and chemical conditions. It is also an important research tool in both basic sciences and applied studies. This technique gained its theoretical basis with the pioneering studies of Gottlieb Haberlandt on single-cell culture in 1902 and has developed over time with different applications such as root, shoot, and embryo cultures [1]. Between 1940 and 1960, thanks to advances in culture techniques, it has been widely used in the fields of plant biology, biotechnology, and agriculture [1]. Plant tissue culture techniques are fundamental for achieving various biotechnological goals such as increasing genetic diversity, healthy and rapid plant propagation, and protecting rare and endangered species [2]. One of the most decisive elements in the success of this method is the composition of the culture medium used. The MS medium developed by Murashige and Skoog [3] has established a standard basis in plant tissue culture studies. However, this medium is ineffective for all plant species and applications. The correct formulation of the medium regarding mineral nutrients, vitamins, carbon sources, and plant growth

regulators determines the effectiveness of fundamental processes such as cell division and morphogenesis [1]. MS medium was initially formulated for the optimal growth of tobacco callus. Over time, it has also been widely used in micropropagation of different species. However, the composition of the current medium does not provide sufficient efficiency for some plant species; this necessitates the rearrangement of medium contents and optimization studies specific to each species [4, 5, 6]. Traditional culture medium optimization is generally based on single-factor approaches; however, these methods can ignore interactions between factors and cannot fully provide optimum growth conditions [7, 8, 9]. Therefore, model-based experimental design approaches such as DOE have emerged in recent years as they provide a systematic, rapid, and more reliable solution to culture medium optimization. DOE methods allow the simultaneous evaluation of multiple variables and the selection of the most appropriate medium compositions [10, 11].

The aim of this study is twofold. First, to emphasize the importance of culture medium optimization in plant tissue cultures. Second, to reveal the advantages of the DOE approach, which offers an alternative to the limitations of traditional methods. The study explains how the DOE method is used in culture medium development processes in different plant species, how it increases experimental efficiency, and how it improves the accuracy of the results in light of examples in the literature. The potential contributions of model-based optimization strategies to plant biotechnology and *in vitro* propagation applications are also discussed in this context.

II. Traditional Approaches to the Optimization of Culture Media

In the design and optimization phase of new culture media, various strategies have been tried, such as changing the mineral composition of the medium. These strategies aim to develop tissue culture protocols for plant-specific genotypes. Over time, both traditional and computer-based strategies have been developed to optimize cultural media. Although traditional methods have provided the basis for determining the requirements specific to the plant species and tissue in culture media optimization, these methods are based on time-consuming and intensive processes. For example, Murashige and Skoog [3] tested 81 different combinations of components over five years to develop the MS medium. Hildebrandt et al. [12] stated that more than 16,000 trials may be required to design a new medium. However, these traditional strategies have several disadvantages: (i) These methods do not provide sufficient information about the overall optimum, providing only partial optimum information. (ii) They ignore the interactions between the factors. (iii) They increase the number of experiments required, making the research process more costly and time-consuming. For these reasons, more effective and faster optimization strategies are needed. Computer-based technologies developed to meet this need can significantly reduce the number of experiments and related costs [13]. For example, DOE software for experimental design allows sufficient sampling from the design area by reducing the number of required applications [10, 11].

As a result, the design and optimization of new culture media is indispensable for plant tissue culture technology to meet modern agricultural and biotechnological requirements. In this context, integrating modern methods, such as experimental design and computer-aided modeling, plays a critical role in achieving both scientific and applied goals by making research processes more efficient.

III. An Introduction to the Design of Experiments (DOE) Approach

DOE is a systematic approach to planning and conducting experiments. It enables the analysis of cause-effect relationships by organizing the data collection process most efficiently [16, 17]. The basic concepts of DOE include factors, levels, responses, treatment, replication, randomization, and blocking.

DOE was developed to determine cause-effect relationships, optimize processes, minimize variability, and maximize desired results [18]. This approach ensures consistency in experiments with principles such as treatment, replication, randomization, and blocking, increasing representativeness. In addition, it

provides an effective tool in process optimization thanks to the ability to evaluate the effects of factors and the interactions between these factors simultaneously.

In this context, methods such as complete factorial design, which examines all possible factor combinations in experimental designs, and fractional factorial design, which reduces the number of experiments, are used [19]. Response Surface Methodology (RSM) is another advanced technique that helps determine the most appropriate factor combination that will optimize the process by analyzing how a response variable is affected by multiple input factors [18, 20].

With developing technologies, modern techniques such as DOE and artificial neural networks (ANN) are widely used to optimize culture media, thus providing both time and cost savings [9]. Especially in developing new species-specific protocols and nutrient medium optimization processes, lower-cost and efficiency-based approaches come to the fore instead of traditional methods. Thanks to the systematic approach of DOE, factors affecting a system's or process's performance are determined, the interactions of these factors are analyzed, and the most appropriate optimization conditions are determined. Initially, factors and levels are defined, an experimental plan is created, and experiments are conducted according to this plan. The collected data are analyzed with statistical methods to determine which factors and interactions are important, and the most appropriate combinations that will increase the performance of the process or system are revealed. This systematic structure of DOE enables more information obtained with fewer trials while increasing data quality and reliability, allowing more accurate and comprehensive results to be achieved [10, 21, 22].

IV. APPLICATIONS OF DOE IN PLANT TISSUE CULTURE MEDIA OPTIMIZATION

In vitro propagation of plants has been developed with various culture medium modifications and applications to reach high success rates in different species. In early studies, full-concentration MS medium was generally preferred as the standard protocol, and successful shoot and root formations were reported in different plant species [15, 23]. However, when it was understood that this medium was not optimal for every plant species, species-specific medium arrangements gained importance. In studies where different combinations of macro and microelements were tested, it was reported that reducing nitrogen sources such as NH_4NO_3 increased shoot survival [24]. For example, a study conducted on *Pistacia vera* showed that low ammonium levels significantly increased shoot length [25]. Similarly, it was determined that macro element ratios directly affected shoot necrosis and vitrification in woody species such as *Vitis vinifera* [26]. Some studies have shown that the medium should be optimized not only with basic salt concentrations but also with carbon sources and vitamin additions. For example, it has been reported that shoot quality scores increase when sucrose content increases in fruit species such as *Malus domestica* and *Prunus avium* [27, 28]. In recent years, studies on environment optimization have become more systematic, and optimum conditions have been determined with fewer trials using model-based experimental design methods (e.g., RSM). However, it is emphasized that a standard approach does not guarantee success in every study due to the specific requirements of different plant species.

V. ADVANTAGES AND LIMITATIONS OF DOE-BASED OPTIMIZATION

The DOE approach reduces the number of applications required by ensuring sufficient samples are taken from the design space and allows for more systematic planning of studies by appropriately distributing the combinations to be investigated in an n-dimensional design space [14, 22]. The use of DOE software saves both time and cost. Thus, the systematic approach of DOE allows for obtaining more information with fewer trials, increasing data quality and reliability, allowing for more accurate and comprehensive results [9, 10, 11, 21]. However, the analysis of DOE results usually requires advanced statistical techniques. In order to correctly interpret the data collected after a DOE study, methods such as variance

analysis and regression modeling are needed. Since this data analysis process can sometimes be complex, it is time-consuming and requires special expertise to interpret the experimental results [29].

VI. FUTURE DIRECTIONS AND RECOMMENDATIONS

DOE is a powerful statistical method for systematically planning, executing, analyzing, and interpreting experimental processes. Its primary purpose is understanding the relationships between variables, optimizing process performance, and managing resource usage most efficiently. In recent years, with the rapid development of artificial intelligence (AI), machine learning (ML), and advanced modeling techniques, the field of application of DOE has expanded significantly. In particular, artificial intelligence algorithms' data processing capacity and machine learning models' predictive power have enabled the DOE approach to become more effective and flexible. Thanks to this integration, automation is provided in experimental design processes, cost and time savings are achieved by reducing the number of experiments, and more accurate modeling can be done on large and complex data sets. In addition, multivariate problems can be handled more effectively in optimization processes, and adaptive experimental designs can be developed in dynamic systems. Thus, beyond traditional production and quality control areas, DOE has become a strategic tool in many interdisciplinary fields, such as biotechnology, materials science, artificial intelligence-based engineering applications, and drug development.

VII. CONCLUSION

This study highlights the critical importance of culture medium optimization in plant tissue cultures and demonstrates the increasing role of systematic experimental designs in this process. Although traditional optimization methods have historically provided an important foundation, they are time-consuming and cannot fully evaluate the interactions between factors, which imposes significant limitations. In this context, the DOE approach reduces the number of experiments by allowing the simultaneous evaluation of multiple factors, increases data reliability, and contributes to more robust results in culture medium development studies. Integrating advanced technologies such as artificial intelligence and machine learning into DOE processes increases the predictive power of experimental designs and enables the development of more effective and adaptive optimization strategies. Especially in plant tissue culture medium optimization, DOE-based approaches significantly improve research processes by allowing fast, cost-effective, and highly accurate results to be obtained. It is recommended that future studies focus on developing medium protocols specific to different plant species and increasing efficiency in culture medium optimization by taking more effective advantage of these advantages offered by DOE.

REFERENCES

[1] Thorpe, T. A. (2007). History of plant tissue culture. *Molecular Biotechnology,* 37, 169–180. https://doi.org/10.1007/s12033-007-0031-3

[2] Reed, B. M., Sarasan, V., Kane, M., Bunn, E., & Pence, V. C. (2011). Biodiversity conservation and conservation biotechnology tools. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant, 47*(1), 1–4. https://doi.org/10.1007/s11627-010-9337-0

[3] Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum, 15*(3), 473–497. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x

[4] Bhojwani, S. S., & Dantu, P. K. (2013). *Plant tissue culture: An introductory text*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-81-322-1026-9

[5] Arab, M. M., Yadollahi, A., Shojaeiyan, A., & Ahmadi, H. (2016). Artificial neural network genetic algorithm as powerful tool to predict and optimize in vitro proliferation mineral medium for G × N15 rootstock. *Frontiers in Plant Science, 7*, Article 1526. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01526

[6] Hesami, M., & Jones, A. M. P. (2020). Application of artificial intelligence models and optimization algorithms in plant cell and tissue culture. *Applied Microbiology and Biotechnology, 104*(22), 9449–9485. https://doi.org/10.1007/s00253-020-10888-2

[7] Epstein, E., & Bloom, A. J. (1853). *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. Oxford University Press, Incorporated.

[8] George, E. F., Hall, M. A., & De Klerk, G.-J. (2008). The components of plant tissue culture media I: Macro- and micro-nutrients. In E. F. George, M. A. Hall, & G.-J. De Klerk (Eds.), *Plant propagation by tissue culture: Volume 1. The background* (pp. 65–113). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5005-3_3

[9] Hameg, R., Arteta, T. A., Landin, M., Gallego, P. P., & Barreal, M. E. (2020). Modeling and optimizing culture medium mineral composition for in vitro propagation of Actinidia arguta. *Frontiers in Plant Science, 11*, Article 554905. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.554905

[10] Niedz, R. P., & Evens, T. J. (2016). Design of experiments (DOE)—History, concepts, and relevance to in vitro culture. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant, 52*(6), 547–562. https://doi.org/10.1007/s11627-016-9786-1

[11] Nezami-Alanagh, E., Garoosi, G.-A., Landín, M., & Gallego, P. P. (2019). Computer-based tools provide new insight into the key factors that cause physiological disorders of pistachio rootstocks cultured in vitro. *Scientific Reports, 9*(1), 9740. https://doi.org/10.1038/s41598-019-46155-2

[12] Hildebrandt, A. C., Riker, A. J., & Duggar, B. M. (1946). The influence of the composition of the medium on growth in vitro of excised tobacco and sunflower tissue cultures. *American Journal of Botany, 33*(7), 591–597. https://doi.org/10.2307/2437399

[13] Nezami-Alanagh, E., Garoosi, G.-A., Landín, M., & Gallego, P. P. (2018). Combining DOE with neurofuzzy logic for healthy mineral nutrition of pistachio rootstocks in vitro culture. *Frontiers in Plant Science, 9*, Article 1474. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01474

[14] Stat-Ease, Inc. (2010). Design-Expert (Version 8.0) [Computer software]. https://www.statease.com/software/design-expert/

[15] Niedz, R. P., & Evens, T. J. (2007). Regulating plant tissue growth by mineral nutrition. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant, 43*(4), 370–381. https://doi.org/10.1007/s11627-007-9062-5

[16] Anderson, M. J. (2017). *DOE simplified: Practical tools for effective experimentation* (3rd ed.). CRC Press.

[17] Özcan, E., Ali, S. A., Aasim, M., & Atar, H. H. (2025). Precision in vitro propagation by integrating response surface methodology and machine learning for Glossostigma elatinoides (Benth) Hook. F. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*. https://doi.org/10.1007/s11627-025-10513-9

[18] Ali, S. A., & Aasim, M. (2024). Response surface methodology and artificial intelligence modeling for in vitro regeneration of Brazilian micro sword (Lilaeopsis brasiliensis). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC), 157*(1), 10. https://doi.org/10.1007/s11240-024-02734-4

[19] Katirci, R., Aktas, H., & Zontul, M. (2021). The prediction of the ZnNi thickness and Ni % of ZnNi alloy electroplating using a machine learning method. *Transactions of the IMF, 99*(3), 162–168. https://doi.org/10.1080/00202967.2021.1898183

[20] Bezerra, M. A., Santelli, R. E., Oliveira, E. P., Villar, L. S., & Escaleira, L. A. (2008). Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. *Talanta, 76*(5), 965–977. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2008.05.019

[21] Konda, R., Rajurkar, K. P., Bishu, R. R., Guha, A., & Parson, M. (1999). Design of experiments to study and optimize process performance. *International Journal of Quality & Reliability Management, 16*(1), 56–71. https://doi.org/10.1108/02656719910226914

[22] Beg, S., Swain, S., Rahman, M., Hasnain, M. S., & Imam, S. S. (2019). Application of Design of Experiments (DoE) in pharmaceutical product and process optimization. In S. Beg & M. S. Hasnain (Eds.), *Pharmaceutical quality by design* (pp. 43–64). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815799-2.00003-4

[23] Benmahioul, B., Daguin, F., & Kaïd-Harche, M. (2015). Cryopreservation of Pistacia vera embryonic axes. *Journal of Forest Science, 61*(4), 182–187.

[24] Hand, C., Maki, S., & Reed, B. M. (2014). Modeling optimal mineral nutrition for hazelnut micropropagation. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC), 119*(2), 411–425. https://doi.org/10.1007/s11240-014-0544-y

[25] Trujillo, M. I., & Mederos-Molina, S. (1999). Elimination of browning exudate and in vitro development of shoots in Pistacia vera L. cv. Mateur and Pistacia atlantica Desf. culture. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae, 68*(1), 21–24. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19990312859

[26] Gago, J., Landín, M., & Gallego, P. P. (2010). A neurofuzzy logic approach for modeling plant processes: A practical case of in vitro direct rooting and acclimatization of Vitis vinifera L. *Plant Science, 179*(3), 241–249. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.05.009

[27] Kovalchuk, I. Y., Mukhitdinova, Z., Turdiyev, T., Madiyeva, G., Akin, M., Eyduran, E., & Reed, B. M. (2018). Nitrogen ions and nitrogen ion proportions impact the growth of apricot (Prunus armeniaca) shoot cultures. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC), 133*(2), 263–273. https://doi.org/10.1007/s11240-018-1379-8

[28] Kabylbekova, B., Kovalchuk, I., Mukhitdinova, Z., Turdiyev, T., Kairova, G., Madiyeva, G., & Reed, B. M. (2020). Reduced major minerals and increased minor nutrients improve micropropagation in three apple cultivars. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant, 56*(3), 335–349. https://doi.org/10.1007/s11627-019-10019-1

[29] Yekinni, A. A. (2024). Design of experiments (DOE): Applications and benefits in quality control and assurance. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.113987

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

ICSIS

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Braket Malzemesinin Mekanik Sonuçlara Etkisinin Sonlu Elamanlar Yöntemi ile İncelenmesi

Mehmet Kıvanç Turan[1*]

[1]*Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Türkiye*

[*]*(mkivancturan@uludag.edu.tr)*

Özet – Elektrik motorları günümüzde birçok farklı alanda birçok farklı makinede kullanılan bir elemandır. Fakat bu elemanları sağlıklı biçimde çalışabilmesi için doğru montajı büyük önem arz etmektedir. Özellikle doğru tasarlanmış ve mukavemeti kontrol edilmiş braketler oldukça önemlidir. Fakat bu noktada kritik hususlardan biri maliyet ve zaman tasarrufudur. Zira fazla sayıda test yapmak hem maliyeti artırırken hem de zaman bakından oldukça büyük kayıplara sebep olabilir. Bu noktada günümüzde sonlu elemanlar ve yazılımları mühendislikler açısından büyük avantajlar sağlamaktadır. Zira doğru kurgulanmış bir sonlu eleman modeli ile hatırı sayılır bir zaman ve maliyet tasarrufu sağlamak mümkündür. Bu çalışmada bir motor braketinin farklı malzemelerden üretilmesinin mekanik sonuçlara etkisi nümerik olarak ele alınmıştır. Bu bağlamda yapısal çelik Akrilonitril Bütadiyen Stiren olmak üzere iki farklı malzeme kullanılmıştır. Özellikle Akrilonitril Bütadiyen Stiren yoğunluk bakımından yapısal çeliğin neredeyse sekizde biri ağırlığındadır. S Bu sebeple kayda değer bir ağırlık tasarrufu sağlaması muhtemeldir. Sonrasında gerekli yükleme ve kısıtlamalar tanımlanarak sonlu elemanlar modeli tamamlanmıştır. Çalışma neticesinde gerek yapısal çelik için gerekse Akrilonitril Bütadiyen Stiren için gerilme ve deformasyon bakımından herhangi bir risk olmadığı açıkça görülmüştür. Fakat her ne kadar gerilme ve deformasyon açısından Akrilonitril Bütadiyen Stiren için de bir problem gözlenmese de bu malzemenin yüksek sıcaklıklarda çalışamaması başka bir deyişle motorun oluşturacağı sıcaklığın bu malzeme için bir risk teşkil etmesi göz önünde bulundurulması gereken bir konudur.

Anahtar Kelimeler – Braket, Sonlu elemanlar yöntemi, Gerilme, Deformasyon, Yapısal çelik, Akrilonitril bütadiyen stiren

I. GİRİŞ

Sanayi devrimiyle beraber elektrik motorlarının kullanım yerleri her geçen gün artmaktadır. Artık günlük hayatımızın sıradan bir parçadan bir parçası haline gelen bu elemanlar ev yaşantımızdan iş yaşantımıza kadar her yerde karşımıza çıkmaktadır. Fakat bu parçaların sağlıklı bir biçimde çalışabilmesi için doğru ve sağlam montajlarının yapılması elzemdir. Hakeza bu parçaların bağlantı elemanlarının da sağlık şekilde çalışması büyük önem arz etmektedir.

Bu noktada doğru kurgulanmış sonlu elemanlar analiz modelleri büyük fayda sağlamaktadır. Zira doğru kurgulanmış sonlu eleman modeli ile gerek zamandan gerekse maliyetten kayda değer bir tasarruf sağlamak mümkündür. Bu sebeple günümüzde otomotiv, havacılık, savunma, taşımacılık, koltuk, makine elemanları ve benzeri birçok farklı alanda sonlu eleman yazılımları kullanılmaktadır.

Karpat ve arkadaşları [1] yaptıkları çalışmada bir otobüsün maksimum yük altındaki durumunu nümerik olarak incelemiştir. Çalışma sonucunda H tipi aksta daha yüksek deformasyon gerçekleştiği gözlenmiştir. Karpat ve arkadaşları [2] benzer yönde bir çalışmayı elektrikli otobüs için gerçekleştirmiş olup çalışma neticesinde bataryanın gerilme üzerinde kayda değer bir etkisi olduğu gözlenmiştir. Turan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada farklı tipteki delik tipi tetikleyicilerin çarpışma kutularının performansı üzerindeki etkilerini hem deneysel hem nümerik olarak ele almıştır. Bu bağlamda u, s, anahtar deliği gibi farklı tipte delikler kullanmışlardır. Çalışma sonucunda en düşük tepe kuvvetinin u şeklinin olduğu yapı ile elde

edildiği gözlenmiştir. Turan ve arkadaşları [4] yaptıkları çalışmalarında ısı girdisinin kaynak dikiş geometrisi üzerindeki etkilerini incelemiş olup bu bağlamda deneysel ve nümerik bir çalışma gerçekleştirmiş olup lazer gücü ve kaynak hızını parametre olarak ele almıştır. Çalışma neticesinde kaynak hızının daha etkin bir parametre olduğunu tespit etmişlerdir.

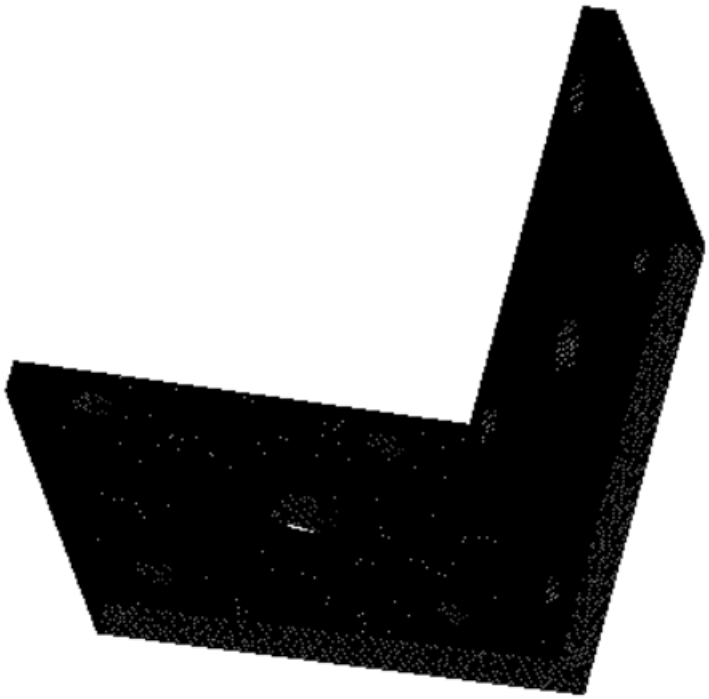
Bu çalışmada bir motor braketinin malzemeye bağlı olarak mekanik performansı nümerik olarak ele alınmıştır. Çalışma Ansys Workbench ortamında gerçekleştirilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmaya ilk olarak braket tasarımı ile başlanmıştır. Bu noktada SpaceClaim yazılımı tercih edilmiştir. Tasarım boyutu olarak 30*30*30 mm tercih edilmiştir. Tasarım işleminin akabinde sonlu elemanlar için kritik bir nokta olan malzeme ataması/tanımlanması aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada yapısal çelik ve Akrilonitril Bütadiyen Stiren (ABS) olmak üzere iki farklı malzeme tercih edilmiştir. Malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

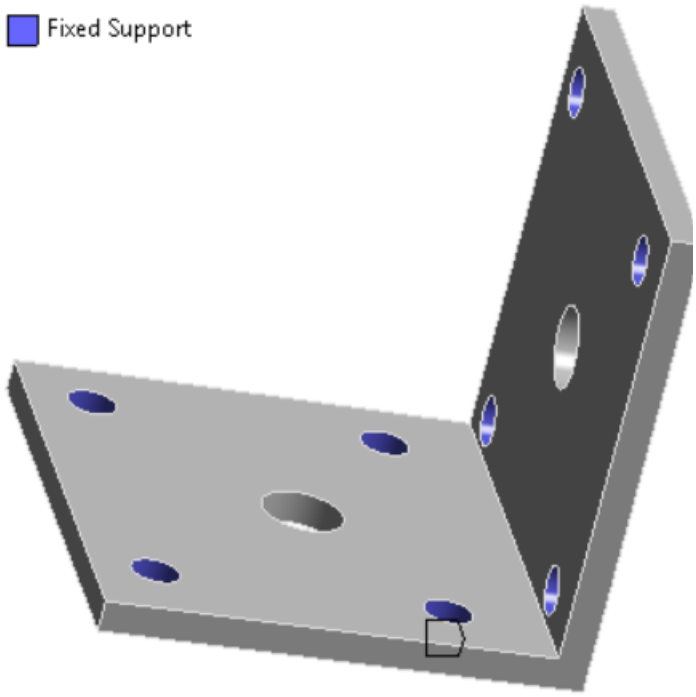
Tablo 1. Malzeme özellikleri

Malzeme Cinsi	Yoğunluğu gr/cm^3	Akma Mukavemeti MPa	Çekme Mukavemeti MPa
Yapısal çelik	7,85	250	460
ABS	1,03	27,44	36,26



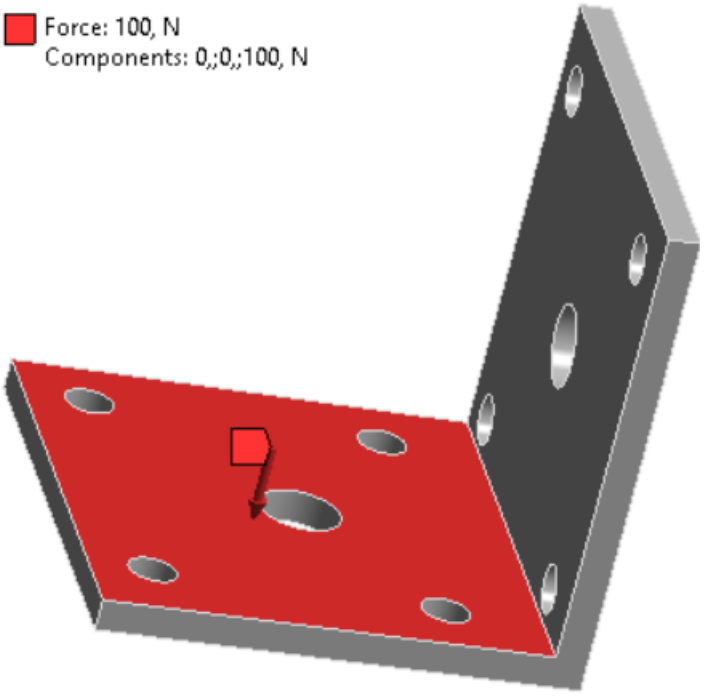
Şekil 1. Mesh örgüsü

Sonraki aşamada mesh örgüsünün oluşturulmasına geçilmiştir (Şekil 1). Burada toplam 563469 eleman oluşturulmuştur. Mesh kalitesi Skewness ile kontrol edilmiş olup maksimum Skewness değeri yaklaşık 0,89 ortalama Skewness değeri ise yaklaşık 0,25 olarak elde edilmiştir. Bu iki değer mesh yapısının yeterli kalitede olduğunu göstermektedir. Mesh örgüsünün oluşturulmasını takiben kısıt şartlarının tanımlanması geçilmiştir. Parça cıvata bağlantı deliklerin sabit destek (fixed support) ile sabitlenmiştir (Şekil 2). Böylece parçanın altı temel eksende hareketi kısıtlanmıştır.



Şekil 2. Sabit destek

Hareket kısıtının tanımlanmasının ardından parçaya yüklemenin tanımlanmasına geçilmiştir. Bu noktada 100 N'luk bir kuvvet uygulanmıştır (Şekil 3).

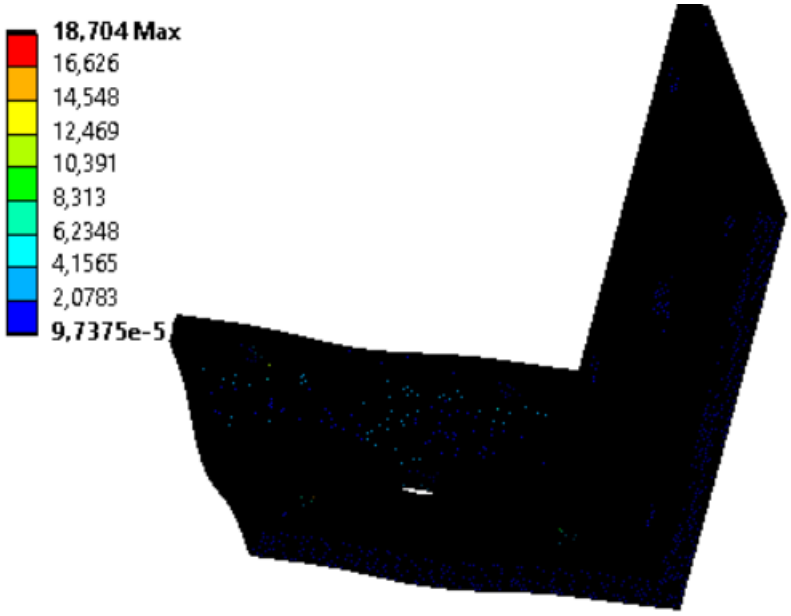


Şekil 3. Yükleme

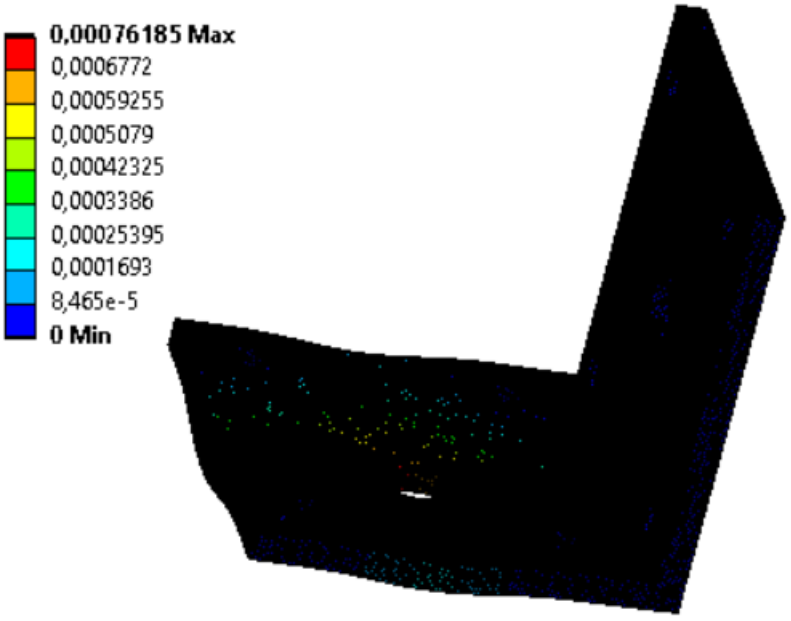
Son olarak analiz işleminin ardından incelenecek olan sonuçların seçilmesine geçilmiştir. Bu noktada deformasyon ve gerilme sonuçlarının incelenmesinde karar kılınmıştır. Bu işlemlerin tamamlanmasıyla beraber sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur.

III. BULGULAR

Sonlu elemanlar analizi neticesinde elde edilen sonuçlar Şekil 4-7 arasında verilmiştir.

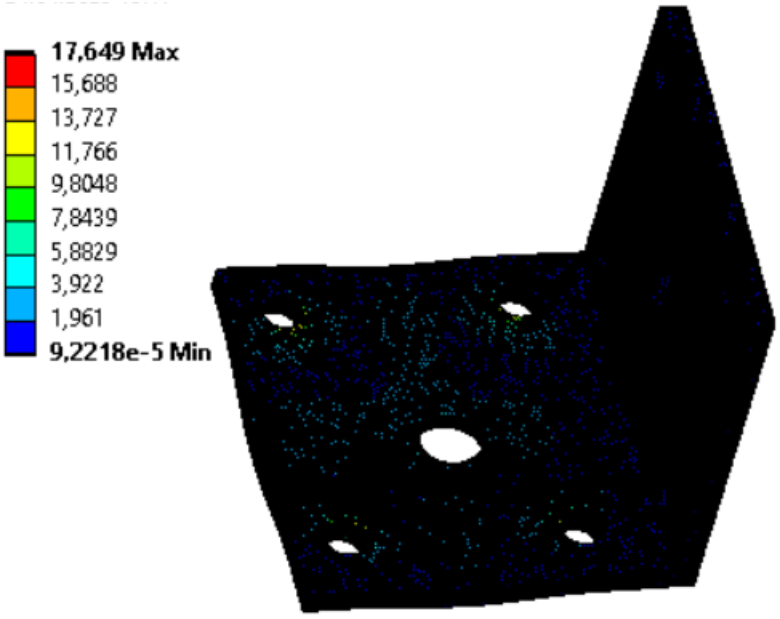


Şekil 4. Yapısal çelik gerilme sonucu

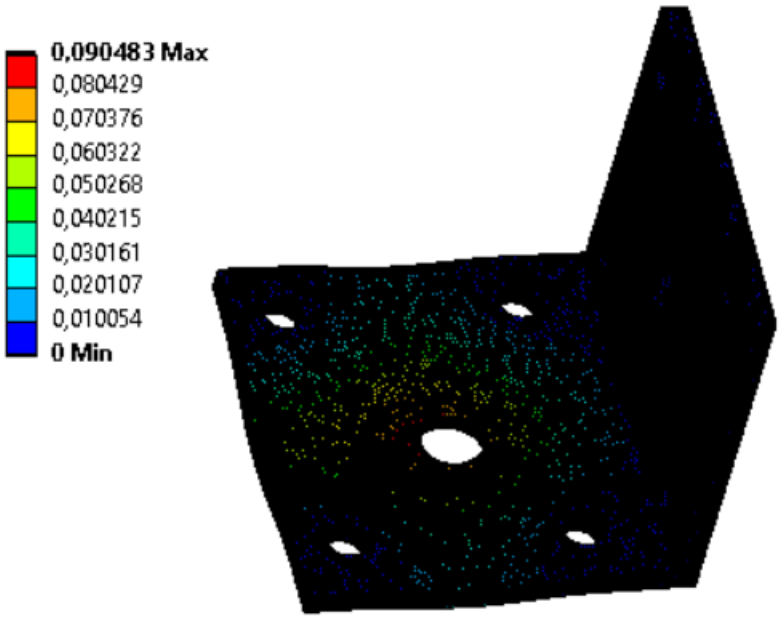


Şekil 5. Yapısal çelik deformasyon sonucu

Yapısal çelik için maksimum gerilme 18,704 MPa seviyesinde gerçekleşmişken maksimum deformasyon milimetrenin binde birinden daha düşüktür.



Şekil 6. ABS gerilme sonucu



Şekil 7. ABS deformasyon sonucu

Sonlu elemanlar analizleri neticesinde ABS için maksimum gerilme 17,649 seviyesinde iken maksimum deformasyon neredeyse 0,1 mm düzeyindedir.

IV. TARTIŞMA

Sonlu eleman sonuçları ele alındığında yapısal çelik için mukavemet ile ilgili herhangi bir problemin olmadığı açıktır. Zira gerilme değeri malzemenin akma dayanımından yaklaşık %93 daha düşüktür. Yani gerilme açısından herhangi bir problem ile karşılaşılmayacağı açıktır. Buna ek olarak deformasyon değeri de oldukça düşük olarak gerçekleşmiş olup braketin çalışması bakından bir problem teşkil etmeyeceği aşikârdır. ABS için ise maksimum gerilme akma gerilmesinden yaklaşık %36 daha düşüktür. Bu sonuç da güvenilir olarak kabul edilebilir. Hakeza maksimum deformasyon değerinin 0,1 mm düzeyinde olması parçanın çalışması açısından bir problem oluşturmayacağını göstermektedir. Fakat motorun oluşturabileceği sıcaklık ABS malzemesi için bir risk teşkil etmektedir. Bu sebeple tasarım kullanılacağı

yerde sıcaklık kontrolüne büyük önem verilmeli, ya maksimum sıcaklık belli bir değerin altında tutulmalı ya da iyi bir ısıl izolasyon gerçekleştirilmelidir.

V. SONUÇLAR

Sonlu elemanlar yöntemi ve yazılımları günümüz mühendisliği açısından büyük önem ve fayda arz etmektedir. Birçok farklı mühendislik alanında bu yöntem ve yazılımlardan yararlanılarak kayda değer bir maliyet ve zaman kazanımı sağlanmaktadır. Bu çalışmada bir motor braketinin sonlu eleman analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma neticesinde gerek yapısal çelik gerekse ABS malzemesi ile yeterli mukavemetin elde edildiği gözlenmiştir. Sadece motorun çalışma esnasında meydana getireceği sıcaklığın ABS malzemesi açısından bir risk teşkil edip etmediğinin kontrol edilmesi herhangi bir risk mevcut ise buna yönelik ısı yalıtımı vb. yöntemler ile tedbir alınması gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Mehmet Kıvanç Turan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 1004 22AG001 no'lu Elektrikli Taşıtlar İçin Batarya Teknolojileri Araştırma ve Geliştirme Platformu (Bateg) projesi kapsamında doktora sonrası araştırmacıdır. Desteklerinden dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na teşekkürlerimi sunarım

KAYNAKLAR

[1] Karpat, F., Turan, M. K., Meriç, G., & Sevgi, Y. (2023). 32 Feet Uzunluğunda Bir Otobüsün Maksimum Yük Altındaki Durumunun Farklı Aks Türlerine Göre Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi, International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches, 7(11), 420-424.

[2] Karpat, F., Turan, M. K., Meriç, G. & Sevgi, Y. (2023). Elektrikli Bir Otobüsün Maksimum Yük Altındaki Davranışı Üzerine Nümerik Bir İnceleme. International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches, 7(11), 495-500.

[3] Turan, M. K., Ensarioglu, C., Bakirci, A., & Karpat, F. (2024). Impact performance of unconventional trigger holes. Materials Testing, 66(3), 389-396.

[4] Turan, M. K., Yuce, C., & Karpat, F. (2024). Numerical and experimental investigation of the effect of heat input on weld bead geometry and stresses in laser welding. Materials Testing, 66(9), 1463-1474.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

ICSIS

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Vorteks Yapıcıların Kanat Aerodinamiğine Etkilerinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Gülsüm Kılıç[1*], Taner Coşgun [2]

[1]*Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği / Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye*
[2]*Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği*

[*]*(gulsum.durmus@std.yildiz.edu.tr)*

Özet – Bu çalışmada, vorteks yapıcı elemanların bir kanadın aerodinamik performansına etkileri sayısal yöntemlerle detaylı olarak incelenmiştir. Araştırmada, NACA 4415 profiline sahip bir kanat kesiti seçilmiş ve kanat profili kord boyu 0.152 m span 0.454 m olacak şekilde tasarlanmıştır. Re=2x10^5 durumunda bu kanat etrafındaki akış, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemleri kullanılarak modellenmiştir. Sayısal analizlerde akışın davranışını doğru şekilde tahmin edebilmek amacıyla Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) denklemleri temel alınmış ve türbülans modellemesi için geniş mühendislik uygulamalarında güvenilirliği kanıtlanmış olan standart k-ε türbülans modeli tercih edilmiştir. Simülasyonlar zamandan bağımsız (steady-state) kabul edilerek gerçekleştirilmiş, böylece kararlı rejimdeki akış özellikleri detaylı şekilde elde edilmiştir. Çözümler, literatürde bulunan güvenilir deneysel verilerle karşılaştırılarak doğrulama çalışmaları yapılmış ve sayısal modelin güvenilirliği ortaya konmuştur. Doğrulama sonrasında, kanat geometrisine farklı boyut ve yerleşimlerde vorteks yapıcı elemanlar entegre edilerek yeni analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler farklı hücum açıları için tekrarlanmıştır. Analiz sonuçlarında, özellikle yüksek hücum açıları için, girdap üretici kullanılan konfigürasyonlarda kanat performansında belirgin artışlar sağlandığı tespit edilmiştir. Vorteks yapıcılar sayesinde kanadın üst yüzeyinde oluşan düşük basınç bölgesi genişletilmiş, akış ayrılması geciktirilmiş ve kaldırma kuvveti katsayısında (C_L) anlamlı iyileşmeler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, pasif akış kontrol yöntemlerinden biri olan girdap üreticilerin, özellikle stall eğilimi yüksek durumlarda aerodinamik performansı artırmak için etkin bir mühendislik çözümü sunduğunu göstermektedir. Bu bulgular, aerodinamik tasarım optimizasyon çalışmalarında girdap üretici kullanımının önemini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler – vorteks yapıcı, kanat, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, aerodinamik, akış kontrolü,

I. GİRİŞ

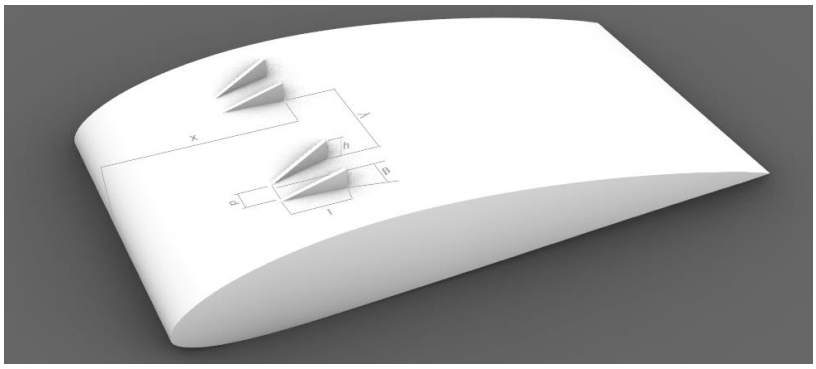
Pasif akış kontrolü dışardan bir enerji girişi olmadan akışkanın özelliklerini değiştirmek için kullanılan yöntemdir. Akışkan içerisindeki cismin geometrisini ve yüzey özelliklerini değiştirerek sürükleme azalması, kavitasyonun azaltılması ve akışın düzenlenmesi gibi istenilen sonuçları elde etmek amacıyla kullanılır. Pek çok pasif akış kontrol yöntemi mevcuttur. Akış içerisindeki cisim üzerinde yapılan geometrik modifikasyonlar, yüzey pürüzlülüğü, akışkan içerisine yerleştirilen elastik yapılar ve girdap üreticiler pasif akış kontrol yöntemlerine örnek verilebilir[1]. Girdap üreticiler çeşitli mühendislik alanlarında akış kontrolü ve ısı transferi iyileştirmeleri için yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin girdap üreticilerin rüzgar türbini kanatlarında kullanılması yüzey pürüzlülüğüne bağlı enerji kayıplarını azaltıp, yük dağılımını optimize ederek aerodinamik verimliliği önemli ölçüde artırır[2]. Girdap üreticilerin tasarımında geometrik faktörler önemli rol oynamaktadır. Şekli, konumu, yüksekliği ve aralığı aerodinamik performansı etkileyen önemli parametrelerdir. Gutierrez-Amo ve diğerleri, düz bir plaka üzerine yerleştirilmiş dikdörtgen, üçgen ve simetrik NACA0012 olacak şekilde üç farklı geometrik şekle sahip girdap üreticileri Hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı aracılığıyla incelemişlerdir. Yapılan analizler

sonucunda simetrik NACA0012 profili şeklinde tasarlanan girdap üreticinin enerji transferinde dikdörtgen şekillilerle kıyaslandığında daha verimli olduğu görülmüştür[3]. Fouatih ve diğerleri, NACA 4415 kanat profili üzerinde girdap üreticilerin kalınlık, yükseklik, konum, akış doğrultusuna göre yönelim açısı ve açıklık mesafesi gibi parametrelere bağlı olarak deneysel çalışma yapmışlardır. Çalışma çeşitli hücum açılarında yapılmış olup, üçgen şeklinde olan girdap üreticinin sınır tabaka ayrılmasında daha etkili olduğu saptanmıştır [4]. Tebicche ve diğerleri, NACA4412 kanat profili üzerinde üçgen şekilli girdap üreticiler kullanmışlardır. Kanat emme yüzeyine yerleştirilen pasif kontrol sisteminin yükseklik, açıklık, uç açısı, ön kenardan uzaklık gibi parametrelere bağlı olarak kaldırma kuvvetine olan etkisi incelenmiştir. Girdap üreticilerin kullanılması sonucunda kaldırma kuvvetinin yaklaşık %20 oranında arttığı ve stall açısını geciktirdiği görülmüştür[5].

Bu çalışmada NACA 4415 kanat profiline girdap üretici yerleştirilerek kanadın aerodinamik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı aracılığıyla temel profil ve girdap üretici entegre edilmiş profilin simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Temel profil analizleri literatürde yer alan deneysel veriler ile doğrulanmıştır[4]. Kord uzunluğunun %30'una gelecek kısma girdap üreticiler yerleştirilmiş ve temel profil ile aerodinamik özellikleri kıyaslanmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

NACA4415 kanat profili kord boyu 0.152 m span 0.454 m olacak şekilde tasarlanmıştır. Re sayısı 2x105 olacak şekilde akış hızı 21 m/s olarak belirlenmiştir. Akışkan tipi hava olarak belirlenmiş ve sıkıştırılamaz akış olduğu kabulü yapılmıştır. Temel kanat profilinin 5°,10°,15° de analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Girdap üretici tasarımı yapılmış ve temel kanat profili yüzeyine kord uzunluğunun %30'u mesafesinde olacak şekilde entegre edilmiştir.



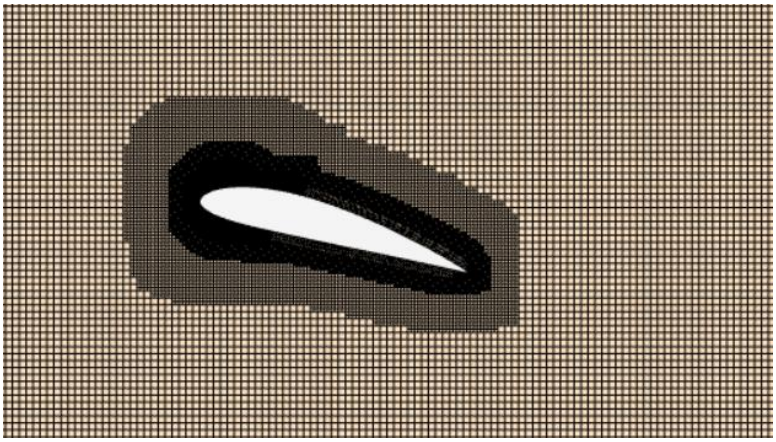
Şekil 1. Tasarım parametreleri

Tablo 1. Tasarım değerleri

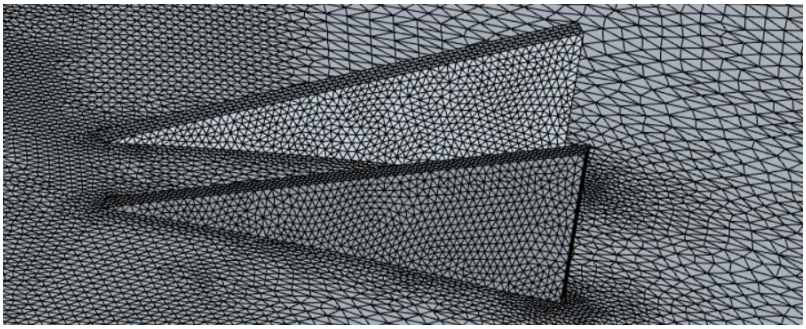
e (mm)	1
h (mm)	5
d (mm)	5
β (mm)	10°
λ (mm)	35
l (mm)	15
X (%c)	30

Kalınlığı 1 mm olacak şekilde Tablo 1 de verilen uzunluklara göre Şekil 1'deki gibi span uzunluğu üzerine 13 çift girdap üretici yerleştirilmiştir. Yeni tasarımın analizleri temel tasarımla aynı veriler kullanılarak aynı hücum açıları için gerçekleştirilmiştir. Analizler 2D olacak şekilde Siemens Simcenter Star CCM+ programında gerçekleştirilmiştir. Analizler zamandan bağımsız olarak çözülmüştür. Çözümde Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) denklemleri kullanılmış olup k-ε türbülans modeli kullanılmıştır.

Kanadın hücum ve firar kenarı gibi gerekli görülen yerlerde mesh sıklaştırılması yapılarak toplam hücre sayısı 2.5 milyon olarak belirlenmiştir. Analizler Y+ değeri 30<y+<300 olacak şekilde çözülmüştür.



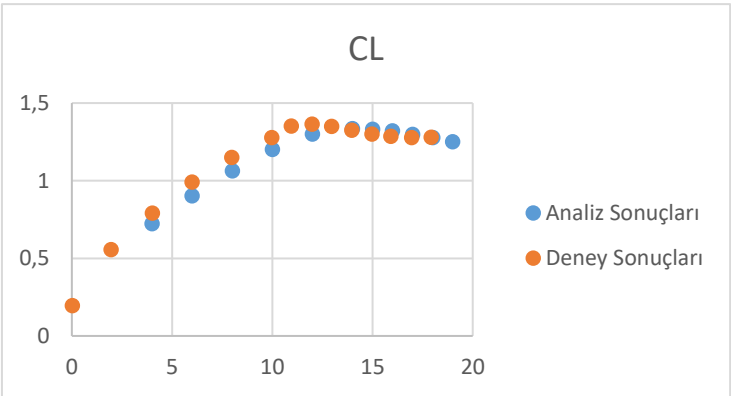
Şekil 2. Kanat profilinin düşey eksen ile kesilmiş mesh yapısı görüntüsü



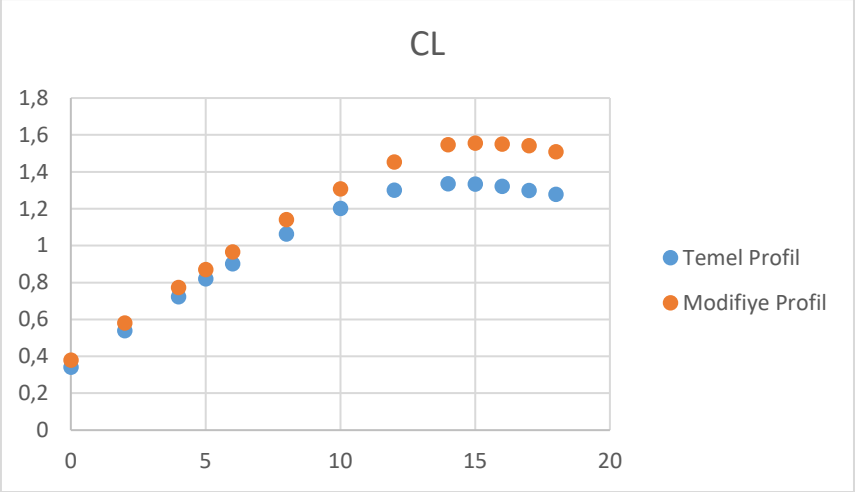
Şekil 3. Girdap üreticilerin mesh yapısı görüntüsü

III. SONUÇLAR

Temel modelin analiz sonuçları deney sonuçları [4] ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4'te kaldırma kuvveti katsayısı sonuçlarının kıyaslaması yer almaktadır. Deneysel verilerle yapılan sayısal analiz sonuçları arasında yüksek düzeyde bir uyum gözlemlenmiştir.

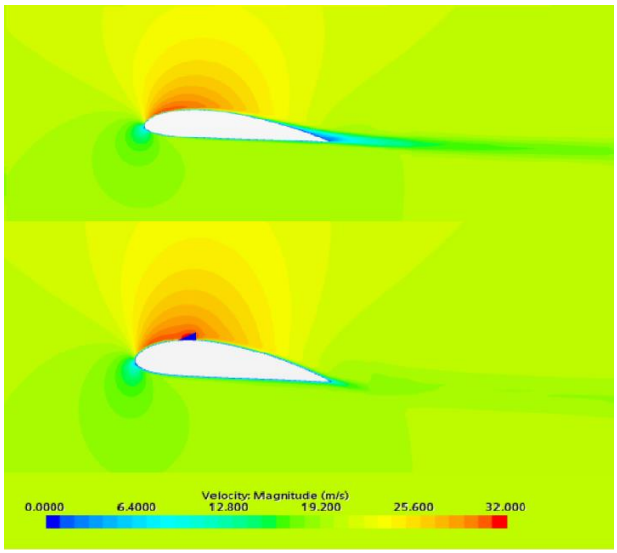


Şekil 4. Temel yüzey deney ve analiz sonuçları

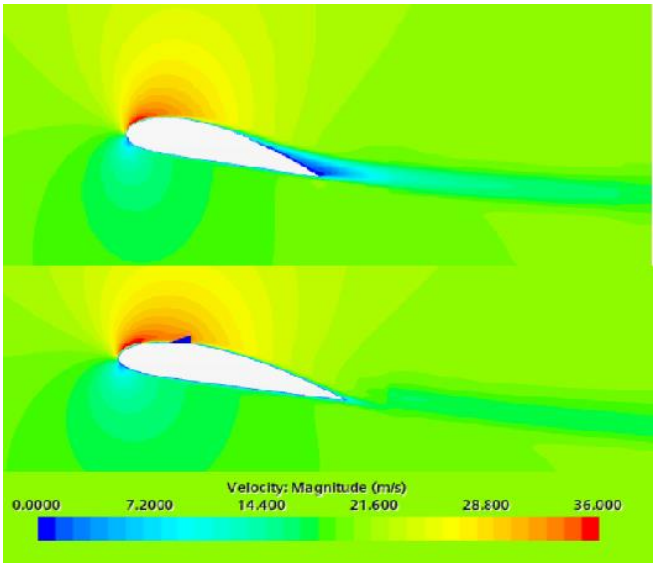


Şekil 5. Temel yüzey ve modifiye yüzey analiz sonuçları

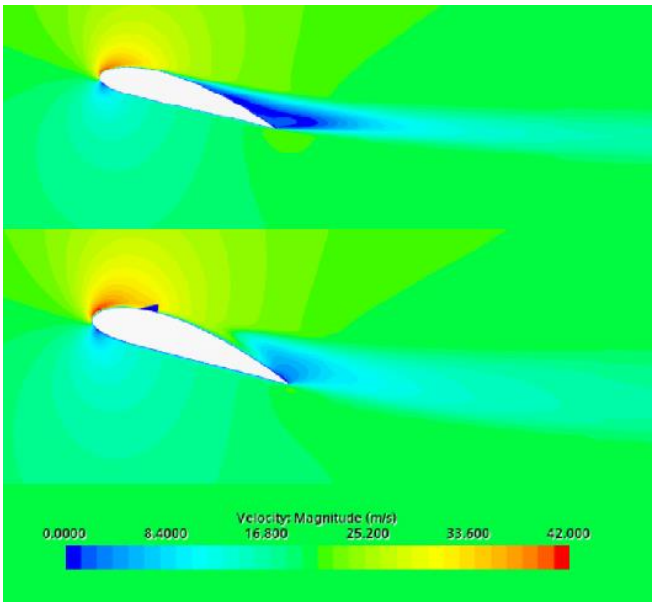
Şekil 5'te modifiye yüzey ve temel kanat profili analizlerinin sonuçarı yer almaktadır. Girdap üretici entegre edilmiş tasarımın kaldırma kuvveti katsayısında özellikle yüksek hücum açılarında %10-%18 arasında artış olduğu görülmüştür.



Şekil 6. 5° Temel yüzey ve modifiye yüzey hız dağılımı

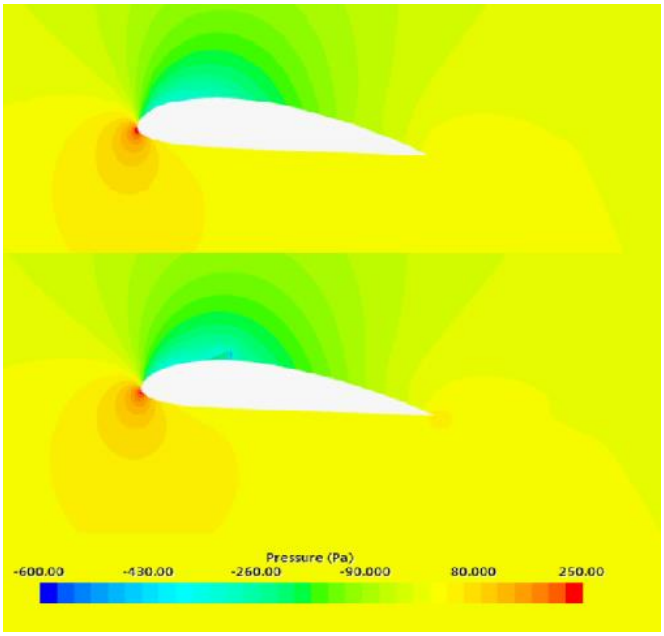


Şekil 7. 10° Temel yüzey ve modifiye yüzey hız dağılımı

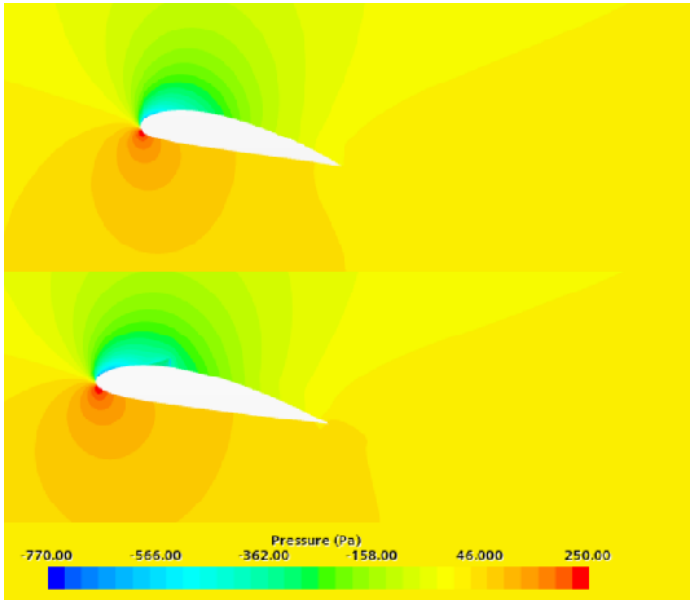


Şekil 8. 15° Temel yüzey ve modifiye yüzey hız dağılımı

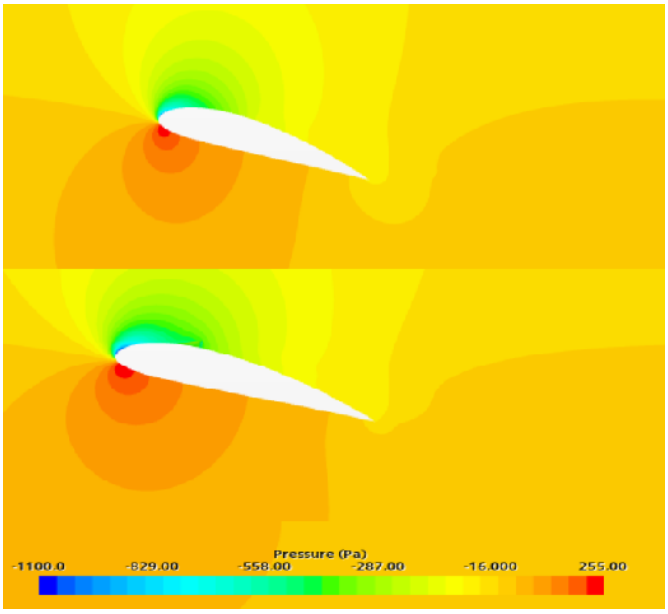
Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8 de yer alan hız dağılım görselleri incelendiğinde 10° ve 15° gibi yüksek hücum açılarında temel profilde görünen düşük hızlı bölge girdap üretici eklenmesiyle daha ileriye taşınmıştır. Girdap üretici sınır tabakaya enerji kazandırarak akış ayrılmasını geciktirmiştir. Bu durum sonucunda kaldırma kuvveti artmıştır. Düşük hücum açılarında girdap üretici etkisi belirgin şekilde gözlemlenememiştir.



Şekil 9. 5° Temel yüzey ve modifiye yüzey basınç dağılımı



Şekil 10. 10° Temel yüzey ve modifiye yüzey basınç dağılımı



Şekil 11. 15° Temel yüzey ve modifiye yüzey basınç dağılımı

Şekil 9,Şekil 10 ve Şekil 11 de yer alan basınç dağılım görselleri incelendiğinde kanadın üst yüzeyindeki düşük basınç alanının girdap üretici kullanımı ile daha geniş bir alana yayıldığı görülmektedir. Kanadın üst yüzeyinde daha düşük basınç olması daha fazla kaldırma kuvveti üretebileceğini göstermektedir. Girdap üretici kullanımı yüksek hücum açılarında basınç dağılımını iyileştirerek daha fazla kaldırma kuvveti üretilmesini sağlamıştır.

IV. GENEL DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada NACA 4415 kanat profili üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda, girdap üreticilerin özellikle yüksek hücum açılarında aerodinamik performansa olan etkisi belirgin şekilde ortaya konulmuştur. Temel profil ve girdap üretici entegre edilmiş profilde yapılan karşılaştırmalı basınç ve hız konturları incelendiğinde, girdap üreticilerin üst yüzeydeki düşük basınç bölgesini daha geniş bir alana yaydığı ve hız dağılımında akışın daha geç ayrılmasına olanak sağladığı gözlemlenmiştir. Bu durum, sınır tabakanın enerjilendirilmesiyle akış ayrılmasının geciktirildiğini ve buna bağlı olarak kaldırma kuvvetinin arttığını göstermektedir. Özellikle 10° ve 15° gibi yüksek hücum açılarına ait sonuçlar, girdap üretici kullanımının kaldırma kuvveti katsayısında %10 ila %18 arasında iyileşme sağladığını ortaya koymuştur. Buna karşın, düşük hücum açılarında girdap üreticinin etkisi sınırlı kalmıştır. Sonuç olarak, girdap üretici kullanımı yüksek hücum açılarında sınır tabaka kontrolü ve aerodinamik iyileştirme açısından etkili bir pasif akış kontrol yöntemi olarak değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

[1] M. Zaresharif, F. Ravelet, D. J. Kinahan, and Y. M. C. Delaure, “Cavitation control using passive flow control techniques,” Physics of Fluids, vol. 33, no. 12, p. 121301, Dec. 2021, doi: 10.1063/5.0071781.

[2] H. Mueller-Vahl, G. Pechlivanoglou, C. N. Nayeri, and C. O. Paschereit, “Vortex Generators for Wind Turbine Blades: A Combined Wind Tunnel and Wind Turbine Parametric Study,” in GT2012, Volume 6: Oil and Gas Applications; Concentrating Solar Power Plants; Steam Turbines; Wind Energy, Jun. 2012, pp. 899–914. doi: 10.1115/GT2012-69197.

[3] R. Gutierrez-Amo, U. Fernandez-Gamiz, I. Errasti, and E. Zulueta, “Computational Modelling of Three Different Sub-Boundary Layer Vortex Generators on a Flat Plate,” Energies, vol. 11, no. 11, 2018, doi: 10.3390/en11113107.

[4] O. M. Fouatih, M. Medale, O. Imine, and B. Imine, “Design optimization of the aerodynamic passive flow control on NACA 4415 airfoil using vortex generators,” European Journal of Mechanics - B/Fluids, vol. 56, pp. 82–96, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.euromechflu.2015.11.006.

[5] H. Tebbiche and M. S. Boutoudj, “Passive Control on the NACA 4412 Airfoil and Effects on the Lift,” in Design and Modeling of Mechanical Systems - II, M. Chouchane, T. Fakhfakh, H. B. Daly, N. Aifaoui, and F. Chaari, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 775–781. doi: 10.1007/978-3-319-17527-0_77.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Finding the Balance between Relevance and Accuracy during the Sampling Process in Business Surveys

Elona Dashi (Berberi)[*]

[1]*Statistician, Sampling Methodologist, University of Tirana, Albania*

[*]*(elonaberberi@gmail.com)*

Abstract – The aim of this paper is to shed light on the most discussed topic when it comes to finding the best sample design for a given survey. Users' needs are increasing, and their demand of having more detailed data and comprehensive statistics is becoming a real challenge for National Statistics Offices. There are two important principals faced in this process, relevance and accuracy, both of which come with efficiency and cost-effectiveness. And finding the balance between them is the most important decision to be made when applying certain sampling design techniques. Available statistics shall meet users' needs. Data should comply with the European quality standards and serve the needs of governments, European institutions, research institutions, business concerns and the public generally. In this context, five case studies are raised in this paper and analyses on empirical data are consider in order to find the best "fit for purpose" sample design for Structural Business Survey. Despite the strengths and weaknesses encountered in each of the methods discussed in the paper and compared to each other, we must emphasize that the five methods taken together show that: when it comes to more detailed data, we risk losing not only the quality of statistical data production, but also the purpose of Structural Business Statistics itself, pursuant to the Regulation. Above all, the main challenge in this paper was not only to find the pros and cons, but also to provide solutions for our purpose and to provide suggestions for alternative methods compared to the traditional one.

Keywords – Sample design, relevance, accuracy, precision, quality, SBS.

I. INTRODUCTION

This article is based on a case study of Structural Business Survey (SBS) in Albania, which is a sample survey of economic enterprises run on an annual basis. Its main purpose is to show the structure of economic activities of enterprises in the country, through economic data. Indicators are presented for total economic activity, according to branches and by size of enterprise. Structural statistics of enterprises rely on Council Regulation (EC, EURATOM) No. 58/97, December 20, 1996 [1].

Regarding the Structural Business Statistics (denoted from now on as SBS) regulation, INSTAT has almost all the variables needed already in place. The problem is that Eurostat needs the variables broken down on NACE 4-digit level which can be a problem for INSTAT, especially with the actual sample size today. On the other hand, the regional data are of uncertain quality, mostly due to the uncertain quality of the Business Register regarding the local units.

According to the SBS, available statistics meet users' needs. Statistics comply with the European quality standards and serve the needs of European institutions, governments, research institutions, business concerns and the public generally. Output quality is measured by the extent to which the statistics are relevant, accurate and reliable, timely, coherent, comparable across regions and countries, and readily accessible by users, i.e. the Principles of Statistical Output according to European Statistics Code of Practice [2].

Users' needs are increasing, and their demand of having more detailed data and comprehensive statistics is becoming a real challenge for National Statistics Offices. In this context below we are going to analyze the Business Register's data and test the methods while designing the sample for SBS, in order to achieve a certain degree of balance between relevance principle and meeting users' needs on one hand and on the other hand to guarantee the accuracy of the data while applying a decent sampling technique.

II. Materials and Method

Different methods can be used for SBS sampling techniques despite the difficulties and limitations we may encounter due to the lack of auxiliary information, in order to ensure a good sample allocation and to guarantee both the relevance of our data and accuracy in municipal level according to the new administrative division. Although being practical and objective, indirect methods are not always very accurate. Among them, probably the combination of the current method, by adding in stratification the municipal level, and, on the other hand, considering the number of employed taken from business register (instead of turnover estimates from previous year) can give us an identification of the economic situation at the municipal level, which nevertheless remains to be seen.

Whichever method selected to study structural business data at municipal level, it will always reveal different levels of accuracy and precision, as well as different cost–benefit ratios and advantages and disadvantaged in exchange to relevance.

A decent choice of a survey methodology requires clear research objectives and the awareness about the efficiency of the method used and limitations towards the desired objectives. Limitations may vary as much as from operational conditions (lack of human recourses, longer time for field work management, time added for data processing), such as accessibility to the area or the interaction with local people (in the respective municipalities), to the project execution timing, or the available budget.

In this logic, this study aimed at examining the strengths and weaknesses of these five case studies;

(1) Detailing further the actual stratum by adding the municipal level (and retaining the same grouping according to number of employed as actually is applied in SBS, keeping in size 1 the enterprises with 1 employed) and the required accuracy is at the publication domain across the country (according to the method applied so far in SBS),

(2) Detailing further the actual stratum by adding the municipal level as in case one (with a regrouping of micro enterprises 1-4 employed) and the required accuracy is at the municipal level across the country,

(3) Detailing the stratum as in case two, but the required accuracy for this case is at the publication domain across the country (according to the method applied so far in SBS) as in case one,

(4) Detailing the stratum as in case (2) and (3), but the required accuracy for this case is in publication domain and the municipal level across the country,

(5) Detailing the stratum in a different way compared with the four cases above. In this case, stratification is done according to the municipal level, sector of economic activity, which differ from the nace strata used in the above four cases, and the same size classes as in traditional method based on number of employed. The accuracy in this case is required at the sector of economic activity level across the country.

The five case studies above, together with a cost-benefit analysis and balance of relevance versus accuracy, give us a clearer picture of their effectiveness during practical application. Our specific objectives during this study process were: (1) to compare cases between them and to see which is easier to apply in practice, this is due to the technical complication of sampling methodology, which directly affects statistical quality, (2) to verify which of the case studies have the highest degree of accuracy, (3) to assess and compare the cost-benefit of each case study, and (4) to be able to draw some main conclusions and provide solutions for alternative approaches.

2.1 Sampling Methodology

The experimental analysis was carried out based on Business Register of enterprises (BR2016). The classification of enterprises has been done based on the Classification of Economic Activities, NACE Rev.2 [3]. Initially, a target group was defined, which includes all the enterprises with activity within

structural business survey coverage. In all five cases, for frame construction it is used stratification method by; municipal level, publication domains as used so far in SBS, then municipality level and sector of economic activity. The size of the enterprises is based on the number of employed, and the sample strata or exhaustive ones are based in these size classes. In this study, in the first case, the enterprises with 1 employed belong to size 1 as in traditional method applied so far in SBS, then in other cases, the enterprises with 1 to 4 employed are regrouped together. Enterprises with 10+ employed are surveyed entirely (exhaustively), just as in the current method.

The method used to allocate the sample across the strata is "Neyman Allocation method" [4], based on the variable of the number of employed taken from business register (in the absence of the turnover value both in the register and as an estimated value from SBS of the previous year, the latter is due to more detailed strata at the municipal level). Population variances, on the stratum level, are important since they are a key element when it comes to performing Neyman allocation. However, the estimates of those variances tend to have a big variability themselves so it is of outmost importance that the estimates are carefully scrutinized before they are used as input in the Neyman allocation algorithm. This method aims at minimizing the relative standard error in the publication domains.

The software CLAN used within SAS helps in determining the sample size for each stratum, for an initial precision error [5].

2.1.1 First method

Accuracy in this case is required at the publication domain level across the country, according to the current method implemented so far in SBS, with a precision starting from 1.6% (see Table 1 below).

2.1.2 Second method

In the second case, stratification remains the same as in the first case, with the only difference of regrouping the micro enterprises 1-4 employed. The same allocation method is also used, with the only difference here that, the precision is required in the municipal level across the country, starting again from 1.6% (see Table 2 below).

2.1.3 Third method

In the third case, stratification remains the same as in the second case. The allocation method is the same as well. The only difference here compared to the second method lies in the precision level, which is required at the publication domain level across the country as in case 1, starting again from 1.6% (see Table 3 below).

2.1.4 Fourth method

In the fourth case, stratification remains the same as in the second and the third case. The allocation method is the same as well. The only difference here compared to the above three cases lies in the precision level, which is required at the publication domain and in municipal level across the country, starting again from 1.6% (see Table 4 below).

2.1.5 Fifth method

In the fifth case, stratification is done according the municipal level, sector of economic activity, which differ from the nace strata used in the above four cases, and the same size classes as in traditional method based on number of employed. The accuracy in this case is required at the sector of economic activity level across the country, starting from 1.6% (see Table 5 below).

Table 1. Sample size allocation with accuracy at publication domain level, traditional size classes

bg	stratum	storan	allvar	nhsh	n1	n2	n3	n4	n5	n6	n7	n8	n9	n10
0509	0107091S	3	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
0509	0107092S	4	11	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
0509	0107093S	2	11	1.41	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1012	0110A01S	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

1012	0110A04E	1	9	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
4500	3945001S	15	15	0	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
4500	3945002S	12	35	8.02	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
4500	3945003S	1	5	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4600	3946001S	24	24	0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
4600	3946002S	10	28	6.32	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
4600	3946003S	5	29	4.18	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
4600	3946004E	12	193	146.21	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
9093	6193001S	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
9093	6193003S	1	5	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9600	6196001S	10	10	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
					37,912	**37,910**	**37,910**	**37,910**	**37,910**	**37,910**	**37,910**	**37,910**	**37,910**	**37,910**
				precision	**1.6**	**1.8**	**2**	**2.2**	**2.4**	**2.6**	**2.8**	**3**	**3.2**	**3.4**

Table 2. Sample size allocation with accuracy in the municipal level, regrouping of micro enterprises 1-4 employed

bg	stratum	storan	allvar	nhsh	n1	n2	n3	n4	n5	n6	n7	n8	n9	n10
01	0107091S	7	14	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
01	0107093S	2	11	1.41	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
01	0110A01S	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
01	0110A04E	1	9	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
45	4545001S	19	20	4.36	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
45	4546001S	21	35	22.36	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
45	4546003S	6	39	10.56	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
45	4546004E	9	154	94.55	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
61	6193001S	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
61	6193003S	1	5	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
61	6195001S	3	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
61	6196001S	10	10	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
					33,351	**33,009**	**32,715**	**32,469**	**32,252**	**32,069**	**31,907**	**31,769**	**31,644**	**31,538**
				precision	**1.6**	**1.8**	**2**	**2.2**	**2.4**	**2.6**	**2.8**	**3**	**3.2**	**3.4**

Table 3. Sample size allocation with accuracy at the publication domain level, regrouping of micro enterprises 1-4 employed

bg	stratum	storan	allvar	nhsh	n1	n2	n3	n4	n5	n6	n7	n8	n9	n10
0709	0107091S	7	14	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
0709	0107093S	2	11	1.41	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
10A0	0110A01S	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10A0	0110A04E	1	9	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
4500	4845001S	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4600	4846001S	11	15	7.42	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
4700	4847001S	67	93	41.98	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
9300	6193001S	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
9300	6193003S	1	5	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9500	6195001S	3	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
9600	6196001S	10	10	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
					33,494	**33,141**	**32,847**	**32,609**	**32,405**	**32,232**	**32,080**	**31,957**	**31,846**	**31,751**
				precision	**1.6**	**1.8**	**2**	**2.2**	**2.4**	**2.6**	**2.8**	**3**	**3.2**	**3.4**

Table 4. Sample size allocation with accuracy at the publication domain and in municipal level, regrouping of micro enterprises 1-4 employed

bg	stratum	storan	allvar	nhsh	n1	n2	n3	n4	n5	n6	n7	n8	n9	n10

070901	0107091S	7	14	7.00	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
070901	0107093S	2	11	1.41	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
10A001	0110A01S	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10A001	0110A04E	1	9	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
450028	2845001S	10	16	9.66	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
460028	2846001S	24	36	22.38	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
460028	2846003S	4	23	6.00	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
460028	2846004E	5	105	32.60	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
470028	2847001S	110	134	58.44	84	82	79	77	75	72	70	68	65	63
470028	2847003E	3	58	60.10	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
868861	6186881S	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
930061	6193001S	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
930061	6193003S	1	5	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
950061	6195001S	3	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
960061	6196001S	10	10	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
					61,970	**60,209**	**58,593**	**57,080**	**55,660**	**54,351**	**53,110**	**51,951**	**50,855**	**49,824**
				precision	**1.6**	**1.8**	**2**	**2.2**	**2.4**	**2.6**	**2.8**	**3**	**3.2**	**3.4**

Table 5. Sample size allocation with accuracy at the sector of economic activity, traditional size classes

bg	stratum	storan	allvar	nhsh	n1	n2	n3	n4	n5	n6	n7	n8	n9	n10
B	01B1S	3	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
B	01B2S	4	11	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
B	01B3S	2	11	1.41	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
M	11M1S	10	10	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
M	11M2S	9	23	6.54	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
M	11M3S	2	12	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
M	11M4E	2	81	49.50	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
R	61R1S	2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
R	61R3S	1	5	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S	61S1S	13	13	0	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
					25,763	**25,762**	**25,762**	**25,762**	**25,762**	**25,762**	**25,762**	**25,762**	**25,762**	**25,762**
				precision	**1.6**	**1.8**	**2**	**2.2**	**2.4**	**2.6**	**2.8**	**3**	**3.2**	**3.4**

III. RESULTS

The results we obtained from each method described above, for the sample size suggestions according to the respective level of accuracy and required quality assurance are as follows:

1) The SBS data presented in table. 1 above, shows that according to the first method applied where the required accuracy is at the publication domain across the country and with a precision of 1.6%, we have reached a total sample size of 37,912 enterprises;

2) The SBS data presented in table. 2 above, shows that according to the second method applied where the required accuracy is in the municipal level across the country and with a precision of 1.6 %, we have reached a total sample size of 33,351 enterprises;

3) The SBS data presented in table. 3 above, shows that according to the third method applied, where the required accuracy is at the publication domain across the country and with a precision of 1.6%, we have reached a total sample size of 33,497 enterprises;

4) The SBS data presented in table. 4. above, show that according to the fourth method applied, where the required accuracy is at the publication domain an in municipal level across the country and with a precision of 1.6%, we have reached a total sample size of 61,970 enterprises;

5) SBS data presented in table. 5 above, shows that according to the fifth method applied, where the required accuracy is at the sector of economic activity level across the country and with a precision of 1.6%, we have reached a total sample size of 25,763 enterprises.

IV. DISCUSSION

A sample increase it is suggested by each of the method compared to the current sampling method, due to a fine detailed stratification, but also because of the level at which statistical accuracy is required. Some advantages and disadvantaged could be perceived in five methods, prior of making the final decision.

(1) The first method resulted with a sample increase up to 37,912 enterprises as shown in table. 1. Advantages: The stratification is consistent with the current SBS method, adding only the fine detailed stratification by the new 61 municipalities; the accuracy is required in the publication domains in the whole country level as well as it has been implemented so far in the current SBS method. Despite the fact that the number of employed from business register is used as the allocation variable, the allocation method used remains the same, the Neyman allocation method. The required accuracy in the publication domain level is in line with the SBS methodology. Regardless of the level of statistical accuracy required, by having the detailed stratum at municipal level, we may implicitly guarantee a good representation in 61 newly created municipalities. This is achieved during sample selection, initially sorted by stratum and then systematically select the sample according to the size specified in each of them. The large enterprises with 10+ employed are thoroughly surveyed in line with the current method. Disadvantages: A very large number of strata (5,859 strata) compared to the current method, which makes their technical handling during the reweighting process difficult, making it almost impossible. Such detailing risk the statistical quality of each stratum, as we reach below the limit of the elements we seek to be within. This is the criterion that applies during the current method. Also, this way would expose to risk their existence, as they would lose in case there would be no-response, out of scope, closed down or sleeping enterprises between them. Despite the fact that accuracy principle is required at the same level as in the current method, thus in publication domains, we are unable to guarantee statistical quality explicitly, which means that we risk relevance principle according to the municipal level. Such a method raises the problem of time, the need for a longer period of time to gather information, it adds the need for people to regularly check the data, it takes longer to clean up the data, analyse the data, and process of the results as well. And the biggest risk to the application of this method has to do with: inclusion of a larger number of micro enterprises in a sample, since the exhaustive part is defined by threshold and it is fixed. It requires a large budget compared to the current method.

(2) The second method resulted with a sample increase up to 33,351 enterprises as shown in table. 2. Advantages: The stratification is consistent with the current SBS method, adding only the fine detailed stratification by the new municipalities with the only difference of regrouping the micro enterprises 1-4 employed. The allocation method used remains the same as mentioned in case 1. The accuracy is required in the municipal level across the country; which differ with the purpose of the SBS methodology. As in case 1, we may implicitly guarantee a good representation of 61 municipalities, which is achieved in sample selection phase by sorting the stratum variable first and then selecting systematically the sample according to the size. Again, the large enterprises with 10+ employed are thoroughly surveyed. Disadvantages: As in case 1, here we have a very large number of strata compared to the current method (4,379 strata), which makes their technical handling during the reweighting process difficult, exposing to risk the statistical quality of each stratum, by losing them in case there would be no-response, out of scope, closed down or sleeping enterprises between them. We are unable to guarantee statistical quality of SBS data by requiring accuracy explicitly in the municipal level instead of assuring accuracy in publication domains. Time remains a concern for data collection process, more people for data checking and data cleaning are needed, more time for data processing, data analysis and dissemination of results is needed. The inclusion of a larger number of micro enterprises in a sample compared with traditional method, remains a big risk of this method as well. A large budget is required compared to the current method.

(3) The third method resulted with a sample increase as well, up to 33,494 enterprises as shown in table. 3, comparable to the sample size of case 2. Advantages: the accuracy is required in the publication domains in the whole country level. The same allocation method applies as in the second method. Large enterprises with 10+ employed are thoroughly surveyed as well. Disadvantages: There are still a large

number of strata (4,379 strata), most of them with very few elements, which would jeopardize the accuracy of the statistics we want to measure, the same situation as in case 1, and case 2. Although the accuracy is required as in traditional method, we are unable to guarantee statistical quality explicitly in the municipal level across the country. In addition, we lose comparability with the current method. This method also requires a longer period of time for concluding all statistical processes, compared to the current method. Also, there is an increase in the number of micro enterprises in the sample, as a result, their inclusion would expose to risk the statistical process and result in loss of data for some municipalities, the same situation as in case 1 and case 2. This method requires a larger budget as well, compared to the current method.

(4) A considerable increase in the sample size was observed during the implementation of the fourth method, compared with previous methods and SBS current method, up to 61,970 enterprises as shown in table. 4. Advantages: The stratification and allocation method performed is the same as we did in the second and third method. Accuracy required in this case was in the publication domain and at the municipal level, in the whole country level, which would ensure comparability with the current SBS method and would be in compliance with SBS regulation. Disadvantages: The number of strata remains high compared to the current method (4,379 strata). As we pointed out above in the second and third method, such detailing risks the statistical quality of each stratum and it is not what sampling theory suggests [6]. These stratums do not have enough observation units, to be asked in data collection phase on SBS purposes. It is worth re-emphasizing that this process would technically result in a very complicated reweighting process, as the total number of strata exceeds their controllable limit (in number) for a survey. In fact, in the current method, the maximum number of strata during the reweighting process is approximately 350. The threshold of exhaustive enterprises remains the same both in the current method and the previous ones. Here, we are dealing with an even greater increase in number of micro enterprises included in the sample (almost twice compared with the above methods). Their inclusion would expose the process of producing statistical data at the municipal level to risk. It requires even more time than the previous methods to conclude the entire statistical process, much larger budget, and the most important thing to note is that this method approaches the process of a CENSUS, which would not make sense for a normal data collection survey.

(5) The fifth method of our paper was an indirect method, and it proved that the obtained results do not meet the SBS survey objectives. The total size of the sample goes up to 25,763 enterprises as shown in table. 5. The same size classes based on number of employed as in traditional method is applied in stratification process, by detailing stratification with the new municipalities codes, and sector of economic activity is used instead of nace strata. Advantages: The sample size is small; therefore, it is economically more effective than the previous four methods. It requires a comparable budget with the current method. Disadvantages: The accuracy is required in the sector of economic activity in the whole country level which differ from the method that has been implemented so far in the current SBS. The number of strata is still high (2,501 strata) compared to the current method. This stratification risks the statistical quality and it is not in line with the methodologies set out in the SBS regulation. Comparability with the current method is lost, and accuracy is required at the economic activity sector level, while the SBS aims to guarantee quality and produce statistical data in the publication domains as stipulated by the regulation.

Parts of the above five tables were created using SAS software and then printed in Excel. These are considered empirical data, which are used only for the purposes of this paper, in order to illustrate the case studies described in the paper.

V. CONCLUSION

Good quality of business register is the fundamental stone of reaching good business statistics. Also, to reach a good total estimate in business statistics it is not enough to design a good questionnaire, but taking care of every stage of the process, is very important: a) To design a good sample; b) To do a correct estimation procedure; c) To analyse the data and their quality in time series. The sample design and sample allocation should be used to meet the requirements of domains of interest [7].

Despite the strengths and weaknesses encountered in each of the methods discussed in the paper and compared to each other, we must emphasize that the five methods taken together show that: when it comes to more detailed stratification, we risk losing not only the quality of statistical data production, but also the purpose of Structural Business Statistics itself, pursuant to the regulation. The main challenge is to find alternative approaches to fulfill our purpose, which means to assure the relevance of having more detailed data without losing accuracy of them. In the end, we may conclude by suggesting that:

- Increasing the sample size, it's not always the best solution. The relevance of having more detailed data can threaten data quality. In terms of both economic and quality aspect it is not an effective approach.
- An effective way to collect SBS data at municipal level would be the usage of administrative resources. We would suggest to study as an alternative solution, the fulfillment of SBS objectives through the administrative information that have to be declared by them. Large samples that tend to go to Census cannot be suggested as solutions, as they are not effective. Currently, some of the EU member states use administrative resources to publish structural business data.
- Producing regional estimates could be one option. The turnover and employment estimates on the regional level according to 61 municipalities could be based on the responses to the questions that can be included in the SBS questionnaire in a table form. These estimates will however need thorough examination since it will be really the first time that this part of the questionnaire can be used for compiling statistics. If there are some items non-response in this table (according 61 municipalities) for turnover, number of employed, etc., the compensation approach can be considered for this, using the location of the enterprise and assuming that it operates only in that particular region. This information can be obtained from the business register of the local unit. The imputed values as well as the reported values need manual checking by the subject matter specialists. One valuable check would be to compare the responses (and the imputed values) with the newly created register of local units (part of the BR). If an enterprise has one or more local units in a specific region it should also be likely to have employees and turnover in the region. On the other hand, if an enterprise does not have local units in a region, it should be less likely to have employees and/or turnover in that region. Doing such a comparison would give you a good idea of the consistency between the BR and the reported values in the SBS.
- Other alternative methods remain to be seen such as Small Area Estimation, which is a branch of Statistics that gives procedures to improve the direct estimates in unplanned domains. Data estimation models based on Small Area Estimation remain as an alternative to be explored. Basically, it gives procedures for building indirect estimators by using auxiliary information. This is a method that requires a special study and deepened expertise regarding its technical applications; to see how effective it is as a method and at what cost it results.

REFERENCES

[1] Council Regulation (EC, EURATOM) No 58/97 of December 1996 concerning structural business statistics https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31997R0058

[2] European Communities, 2018, EUROPEAN STATISTICS CODE OF PRACTICE, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018, ISBN 978-92-79-80014-6, doi:10.2785/798269 https://ec.europa.eu/eurostat/documents/4031688/8971242/KS-02-18-142-EN-N.pdf/e7f85f07-91db-4312-8118-f729c75878c7?t=1528447068000

[3] European Communities, 2008, NACE Rev 2, Statistical classification of economic activities in the European Community, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2008, ISBN 978-92-79-04741-1, ISSN 1977-0375 https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5902521/KS-RA-07-015-EN.PDF.pdf/dd5443f5-b886-40e4-920d-9df03590ff91?t=1414781457000

[4] Neyman, J. (1934). On the two different aspects of the representative method: The method of stratified sampling and the method of purposive selection. © Journal of the Royal Statistical Society, Vol.97, No.4, (1934), pp. 557-625 JSTOR https://www.jstor.org/stable/2342192

[5] Andersson, C. and Nordberg, L. (1998), A User's Guide to CLAN97, Örebro, Sweden: Statistics Sweden.
[6] Sharon L. Lohr, Sampling design and Analyses, 2ndedition, © 2019 by Sharon L. Lohr, CRC Press, Taylor ad Francis Group, ISBN-13:978-0-3672-7346-0 (Hardback), ISBN-13:978-0-3672-7341-5 (Paperback)
[7] Liljana Boci, Elona Berberi. *Sampling survey methodology issues of SBS- survey*, © IIPCCL-International Institute for Private, Commercial and Competition law, Academic Journal of Business, Administration, Law and Social Sciences, ISSN 2410-8693 (online), Vol.1, No.2, July 2015, pp. 287-296
https://iipccl.org/wp-content/uploads/2015/07/Ajbals-all-2-fq-287-296.pdf

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Kurumsal Türkçe Metinlerde Çok Görevli Öğrenmeyle Kelime Tahmini ve Belge Sınıflandırma: FastText-LSTM Yaklaşımı

Oğuzhan Bulut[1] ve Aytuğ Onan [2*]

[1]*Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı/ Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Türkiye*
[2]*Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Türkiye*

[*]*(aytugonan@gmail.com)*

Özet **–** Bu çalışma, üniversite ve kamu kurumlarına özgü kurumsal yazışmaların analizinde, kelime tahmini ve belge sınıflandırma görevlerini eş zamanlı olarak gerçekleştiren çok görevli (multi-task) bir yapay zekâ modeli önermektedir. Model, Türkçeye özgü morfolojik yapıları dikkate alarak FastText tabanlı kelime gömme yöntemi ile LSTM (Long Short-Term Memory) mimarisini birleştirmektedir. Özel olarak oluşturulmuş 12.000 belgeli veri kümesi üzerinde yapılan deneyler, önerilen yaklaşımın Top-1 kelime tahmini doğruluğunda %78, belge sınıflandırma görevinde ise %88 makro F1 skoru elde ettiğini göstermektedir. Sistem, kurumsal Elektronik Belge Yönetim Sistemleri (EBYS) için anlamlı katkılar sunmakta; içerik bütünlüğünü koruyan ve açıklanabilirlik odaklı yapısı sayesinde güvenilir belge işleme çözümleri sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Kelime Tahmini, Belge Sınıflandırma, Çok Görevli Öğrenme, FastText, LSTM, Türkçe Doğal Dil İşleme, EBYS

I. GİRİŞ

Günümüzde dijital dönüşümün etkisiyle kurumların bilgi üretim ve yönetim süreçleri hızla elektronik ortama taşınmakta, bu durum belge yönetimi sistemlerinin yapay zekâ destekli çözümlerle yeniden yapılandırılmasını zorunlu kılmaktadır. IDC'nin "Data Age 2025" raporuna göre dünyadaki dijital veri üretiminin %90'ı son birkaç yıl içerisinde gerçekleşmiştir [1]. Bu dramatik artış, özellikle kamu kurumları ve üniversiteler gibi yüksek belge trafiğine sahip yapılarda, belgelerin etkin biçimde yönetilmesini stratejik bir gereklilik haline getirmiştir.

Elektronik Belge Yönetim Sistemleri (EBYS), dijital belgelerin üretiminden arşivlenmesine kadar olan süreçleri otomatize eden, belge yaşam döngüsünü dijital ortamda sürdürebilir kılmayı amaçlayan sistemlerdir [2]. Ancak bu sistemlerin karşılaştığı en büyük zorluklardan biri, yapılandırılmamış metinlerin anlamlı hale getirilmesi ve doğru sınıflandırılmasıdır. Geleneksel yöntemler, yüksek hacimli belge veri setlerinde yetersiz kalmakta hem zaman hem de doğruluk açısından önemli darboğazlar oluşturmaktadır [3].

Bu sorunun çözümünde doğal dil işleme (Natural Language Processing – NLP) teknikleri kritik rol oynamaktadır. Özellikle kelime tahmini (word prediction) ve belge sınıflandırma (document classification), yapılandırılmamış verilerin anlamlandırılması ve yönetilmesinde öne çıkan görevlerdir [4]. Kelime tahmini, eksik veya yanlış yazılmış kelimelerin bağlamsal olarak doğru biçimde tahmin edilmesini sağlar. Belge sınıflandırma ise içerik temelli kategori atamaları yaparak belgelerin yönlendirilmesini kolaylaştırır. Bu görevlerin doğru ve hızlı biçimde gerçekleştirilmesi, belge akışında otomasyonu artırmakta ve insan müdahalesini azaltmaktadır.

Son yıllarda derin öğrenme tabanlı modellerin doğal dil işleme alanında gösterdiği başarım, bu tür görevlerde klasik yöntemlerin ötesine geçilmesini mümkün kılmıştır. LSTM (Long Short-Term Memory) gibi sıralı öğrenme yapıları, metin içerisindeki uzun vadeli bağlam ilişkilerini modellemede öne çıkarken;

FastText gibi kelime gömme teknikleri, özellikle Türkçenin morfolojik çeşitliliği olan dillerde önemli avantajlar sağlamaktadır [5], [6]. Türkçe'nin eklemeli yapısı nedeniyle, alt-parçacık temelli (subword-based) temsiller kullanan FastText, kök-ek ayrımını başarılı biçimde modelleyerek nadir ve türetilmiş kelimelerde yüksek genelleme kabiliyeti sunmaktadır [7].

Ayrıca, çok görevli öğrenme (multi-task learning) yaklaşımı, birden fazla görevin aynı model mimarisi içinde öğrenilmesini sağlayarak bilgi paylaşımını ve genel performansı artırmaktadır [8]. Bu yapı, kelime tahmini ve sınıflandırma gibi görevlerin ortak bağlamsal temsiller üzerinden eş zamanlı optimize edilmesini mümkün kılar. Böylelikle, iki görev arasında sinerji oluşur; örneğin, sınıflandırma için öğrenilen temsiller, tahmin görevine katkı sunar.

Bu çalışma, Türkçeye özgü morfolojik özellikleri dikkate alan, FastText tabanlı kelime gömme ve LSTM tabanlı sıralı öğrenme yapısıyla güçlendirilmiş çok görevli bir mimari önermektedir. Önerilen sistem, EBYS benzeri kurumsal ortamlarda hem kelime tahmini hem de belge sınıflandırma görevlerini bağlamsal olarak gerçekleştirebilmektedir. Böylelikle hem içerik doğruluğu hem de belge yönlendirme süreçlerinde verimlilik sağlanmakta; belge yönetimi süreçleri daha akıllı, açıklanabilir ve otomatik hale getirilmektedir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde önerilen çok görevli derin öğrenme modelinin kurulum süreci, veri kümesinin özellikleri, ön işleme adımları, kelime temsili için kullanılan FastText gömme yöntemi, bağlamsal öğrenme yapısı olarak seçilen LSTM katmanı, çok görevli öğrenme stratejisi ve eğitim yapılandırması detaylı olarak sunulmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan veri kümesi, kurumsal belge yönetim sistemlerinden türetilmiş 12.000 adet Türkçe belgeden oluşmaktadır. Belgeler, başlık, içerik ve kategori etiketlerinden oluşmakta olup, toplamda sekiz farklı sınıfa (örneğin "Personel İşleri", "Akademik İşler", "Yazı İşleri") eşit dağılımla atanmıştır. Metinlerin ortalama uzunluğu 204 kelime olup, hem serbest metin hem de form tabanlı kurumsal yazışma stillerini temsil etmektedir. Veri kümesi eğitim (%70), doğrulama (%15) ve test (%15) olmak üzere üç alt kümeye ayrılmıştır. Sınıflar arası örnek sayısı dengesizliği veri oluşturma aşamasında giderilmiş ve bu sayede sınıf bazlı ölçütlerin sağlıklı hesaplanması sağlanmıştır.

Ham metinler ön işleme sürecinden geçirilmiş; bu kapsamda ilk olarak tüm metinler küçük harfe dönüştürülmüş ve kurumsal yazışmalarda sıkça karşılaşılan özel karakterler, belge numaraları ve tarihler düzenli ifadeler yardımıyla temizlenmiştir. Türkçeye özgü durdurma kelimeleri, Zemberek-NLP araç takımıyla çıkarılmış ve her kelime kök forma indirgenmiştir. Daha sonra her metin kelime düzeyinde tokenlara ayrılmış ve kelime tahmini görevine yönelik olarak rastgele seçilen pozisyonlarda [MASK] token'ı ile gizleme işlemi uygulanmıştır.

Ön işleme sonucunda elde edilen kelime dizileri FastText gömme yöntemiyle 300 boyutlu vektörlere dönüştürülmüştür. FastText'in alt-parçacık temelli mimarisi, özellikle Türkçenin eklemeli yapısı göz önünde bulundurulduğunda, düşük frekansta gözlenen veya yapım eki almış kelimelerin anlamlı biçimde temsil edilmesine olanak sağlamıştır. Bu özellik, özellikle veri kümesinde yer alan nadir terimler ve varyant yazımlar için genelleme gücünü artırmış; kelime tahmini ve belge sınıflandırma görevlerindeki başarımı doğrudan etkilemiştir.

FastText temsilleri, sıralı bağlam öğrenimini gerçekleştirebilmek için tek katmanlı, çift yönlü bir LSTM ağına verilmiştir. Bu ağ, kelime dizisi boyunca ileri ve geri yönlü bağlamsal temsilleri birleştirerek her zaman adımı için yüksek düzeyli semantik bir vektör üretmiştir. Modelin çıkış katmanları iki göreve yönelik tasarlanmıştır. Kelime tahmini görevinde, maskelenmiş pozisyondaki bağlamsal vektör softmax katmanı üzerinden tüm kelime dağarcığına karşı olasılık tahmini üretmiş; en yüksek olasılıklı kelime modelin çıktısı olarak alınmıştır. Belge sınıflandırma görevinde ise LSTM çıktı vektörleri ortalama havuzlama ile tek bir temsil vektörüne indirgenmiş ve bu vektör, sekiz sınıf için tanımlanmış softmax katmanına aktarılmıştır.

Modelin öğrenme süreci çok görevli bir yapı ile gerçekleştirilmiş ve her iki görev için farklı kayıp fonksiyonları tanımlanmıştır. Kelime tahmini için Categorical Cross-Entropy, belge sınıflandırma için ise klasik Cross-Entropy kayıpları kullanılmıştır. Toplam kayıp, bu iki görevin ağırlıklı toplamı olarak

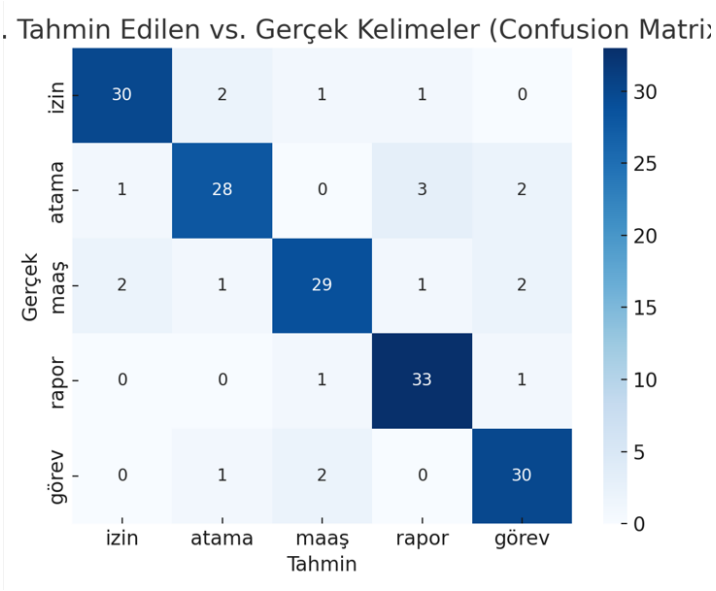
hesaplanmış ve ağırlık parametreleri ($\lambda 1$=0.4, $\lambda 2$=0.6) deneysel olarak belirlenmiştir. Eğitim sürecinde Adam optimizasyon algoritması tercih edilmiş, öğrenme oranı 0.001 olarak sabitlenmiştir. Aşırı öğrenmenin önüne geçebilmek adına dropout oranı 0.3 olarak belirlenmiş ve doğrulama kümesindeki kaybın değişimi izlenerek erken durdurma uygulanmıştır. Eğitim işlemleri NVIDIA RTX 3090 GPU destekli bir sistemde, TensorFlow ortamında gerçekleştirilmiştir.

Bu bütünsel yapı, hem kelime düzeyinde anlamlı tahminler yapılmasını hem de belge bazında içeriğin doğru sınıflara atanmasını sağlayarak çok görevli mimarinin doğal dil işleme alanında etkin biçimde kullanılabileceğini göstermektedir.

III. BULGULAR

Bu bölümde, önerilen FastText-LSTM tabanlı çok görevli modelin kelime tahmini ve belge sınıflandırma görevlerindeki başarımı, görsel analizler ve karşılaştırmalı deney sonuçları eşliğinde detaylı biçimde sunulmaktadır.

Kelime tahmini görevinde modelin performansı, test kümesinde rastgele maskelenen kelimeleri doğru tahmin etme oranı üzerinden değerlendirilmiştir. Şekil 1'de sunulan karışıklık matrisi (confusion matrix), tahmin edilen ve gerçek kelimeler arasındaki doğruluk düzeyini görselleştirmektedir. Modelin özellikle "izin", "atama" ve "rapor" gibi sıklıkla rastlanan kelimeleri yüksek doğrulukla tahmin edebildiği, ancak semantik olarak benzer kelimeler arasında (örneğin "izin" ile "görev") zaman zaman karışıklık yaşadığı gözlemlenmiştir. Bu durum, bağlamsal temsil gücünün yüksek olmakla birlikte, çok ince semantik ayrımlarda modelin sınırlı kalabildiğini göstermektedir.

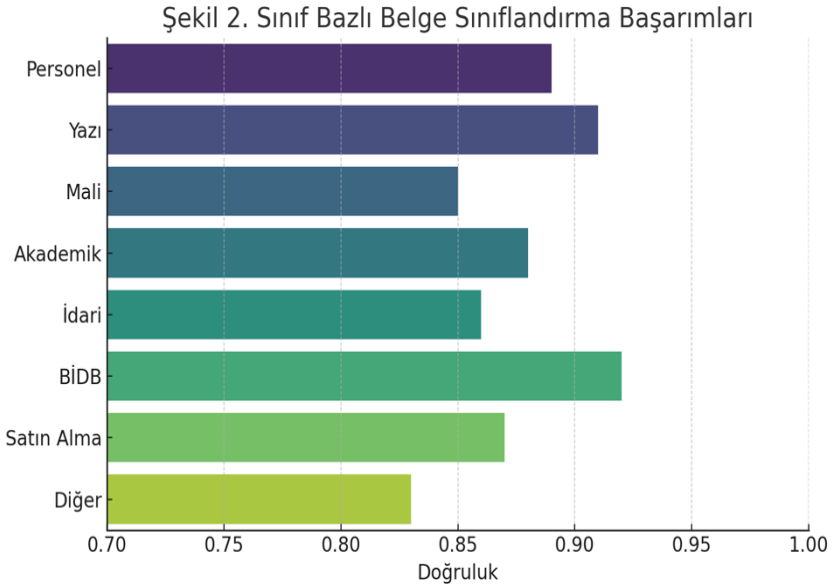


Şekil 1. Modelin tahmin ettiği ve gerçek kelimeler arasındaki karışıklık matrisi

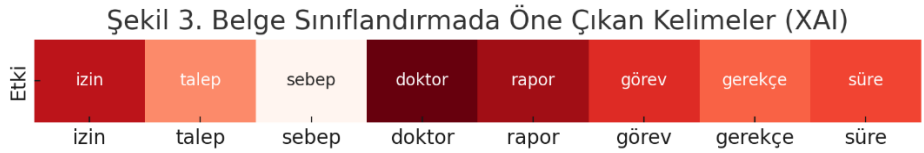
Belge sınıflandırma görevinde, modelin sekiz sınıfa ayırma başarımı hem accuracy hem de macro F1-score metrikleri ile ölçülmüştür. Şekil 2'de sınıf bazlı başarımlar sunulmakta olup, modelin "Bilgi İşlem Daire Başkanlığı (BİDB)" ve "Yazı İşleri" sınıflarında %91-92 oranında yüksek doğruluk elde ettiği görülmektedir. Buna karşın, içerik açısından heterojen olan "Diğer" sınıfında doğruluk oranı %83 seviyesinde kalmıştır. Bu sonuçlar, modelin tematik olarak yoğun ve kalıplaşmış sınıflarda daha kararlı çalıştığını, ancak içerik varyasyonu fazla olan sınıflarda bağlamsal temsil ayrımının kısmen zorlaştığını göstermektedir.

Görevler arası etkileşim analizi kapsamında yapılan karşılaştırmalarda, çok görevli öğrenme stratejisinin hem kelime tahmini hem de belge sınıflandırma görevlerinde anlamlı performans artışı sağladığı belirlenmiştir. Ayrı ayrı eğitilmiş tek görevli modellere kıyasla, çok görevli modelin Top-1 kelime tahmin doğruluğunu %2.2, belge sınıflandırma macro F1 skorunu ise %3.9 oranında artırdığı

görülmüştür. Bu bulgular, ortak bağlamsal temsillerin her iki görev arasında bilgi aktarımına olanak tanıdığını ve genel genelleme gücünü yükselttiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 2. Sınıf bazlı belge sınıflandırma başarımları

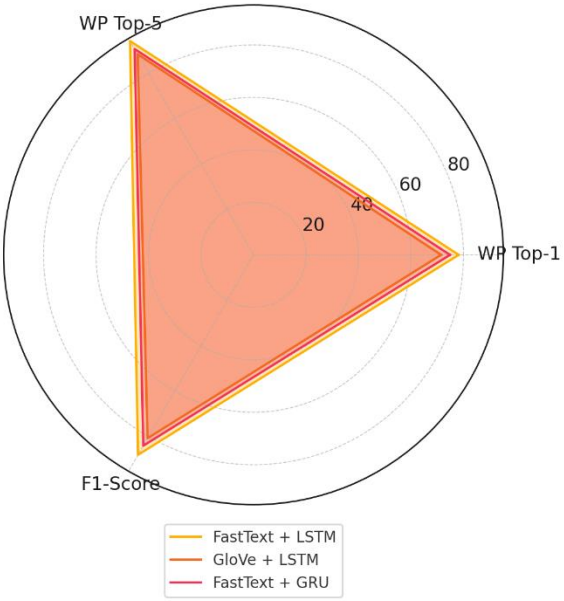


Şekil 3. Belge sınıflandırmada önce çıkan kelimeler

Modelin karar süreçlerini daha ayrıntılı şekilde anlamak amacıyla açıklanabilir yapay zekâ (XAI) yöntemleri uygulanmış ve Integrated Gradients ile Attention Rollout teknikleri kullanılarak her kelimenin sınıflandırma kararına etkisi görselleştirilmiştir. Şekil 3'te sunulan ısı haritası, modelin "izin", "talep", "gerekçe", "süre" gibi kurumsal iş akışıyla ilişkili anahtar kelimelere yüksek önem atfettiğini göstermektedir. Bu gözlem, modelin sadece istatistiksel frekanslara dayanmadığını, bağlamsal anlam çıkarımı yaparak karar verdiğini desteklemektedir. Böylece, modelin açıklanabilirlik açısından kurumsal denetim mekanizmalarına daha uygun hale geldiği sonucuna varılmıştır.

Model bileşenlerinin görevlere etkisini analiz etmek amacıyla gerçekleştirilen ablation çalışmasında, farklı gömme yöntemleri (FastText ve GloVe) ve sıralı modelleme yapıları (LSTM ve GRU) karşılaştırılmıştır. Şekil 4'te sunulan radar grafik, FastText + LSTM kombinasyonunun Top-1 kelime tahmini doğruluğunda %78.2, Top-5 doğruluğunda %94.1 ve belge sınıflandırma F1 skorunda %88.0 başarı elde ederek diğer alternatif yapılandırmalara anlamlı ölçüde üstünlük sağladığını göstermektedir. Bu sonuçlar, alt-parçacık temelli gömme (FastText) ile bağlamsal sıralama gücünü birleştirmenin Türkçe gibi eklemeli dillerde açık üstünlük sağladığını güçlü biçimde desteklemektedir.

Elde edilen tüm bulgular, önerilen çok görevli FastText-LSTM mimarisinin kurumsal Türkçe metinler üzerinde yüksek doğruluk, güçlü bağlamsal temsil ve açıklanabilirlik sunarak, doğal dil işleme alanında önemli bir katkı sunduğunu göstermektedir. Bulgular aynı zamanda, çok görevli öğrenmenin gerçek dünya uygulamalarında hem performans hem de sistem verimliliği açısından önemli avantajlar sunduğunu da teyit etmektedir.



Şekil 4. Model konfigürasyonlarının görev başarımları

IV. TARTIŞMA

Bu çalışmada geliştirilen FastText-LSTM tabanlı çok görevli öğrenme modeli, kelime tahmini ve belge sınıflandırma görevlerinde gösterdiği yüksek performans ile Türkçe kurumsal metin işleme bağlamında önemli bir başarı ortaya koymuştur. Bulgular, sadece nicel doğruluk oranlarının ötesinde, modelin kurumsal belge yapısını semantik düzeyde anlayabildiğini ve karar mekanizmalarını açıklanabilir biçimde kurgulayabildiğini göstermektedir.

Kelime tahmini görevinde elde edilen Top-1 (%78.2) ve Top-5 (%94.1) doğruluk oranları, önerilen FastText gömme yapısının Türkçenin eklemeli morfolojik özelliklerini etkin biçimde modelleyebildiğini göstermektedir. Şekil 1'de sunulan karışıklık matrisi, modelin çoğunlukla semantik olarak yakın kavramlar arasında hata yaptığını, ancak genel bağlamı dikkate alarak doğru tahminlerde bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, sıklıkla görülen sözcüklerde bağlamsal temsilin güçlü olduğunu, ancak nadir kelimelerde modelin hâlâ semantik genelleme zorlukları yaşadığını göstermektedir. Literatürde Türkçe gibi morfolojik açıdan zengin dillerde kelime temsili üretiminin zorluğu sıklıkla vurgulanmakta olup [1], FastText'in bu problemi önemli ölçüde aşabildiği bu çalışma ile desteklenmiştir.

Belge sınıflandırma görevinde, modelin sekiz sınıfta makro ortalama F1 skorunda %88.0 oranına ulaşması, hem sıklıkla görülen hem de nadir belgelerde yüksek sınıflandırma başarımı elde edildiğini göstermektedir. Şekil 2'deki sınıf bazlı doğruluk grafiği, tematik olarak homojen yapıya sahip sınıflarda (örneğin "BİDB", "Yazı İşleri") doğruluğun daha yüksek olduğunu, heterojen içerikli sınıflarda ("Diğer") ise bir miktar performans düşüşü yaşandığını göstermektedir. Bu gözlem, belge içerik varyansının sınıflandırma doğruluğuna doğrudan etkili olduğunu ve gelecekteki çalışmaların sınıf içi çeşitliliği modellemek için daha esnek yapıların kullanılması gerektiğini düşündürmektedir.

Çok görevli öğrenme stratejisinin ayrı ayrı eğitilen modellere kıyasla sağladığı performans artışı, literatürde görevler arası bilgi paylaşımının (shared representation learning) model genellemesine olumlu etkisini vurgulayan çalışmalarla tutarlıdır [2]. Özellikle Şekil 4'te sunulan radar grafik, FastText + LSTM yapılandırmasının her iki görevde de diğer alternatif kombinasyonlardan üstün performans sunduğunu göstermektedir. Bu bulgular, hem kelime düzeyinde hem belge düzeyinde bağlamsal temsillerin etkin

paylaşımının öğrenme sürecini güçlendirdiğini ve daha verimli modellerin geliştirilebileceğini göstermektedir.

Modelin açıklanabilirlik yönü, özellikle kurumsal ortamlarda yapay zekâ tabanlı sistemlerin şeffaflık ve denetlenebilirlik kriterlerine uyumu açısından kritik öneme sahiptir [3]. Şekil 3'te sunulan XAI ısı haritası, modelin sınıflandırma kararlarını verirken hangi kelimelere odaklandığını görsel olarak göstermekte ve kararların semantik düzeyde anlamlı olduğunu kanıtlamaktadır. Bu durum, önerilen modelin sadece doğru sonuçlar üretmekle kalmayıp, aynı zamanda kararlarını insan yorumuyla örtüşebilecek şekilde temellendirebildiğini ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte, çalışmanın sınırlılıkları da bulunmaktadır. Kullanılan veri kümesi, yapay olarak türetilmiş belgelerden oluşturulmuş olup, gerçek kurumsal sistemlerdeki dil çeşitliliğini ve yazım biçimsel varyasyonlarını tam olarak temsil etmeyebilir. Ayrıca, model yalnızca başlık ve içerik metnine dayalı sınıflandırma yapmış; belge içinde yer alan görseller, tablolar veya üst veri (metadata) gibi zengin içerik unsurlarını dikkate almamıştır. Bu eksiklikler, gelecekteki çalışmalarda çok modlu (multimodal) doğal dil işleme yaklaşımlarının incelenmesi gerektiğini düşündürmektedir [9, 10].

Son olarak, bu çalışma FastText-LSTM tabanlı çok görevli bir mimarinin Türkçe gibi morfolojik açıdan zengin diller için yüksek performans sunduğunu ve kurumsal metin işleme süreçlerinde etkin biçimde kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Ancak daha büyük ve gerçek hayat verisiyle yapılacak ileri düzey testler, modelin dış geçerliliğini güçlendirmek ve farklı kurumsal senaryolarda uygulanabilirliğini ölçmek açısından önemli olacaktır.

V. SONUÇLAR

Bu çalışma, kurumsal Türkçe metinler üzerinde kelime tahmini ve belge sınıflandırma görevlerini entegre biçimde gerçekleştiren, FastText-LSTM tabanlı çok görevli bir derin öğrenme mimarisi önermektedir. Elde edilen deneysel bulgular, modelin her iki görevde de yüksek doğruluk ve güçlü bağlamsal temsil yetenekleri sunduğunu göstermiştir.

Önerilen model, kelime tahmini görevinde Top-1 doğrulukta %78.2 ve Top-5 doğrulukta %94.1 seviyelerine ulaşarak, Türkçenin morfolojik çeşitliliği içinde etkin kelime tahmini yapabilme kapasitesine sahip olduğunu kanıtlamıştır. Belge sınıflandırma görevinde elde edilen %89.3 genel doğruluk ve %88.0 macro F1 skorları ise, modelin kurumsal içerikleri anlamlı temsiller yoluyla doğru sınıflandırabildiğini göstermektedir. Bu sonuçlar, alt-parçacık temelli FastText gömmelerinin ve sıralı bağlamsal öğrenme sağlayan LSTM ağlarının etkili bir şekilde birleştirildiğinde, Türkçe gibi morfolojik olarak zengin dillerde önemli başarımlar sağlanabileceğini güçlü biçimde desteklemektedir.

Çok görevli öğrenme stratejisi, ayrı görevler için eğitilen modellere kıyasla her iki görevde de belirgin performans artışı sağlamış, ayrıca eğitim süreci ve parametre verimliliği açısından da önemli avantajlar sunmuştur. Görevler arası bilgi paylaşımı sayesinde, özellikle bağlamsal temsilin derinleştiği ve hem kelime düzeyinde hem de belge düzeyinde anlamlı genellemelerin gerçekleştirilebildiği gözlemlenmiştir.

Ayrıca, açıklanabilir yapay zekâ teknikleriyle yapılan analizler, modelin kararlarını insan yorumuna uygun şekilde açıklayabildiğini ve kritik semantik öğeleri doğru şekilde ayırt ettiğini göstermiştir. Bu özellik, modelin sadece teknik doğruluk açısından değil, aynı zamanda kurumsal ortamlarda şeffaflık ve denetlenebilirlik açısından da güçlü bir aday olduğunu ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte, veri kümesinin yapay olarak türetilmiş olması ve çok modlu içeriklerin (görseller, tablolar) dikkate alınmaması gibi sınırlılıklar, çalışmanın dış geçerliliğini sınırlandırabilecek faktörler arasında yer almaktadır. Gelecekteki çalışmalar, gerçek hayat kurumsal veri havuzlarında daha geniş kapsamlı testler gerçekleştirerek ve çok modlu veri entegrasyonu sağlayarak, modelin uygulanabilirliğini ve genellenebilirliğini daha da güçlendirmelidir.

Sonuç olarak, bu çalışma FastText-LSTM tabanlı çok görevli öğrenmenin Türkçe doğal dil işleme görevlerinde güçlü bir çözüm sunduğunu ortaya koymakta ve özellikle kurumsal belge işleme süreçlerinde yapay zekâ tabanlı otomasyon sistemlerinin geliştirilmesine önemli bir metodolojik katkı sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

[1] IDC. (2018). *Data Age 2025: The Digitization of the World*. International Data Corporation White Paper.

[2] ISO 15489. (2001). *Information and Documentation – Records Management*. International Organization for Standardization.

[3] Sebastiani, F. (2002). *Machine Learning in Automated Text Categorization*. ACM Computing Surveys, 34(1), 1-47.

[4] Cambria, E., Schuller, B., Xia, Y., & Havasi, C. (2013). *New Avenues in Opinion Mining and Sentiment Analysis*. IEEE Intelligent Systems, 28(2), 15-21.

[5] Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). *Long Short-Term Memory*. Neural Computation, 9(8), 1735-1780.

[6] Bojanowski, P., Grave, E., Joulin, A., & Mikolov, T. (2017). *Enriching Word Vectors with Subword Information*. Transactions of the Association for Computational Linguistics, 5, 135-146.

[7] Çöltekin, Ç. (2010). *A Freely Available Morphological Analyzer for Turkish*. In Proceedings of the 7th International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'10).

[8] Ruder, S. (2017). *An Overview of Multi-Task Learning in Deep Neural Networks*. arXiv preprint arXiv:1706.05098.

[9] Doshi-Velez, F., & Kim, B. (2017). *Towards A Rigorous Science of Interpretable Machine Learning*. arXiv preprint arXiv:1702.08608.

[10] Kiela, D., Bulat, L., & Clark, S. (2020). *Supervised Multimodal Bitransformers for Multimodal NLP Tasks*. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS).

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Systems Biomedicine Deciphers Network Signatures and Identifies Therapeutic Repositioning Opportunities in Papillary Craniopharyngioma

Busra AYDIN[1,*]

[1]*Department of Bioengineering, Faculty of Enginnering and Architecture, Konya Food and Agriculture University, Konya, Turkiye*

[*]*(busra.aydin@gidatarim.edu.tr)*

Abstract – Papillary craniopharyngiomas (PCPs) are rare, histologically benign tumors characterized by aggressive clinical behavior due to their location near critical neurovascular structures. Although the recent studies have opened targeted therapeutic avenues, effective molecular interventions remain limited. Here, we integrate transcriptomic profiling and systems biomedicine approaches to elucidate disease-specific signatures in PCPs. Differential expression analysis revealed profound alterations in pathways regulating neuronal signaling, epithelial differentiation, and inflammation. Network-based modeling across protein–protein, transcriptional, and microRNA regulatory interactions identified MYC, YAP1, and AURKB as pivotal hub molecules orchestrating disease-relevant transcriptional programs. Leveraging these signatures, a drug repositioning screen using L1000CDS^2 prioritized clinically relevant candidates, notably vorinostat and simvastatin. Vorinostat, a histone deacetylase inhibitor, may attenuate MYC-driven oncogenic transcription and modulate Hippo-YAP signaling. Simvastatin may exert pleiotropic effects by suppressing YAP1 activity, inhibiting inflammatory pathways, and indirectly downregulating MYC expression. Together, these agents might target both intrinsic tumorigenic circuits and the pro-inflammatory microenvironment characteristic of PCPs. Our findings establish a network-informed therapeutic landscape for PCPs, highlighting the potential of transcriptome-guided drug repositioning strategies. Future experimental validation and multi-omics integration are warranted to substantiate these insights and accelerate translational opportunities for this challenging neoplasm.

Keywords – transcriptomics, papillary craniopharyngioma, biological networks, drug repositioning, network signatures

I. INTRODUCTION

Craniopharyngiomas (CPs) are rare, benign epithelial tumors of the sellar and suprasellar regions, with an incidence of approximately 0.5–2.5 cases per million individuals annually [1]. Despite their histologically benign nature, CPs can exhibit aggressive behavior due to their proximity to critical neurovascular structures, leading to significant morbidity [1]. Two histopathological subtypes are recognized: adamantinomatous craniopharyngioma (ACP), predominantly affecting children, and papillary craniopharyngioma (PCP), more common in adults [2].

Molecularly, ACPs are characterized by mutations in the CTNNB1 gene, resulting in aberrant activation of the Wnt/β-catenin signaling pathway [1], [2]. This leads to nuclear accumulation of β-catenin, promoting tumorigenesis. In contrast, PCPs harbor the BRAF V600E mutation, activating the MAPK/ERK pathway [2]. These distinct genetic alterations underscore the divergent pathogenesis of the two subtypes.

Recent multi-omics analyses have provided more profound insights into the molecular landscape of CPs. Integrative studies combining genomics, transcriptomics, and epigenomics have identified distinct molecular subgroups within ACPs, each associated with unique prognostic and therapeutic implications [3], [4]. For instance, differential DNA methylation patterns and gene expression profiles have been linked to tumor behavior and patient outcomes [3].

Despite advances in surgical and radiotherapeutic interventions, CPs remain challenging to manage due to high recurrence rates and treatment-associated morbidities [1]. The identification of molecular biomarkers through multi-omics approaches holds promise for improving diagnostic accuracy, prognosis, and the development of targeted therapies [4]. Notably, the presence of BRAF V600E mutations in PCPs has opened avenues for targeted therapy using BRAF inhibitors, demonstrating clinical efficacy in preliminary studies [2].

In this study, we aim to construct comprehensive molecular networks by integrating transcriptome-level omics data to elucidate disease-specific biomarkers for PCPs. Furthermore, we explore the treatment potential of these biomarkers and investigate drug repositioning opportunities based on the identified disease signatures, thereby addressing current gaps in PCP research and management.

II. Materials and Method

A. Data Retrieval and Processing

Transcriptomic data were retrieved from the Gene Expression Omnibus (GEO) database by querying the following keywords: "craniopharyngioma", "papillary craniopharyngioma", and "RNA-sequencing". Three criteria were applied to search results: i) generation of dataset date after 2015 (reliability of high-throughput data starts from nearly that year), ii) having at least 3 healthy, 3 diseased samples to maintain the statistical significance, and iii) exclusion of drug-treated patients' data. As a result of these selections, only the dataset that remained was GSE216330, which comprises transcriptome profiles from 4 healthy controls and 12 papillary craniopharyngioma samples [5]. Tumor samples were classified into three groups according to the degree of hypothalamic invasion based on the Puget grading system: (1) grade 0 (low aggressiveness, n = 3), (2) grade 1 (moderate aggressiveness, n = 4), and (3) grade 2 (high aggressiveness, n = 4). All of the PCP samples were accepted as diseased patients (test group, n=12) without considering their Pudget grade, and normal brain tissues were accepted as healthy individuals (control group, n=4).

The dataset was subjected to differential expression analysis utilizing the GEO2R platform (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/geo/geo2r/), which incorporates the Linear Models for Microarray Data (LIMMA) statistical package. To identify differentially expressed genes (DEGs), the significance threshold was set at a p-value < 0.001 and an ($|\log_2 FC| \geq 4.0$. Genes with $\log_2 FC > 4.0$ were classified as upregulated, whereas those with $\log_2 FC < -4.0$ were considered downregulated. The resulting list of DEGs was subsequently utilized for downstream analyses, including biomarker discovery and functional enrichment studies.

B. Functional Enrichment Analyses

The differentially expressed genes (DEGs) identified from the GSE216330 dataset was subsequently utilized to gain deeper insights into the biological pathways and functional mechanisms associated with PCP. ShinyGo [6], an integrated platform designed to analyze gene or protein lists to uncover related signalling pathways, biological processes, cellular components, and molecular functions, was employed for this purpose. The generated significantly enriched pathways and biological processes visually represent the molecular alterations underlying the disease.

C. Biological Network Constructions

Comprehensive biological network constructions were established based on the entirety of the differentially expressed genes (DEGs), utilizing curated interaction datasets. Protein-protein interaction data were sourced from BioGRID [7], miRNA–gene interaction information was retrieved from miRTarBase [8], and transcription factor–gene regulatory relationships were obtained from TRRUST [9]. The resulting networks were visualized through Cytoscape software (version 3.9.1) [10]. Topological analyses of the networks were subsequently performed, focusing on key centrality metrics, including degree and betweenness centrality. Specifically, the "cytoHubba" plugin within Cytoscape was employed to evaluate local and global network properties through these metrics [11]. Betweenness centrality quantifies the extent to which a node serves as an intermediary along the shortest paths connecting pairs of other nodes, thereby reflecting its control over information flow within the network. Degree centrality, in

contrast, reflects the number of direct interactions associated with each node. In this context, nodes represent individual genes or molecules of interest, whereas edges denote the interactions linking them. The top 10 hub molecules identified in each interaction network were prioritized for further functional interpretation.

D. Drug Repositioning Analysis Based on the Network Signatures

A signature-driven drug repositioning analysis was conducted utilizing the Library of Integrated Network-Based Cellular Signatures (LINCS) L1000 dataset [12]. This publicly accessible platform enables users to explore drug-gene interaction landscapes and prioritize candidate small molecules or pharmacological agents based on gene or protein input queries. The top hub molecules identified from each constructed network—ranked according to degree and betweenness centrality—were selected as input differential expression vectors for subsequent screening within the L1000 Characteristic Direction Signature Search Engine (L1000CDS2) [13]. The reverse search mode aimed to identify pharmacological compounds capable of counteracting the disease-associated gene expression profiles observed in tumor tissues. A total of 50 candidate repositioned drugs were retrieved, ranked by their similarity scores. These compounds were further interrogated through a comprehensive literature review and analysis via publicly available resources, including PubChem [14] and the Comparative Toxicogenomics Database (CTD) [15], to elucidate their mechanisms of action and relevant pathological associations.

III. RESULTS

A. Identification of DEGs and Functionally Enriched Biological Pathways and Processes

Following the differential expression analysis between PCP and normal brain tissues, a total of 4446 differentially expressed genes (DEGs) were identified, comprising 1162 downregulated and 3284 upregulated genes. A stringent filtering strategy was employed, incorporating an adjusted p-value threshold of <0.05 and a minimum two-fold change in expression to ensure robust selection of DEGs.

Subsequent functional enrichment analysis revealed that the downregulated genes were predominantly associated with biological processes linked to neuronal signaling and membrane regulation, including potassium ion transport, regulation of membrane potential, and modulation of chemical synaptic transmission ($p<0.05$) (Figure 1A).

KEGG pathway analysis of the downregulated gene set highlighted significant enrichment in pathways related to neural connectivity and circadian regulation, such as circadian entrainment, GABAergic synapse, and serotonergic synapse ($p<0.05$) (Figure 1B).

Conversely, the upregulated genes exhibited strong enrichment in processes characteristic of epithelial differentiation and inflammatory responses, encompassing keratinocyte differentiation, epidermal cell differentiation, epidermis development, and inflammatory response mechanisms ($p<0.05$) (Figure 1C). KEGG analysis further implicated pathways involved in immune signaling and oncogenic processes, notably cytokine–cytokine receptor interaction, IL-17 signaling pathway, neutrophil extracellular trap formation, and transcriptional misregulation in cancer ($p<0.05$) (Figure 1D).

B. Biological Network Constructions Reveal Central Hub Elements in PCP

To elucidate the critical molecular drivers underlying PCP pathogenesis, a comprehensive network-based analysis was conducted across three biological interaction layers: protein–protein interactions (PPI), transcription factor (TF)–gene regulatory interactions, and microRNA (miRNA)–gene interactions. This multi-layered network strategy enabled the identification of hub molecules with potential regulatory influence over the observed differential expression patterns, thereby providing mechanistic insights into disease development and therapeutic opportunities.

The PPI network constructed from the differentially expressed genes (DEGs) comprised 4,523 nodes and 7,547 edges (Figure 2A). Due to the network's complexity, topological metrics—specifically degree and betweenness centrality—were applied to prioritize key nodes.

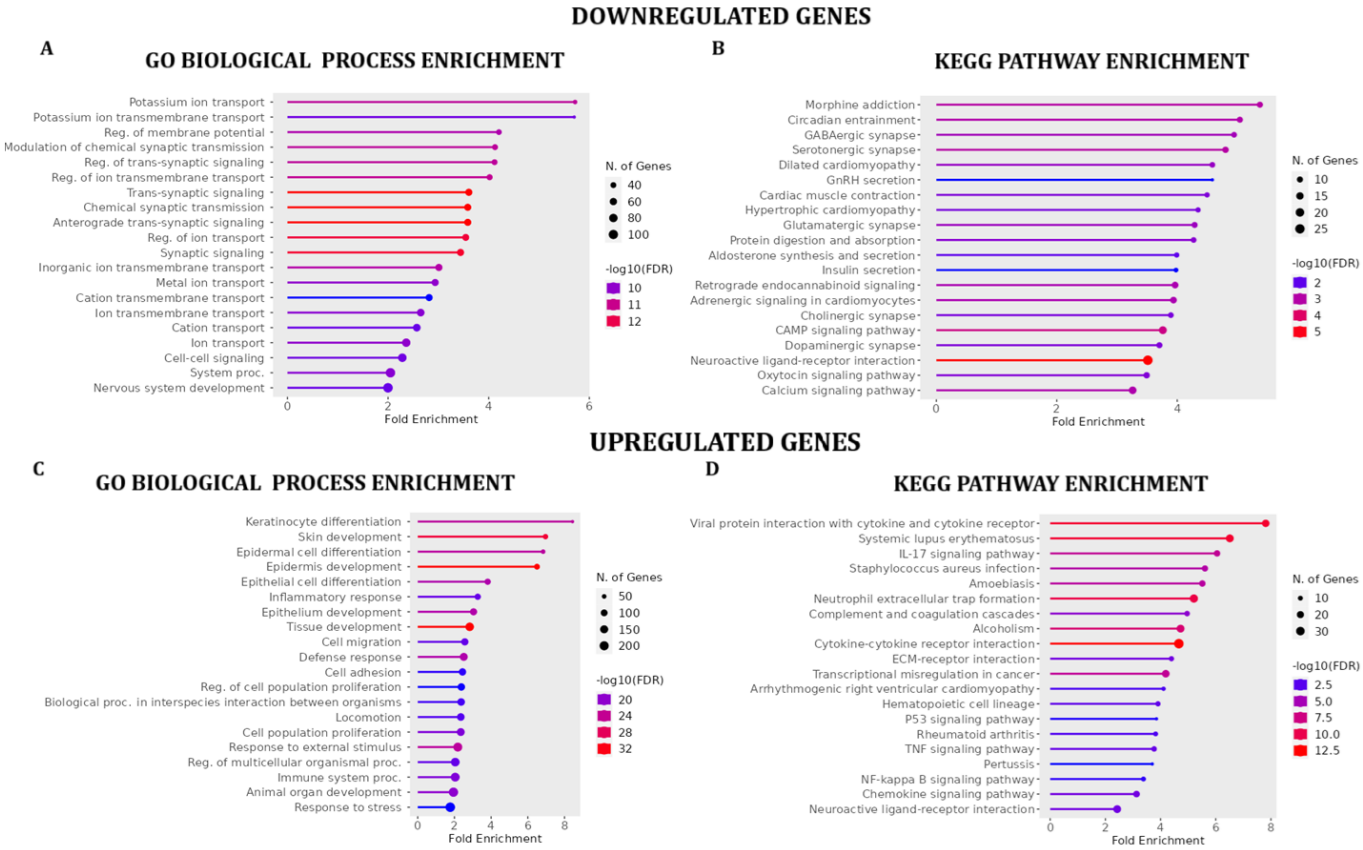


Figure 1: The functional enrichment analysis of DEGs. GO biological processes and KEGG pathways that were enriched for downregulated DEGs in A) and B) and for upregulated DEGs in C) and D).

This analysis identified MYC, ANLN, YAP1, RHOD, AURKB, LRRK2, LAMP3, MKI67, GJA1, HSPB1, MDFI, and S100A2 as pivotal hub proteins potentially orchestrating critical pathological processes in PCP.

Similarly, the TF–DEG regulatory network, constructed with 450 nodes and 553 edges (Figure 2B), was interrogated to uncover key transcriptional regulators. Topological assessment pinpointed MYC, TFAP2A, WT1, CEBPB, CDKN1A, LEF1, VEGFA, SNAI2, TP63, PTTG1, POU1F1, and KLF5 as central transcription factors that may govern the transcriptional dysregulation observed in PCP tumorigenesis.

In parallel, the miRNA–DEG regulatory network, consisting of 3,143 nodes and 14,583 edges (Figure 2C), was analyzed to elucidate post-transcriptional regulation. The most influential hub elements included hsa-miR-335-5p, hsa-miR-26b-5p, hsa-miR-124-3p, along with target genes such as SLC1A5, XKR4, PEG10, ZBTB8B, SULT1B1, HMGA2, CDCP1, MYC, and GPRC5A.

Subsequently, molecules that satisfied dual criteria—being both highly connected hub elements and differentially expressed genes—were filtered for downstream drug repositioning analysis. This approach yielded a curated list of candidate molecules that hold dual significance as central network regulators and transcriptionally altered entities, thereby offering promising targets for therapeutic intervention strategies in PCP. Further detailed information related to network signatures is demonstrated in Table 1.

C. Signature-Based Drug Repositioning for Therapeutic Target Identification in PCP

To identify potential therapeutic candidates capable of reversing the disease-associated gene expression profiles in Papillary Craniopharyngioma (PCP), a signature-based drug repositioning analysis was performed using the L1000 Characteristic Direction Signature Search Engine (L1000CDS2; http://amp.pharm.mssm.edu/L1000CDS2/). This platform facilitates comparing disease-specific molecular signatures with perturbation data from the Library of Integrated Network-Based Cellular Signatures (LINCS) project, enabling the prioritization of small molecules predicted to revert pathological gene expression patterns [13].

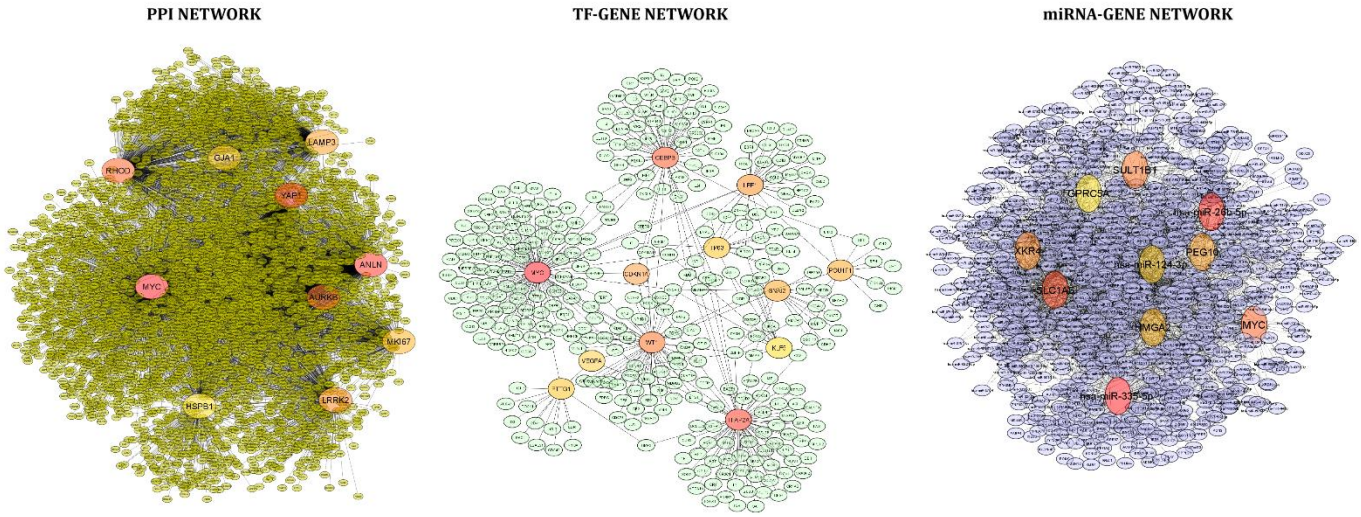


Figure 2: Biological network constructions around DEGs revealed PCP-specific network signatures. Colors demonsrated signaficant degree and betweennes centrality metrics from darker to lighter ones.

Hub elements extracted from the multi-layered biological networks—comprising transcription factors, proteins, and miRNA targets—served as input for the L1000CDS2 analysis. The reverse-mode search strategy aimed to identify compounds that could potentially restore diseased molecular states to normal phenotypes in PCP. Since the hub molecules were derived from integrated biological interaction data surrounding disease-specific DEGs, the repositioned candidates are predicted to possess considerable therapeutic potential.

Table 1: Descriptions of the network signatures (hub elements).

Gene/ microRNA	Function, Biological Role, and Disease Association	Reference
ANLN	ANLN (Anillin Actin Binding Protein) is a scaffold protein critical for cytokinesis, cytoskeletal organization, and cellular migration. Overexpression is linked to tumor progression, including glioblastoma and breast cancer.	[16]
AURKB	AURKB (Aurora Kinase B) regulates chromosome segregation and cytokinesis during mitosis. Aberrant AURKB activity contributes to tumorigenesis in several malignancies.	[17]
CDCP1	CDCP1 (CUB Domain Containing Protein 1) is a transmembrane protein implicated in cell adhesion and migration, frequently overexpressed in various cancers.	[18]
CDKN1A	CDKN1A (p21, Cip1) is a cyclin-dependent kinase inhibitor regulating cell cycle arrest in response to DNA damage. It is a major target of p53 signaling.	[19]
CEBPB	CEBPB (CCAAT Enhancer Binding Protein Beta) functions as a transcription factor involved in immune and inflammatory responses, adipogenesis, and cancer.	[20]
GJA1	GJA1 (Gap Junction Protein Alpha 1, Connexin 43) is essential for gap junction communication. Dysregulation is associated with cardiac diseases and cancer metastasis.	[21]
GPRC5A	GPRC5A (G Protein-Coupled Receptor Family C Group 5 Member A) is involved in epithelial cell differentiation and has tumor suppressor activity in lung tissue.	[22]
HMGA2	HMGA2 (High Mobility Group AT-Hook 2) is a chromatin-modifying protein implicated in stemness, proliferation, and aggressive tumor phenotypes.	[23]
hsa-miR-124-3p	miR-124-3p modulates neuronal differentiation and has tumor-suppressive roles in gliomas, hepatocellular carcinoma, and breast cancer.	[24]
hsa-miR-26b-5p	miR-26b-5p regulates apoptosis and cellular proliferation. Its dysregulation has been linked to colorectal cancer and glioma progression.	[25]
hsa-miR-335-5p	miR-335-5p suppresses metastasis and regulates mesenchymal differentiation; frequently altered in breast cancer and gliomas.	[26]
HSPB1	HSPB1 (Heat Shock Protein Beta-1) is a molecular chaperone involved in stress resistance and apoptosis regulation. Overexpression is noted in cancers and neurodegenerative diseases.	[27]
KLF5	KLF5 (Kruppel Like Factor 5) acts as a transcription factor promoting proliferation and epithelial-mesenchymal transition in various cancers.	[28]
LAMP3	LAMP3 (Lysosomal Associated Membrane Protein 3) is implicated in lysosomal function and hypoxia response. It is upregulated in breast and cervical cancers.	[29]
LEF1	LEF1 (Lymphoid Enhancer Binding Factor 1) is a transcription factor in the Wnt signaling pathway, essential for development and tumorigenesis.	[30]
LRRK2	LRRK2 (Leucine Rich Repeat Kinase 2) is associated with Parkinson's disease pathogenesis and neurodegeneration through its role in autophagy and cytoskeletal maintenance.	[31]
MDFI	MDFI (MyoD Family Inhibitor) regulates myogenic differentiation by inhibiting MyoD family transcription factors. It has potential roles in tumor suppression.	[32]

MKI67	MKI67 (Marker of Proliferation Ki-67) is a nuclear protein strictly associated with cellular proliferation, widely used as a cancer proliferation marker.	[33]
MYC	MYC is a master regulator transcription factor driving proliferation, metabolism, and apoptosis. Dysregulation of MYC is a hallmark of many cancers.	[34]
PEG10	PEG10 (Paternally Expressed 10) is involved in cell proliferation, apoptosis inhibition, and oncogenesis, notably in hepatocellular carcinoma.	[35]
POU1F1	POU1F1 (POU Class 1 Homeobox 1) is crucial for pituitary development and hormone expression regulation; mutations are linked to combined pituitary hormone deficiency.	[36]
PTTG1	PTTG1 (Pituitary Tumor-Transforming Gene 1) acts as a securin regulating mitotic division and is implicated in tumorigenesis and metastasis.	[37]
RHOD	RHOD (Ras Homolog Family Member D) controls actin cytoskeleton dynamics and vesicle trafficking, though its precise disease associations remain less characterized.	[38]
S100A2	S100A2 is a calcium-binding protein with context-dependent tumor-suppressor or oncogenic properties in cancers like lung and breast carcinoma.	[39]
SLC1A5	SLC1A5 (Solute Carrier Family 1 Member 5) mediates glutamine transport, critical for cancer cell metabolism and growth.	[40]
SNAI2	SNAI2 (Slug) is a zinc-finger transcriptional repressor that regulates epithelial-mesenchymal transition and cancer metastasis.	[41]
SULT1B1	SULT1B1 (Sulfotransferase Family 1B Member 1) catalyzes sulfonation of hormones and xenobiotics; polymorphisms are associated with cancer susceptibility.	[42]
TFAP2A	TFAP2A (Transcription Factor AP-2 Alpha) regulates embryonic development and tumor progression in melanoma and breast cancer.	[43]
TP63	TP63, a member of the p53 family, is crucial for epithelial development and homeostasis; mutations are implicated in ectodermal dysplasia and cancer.	[44]
VEGFA	VEGFA (Vascular Endothelial Growth Factor A) drives angiogenesis and vascular permeability, critically involved in tumor growth and metastasis.	[45]
WT1	WT1 (Wilms Tumor 1) is a transcription factor regulating development and tumor suppression; mutations are associated with Wilms tumor and nephrotic syndrome.	[46]
XKR4	XKR4 (XK Related 4) is involved in phospholipid scrambling; however, its detailed functional roles and disease associations are under investigation.	[47]
YAP1	YAP1 (Yes-Associated Protein 1) functions as a transcriptional co-activator in the Hippo signaling pathway, promoting organ growth and tumorigenesis.	[48]
ZBTB8B	ZBTB8B (Zinc Finger and BTB Domain Containing 8B) is a transcriptional regulator; its biological functions and disease associations are not fully elucidated.	[49]

Following this screening, a total of 50 repositioned small molecules were initially retrieved. After eliminating duplicates, investigational agents lacking sufficient characterization, and compounds without These drugs included trichostatin A, vorinostat, scriptaid, alvocidib, brefeldin A, and simvastatin.

Functional categorization of these repositioned compounds revealed a diversity of pharmacological classes, including histone deacetylase inhibitors (trichostatin A, vorinostat, scriptaid), a cyclin-dependent kinase inhibitor (alvocidib), an inhibitor of vesicular transport (brefeldin A), and a lipid-lowering agent (simvastatin). Mechanistically, these drugs target key pathways associated with transcriptional regulation, cell cycle progression, protein trafficking, and cellular metabolism, processes known to be dysregulated in PCP pathogenesis. The detailed information related to repositioned drugs was shared in Table 2.

Table 2: Features of repositioned drug candidates for PCP.

Drug Name	Drug Class	Mechanism of Action	FDA Approval Status	Reference
Trichostatin A	Histone Deacetylase (HDAC) Inhibitor	Inhibits histone deacetylases, leading to chromatin remodeling and altered gene expression	Not FDA approved for clinical use	[50]
Vorinostat	Histone Deacetylase (HDAC) Inhibitor	Inhibits Class I and II HDACs, inducing cell cycle arrest and apoptosis	FDA approved for cutaneous T-cell lymphoma	[51]
Scriptaid	Histone Deacetylase (HDAC) Inhibitor	Promotes histone acetylation, affects gene transcription and cell differentiation	Not FDA approved for clinical use	[52]
Alvocidib	Cyclin-Dependent Kinase (CDK) Inhibitor	Inhibits CDKs, blocks cell cycle progression, induces apoptosis	Not FDA approved (under clinical investigation)	[53]
Brefeldin A	Antibiotic / Vesicular Transport Inhibitor	Inhibits protein transport from the endoplasmic reticulum to the Golgi apparatus	Not FDA approved for clinical use	[54]
Simvastatin	HMG-CoA Reductase Inhibitor (Statin)	Inhibits HMG-CoA reductase, reducing cholesterol synthesis and exerting pleiotropic effects	FDA approved for hypercholesterolemia	[55]

To identify repurposed, clinically approved drugs with the potential for rapid translation into therapeutic strategies, special attention was given to agents with established safety profiles. Among the six candidates, vorinostat and simvastatin, both FDA-approved, were highlighted as particularly promising due to their

well-characterized mechanisms of action and broad therapeutic indications. Vorinostat, in particular, had previously been linked to brain tumor models, further supporting its potential relevance to PCP treatment.

Trichostatin A, vorinostat, scriptaid, alvocidib, brefeldin A, and simvastatin emerged as top repositioning candidates for PCP therapy. These findings provide a foundation for further validation studies, including molecular docking and functional assays, to explore their efficacy in modulating PCP-specific molecular alterations.

IV. DISCUSSION

PCPs pose a significant clinical challenge due to their insidious onset and nonspecific early symptoms, often resulting in delayed diagnosis and suboptimal clinical outcomes. Despite advances in surgical and radiotherapeutic techniques, there remains an unmet need for novel molecular strategies to improve early detection, prognosis, and targeted therapeutic interventions in PCP management. In this study, we employed a systems biomedicine approach to elucidate transcriptomic signatures underlying PCP and explored their translational potential through network-based drug repositioning analyses. By integrating high-dimensional transcriptomic data with curated biological interaction knowledge, we delineated critical molecular hubs and proposed candidate pharmacological agents that have the potential to modulate disease-specific molecular alterations therapeutically.

The differential gene expression analysis revealed profound dysregulation across a broad spectrum of biological processes, notably neuronal signaling, epithelial differentiation, and inflammatory response pathways. The downregulation of genes associated with synaptic function and circadian rhythm regulation underscores the neuroanatomical and neurophysiological perturbations intrinsic to PCP pathology. These findings are consistent with previous studies suggesting that PCP tumors may indirectly impair neuronal circuitry, contributing to neurocognitive and endocrine dysfunctions observed in affected patients [56], [57].

Conversely, the upregulation of epithelial and inflammatory pathways suggests a shift towards a pro-inflammatory tumor microenvironment and aberrant epithelial-mesenchymal transitions, consistent with the aggressive behavior occasionally exhibited by PCPs despite their benign histological classification [58], [59]. Notably, the activation of IL-17 signaling and cytokine–cytokine receptor interaction pathways aligns with accumulating evidence implicating immune dysregulation in the pathogenesis and progression of various brain tumors, including craniopharyngiomas [56], [60]. Collectively, enrichment results suggest that PCP pathogenesis is characterized by the simultaneous suppression of neuronal signaling functions and activation of inflammatory and epithelial differentiation programs, offering insights into the distinct molecular alterations underlying tumor progression.

We systematically identified hub molecules of paramount importance by constructing comprehensive biological networks across protein–protein interactions, transcription factor regulations, and miRNA-mediated controls. Key hubs such as MYC, YAP1, and AURKB have well-established oncogenic roles across multiple tumor types, with MYC dysregulation in particular being recognized as a central event in tumor proliferation, metabolic reprogramming, and immune evasion [61], [62]. Likewise, YAP1's function within the Hippo signaling pathway and its involvement in brain tumor pathobiology have been increasingly documented [63].

Our signature-driven drug repositioning strategy, leveraging the L1000CDS2 platform, identified several promising pharmacological candidates, including trichostatin A, vorinostat, scriptaid, alvocidib, brefeldin A, and simvastatin. Among these, vorinostat and simvastatin are FDA-approved, presenting significant advantages for clinical translation owing to their well-characterized safety profiles.

Vorinostat, a histone deacetylase (HDAC) inhibitor, has been shown to modulate oncogenic transcriptional programs by altering chromatin structure, leading to the reactivation of tumor suppressor genes and the downregulation of oncogenes such as MYC [64]. In the context of PCP, where MYC was identified as a critical hub element associated with proliferative and metabolic reprogramming, Vorinostat could exert therapeutic effects by suppressing MYC-driven transcriptional amplification, thereby attenuating tumor growth and promoting apoptosis. Furthermore, vorinostat has been reported to inhibit pathways such as MAPK/ERK, which are hyperactivated downstream of BRAF V600E mutations

commonly found in PCP, thus potentially synergizing with PCP-specific oncogenic drivers [64]. Additionally, vorinostat can influence the YAP1 axis through modulation of the Hippo signaling network, limiting cell proliferation and promoting cellular senescence, mechanisms highly relevant given YAP1's role as another identified hub in PCP pathology. Vorinostat has also shown efficacy in glioblastoma models and other brain tumors by promoting apoptosis and inhibiting tumor proliferation [65], [66].

Similarly, simvastatin has emerged as a candidate with pleiotropic effects, including anti-inflammatory, anti-proliferative, and pro-apoptotic properties in neuro-oncological contexts [67], [68]. Simvastatin, traditionally a lipid-lowering agent, has emerged as a modulator of oncogenic pathways by interfering with small GTPase prenylation, leading to suppression of downstream signaling cascades including RhoA and Ras pathways, both implicated in tumor growth and migration [69]. Importantly, simvastatin has been shown to modulate MYC expression indirectly by inhibiting PAK2, a kinase responsible for MYC upregulation in tumor cells [69]. Simvastatin also downregulates YAP1 activity via disruption of actin cytoskeleton dynamics, thereby preventing YAP nuclear translocation and transcriptional activation of proliferative programs [70]. This is particularly relevant considering the enrichment of pathways related to cytoskeletal organization and epithelial differentiation observed in PCP, suggesting that simvastatin might reverse these tumorigenic phenotypes. Furthermore, enrichment results indicated a prominent upregulation of inflammatory processes (e.g., IL-17 signaling, cytokine-cytokine receptor interactions), and simvastatin is known to possess potent anti-inflammatory properties by inhibiting NF-κB activation and cytokine production [71]. This anti-inflammatory action could be crucial in modulating the tumor microenvironment in PCP, which is increasingly recognized as a driver of disease progression.

Thus, by targeting both intrinsic tumor cell pathways (MYC, YAP1, AURKB) and the extrinsic inflammatory milieu, vorinostat and simvastatin present promising repositioning candidates for the treatment of PCP. They address both proliferative signaling and immune dysregulation in a network-informed manner. These findings provide a foundation for further validation studies, including molecular docking and functional assays, to explore their efficacy in modulating PCP-specific molecular alterations.

Moreover, several repositioned agents in this study converge mechanistically on epigenetic and cell cycle regulatory pathways, which directly interface with hub molecules like AURKB and CDKN1A. This convergence not only underscores the biological plausibility of our findings but also resonates with recent therapeutic trends targeting chromatin remodeling and cell cycle control in brain tumor management [63], [71].

However, some limitations of this study should be acknowledged. Although the transcriptomic dataset used (GSE216330) is robust, the relatively small sample size may limit the generalizability of findings. Furthermore, while *in silico* approaches offer valuable initial insights, experimental validation through *in vitro* and *in vivo* functional assays remains essential. Future research should aim to integrate additional omics layers such as proteomics, metabolomics, and single-cell RNA-sequencing to provide finer resolution of PCP molecular heterogeneity. This approach has been successfully demonstrated in other rare tumor types [72].

In conclusion, this integrative systems biology approach advances the current understanding of PCP molecular pathology and identifies several novel therapeutic opportunities. The repositioned candidate agents, particularly vorinostat and simvastatin, represent promising options warranting further preclinical investigation and potential clinical evaluation. Our findings lay the foundation for a shift towards biomarker-driven, less invasive therapeutic strategies in the management of PCP.

V. CONCLUSION

In this study, we applied a systems biomedicine framework to systematically uncover transcriptomic alterations and network-based molecular signatures associated with papillary craniopharyngioma (PCP). Our integrative analysis revealed that dysregulation of neuronal signaling, epithelial differentiation, and inflammatory pathways underpins PCP pathogenesis. Through comprehensive biological network modeling, we identified central hub molecules such as MYC, YAP1, and AURKB, which may serve as critical regulators of disease progression. Furthermore, signature-based drug repositioning analyses highlighted several candidate therapeutics, notably vorinostat and simvastatin, with potential for

repurposing in PCP management. These findings underscore the promise of network-driven biomarker discovery combined with pharmacological repositioning to address the significant unmet clinical needs in PCP diagnosis and therapy. Although our results provide valuable insights, further functional validation studies are warranted to substantiate the therapeutic efficacy of the proposed candidates. Future efforts integrating multi-omics datasets and single-cell analyses may refine the molecular landscape of PCP and facilitate the translation of systems biology insights into clinically actionable strategies. Overall, this work establishes a proof-of-concept for leveraging transcriptomic data and biological networks to drive innovation in the understanding and treating rare neuroepithelial tumors such as PCP.

REFERENCES

[1] Campanini, M. L., Almeida, J. P., Martins, C. S., & de Castro, M. (2023). The molecular pathogenesis of craniopharyngiomas. Archives of Endocrinology and Metabolism, 67(2), 266–275.

[2] Larkin, S., & Karavitaki, N. (2017). Recent advances in molecular pathology of craniopharyngioma. F1000Research, 6, 1202.Maune, D. F. (2001). Digital elevation model technologies and applications: The DEM user manual. The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. ISBN:1-57083-064-9.

[3] Wang, X., Zhao, C., Lin, J., et al. (2024). Multiomics analysis of adamantinomatous craniopharyngiomas reveals distinct molecular subgroups with prognostic and treatment response significance. Chinese Medical Journal (English Edition), 137(7), 859–870.

[4] Zhang, H., et al. (2022). Integrative analysis of biomarkers and mechanisms in adamantinomatous craniopharyngioma. Frontiers in Genetics, 13, 830793.

[5] Jia, Y., Ma, L., Cai, K., Zhang, B., Wu, W., Xiao, Y., Qiao, N., Ru, S., Cao, L., Gao, H., & Gui, S. (2022). Immune infiltration in aggressive papillary craniopharyngioma: High infiltration but low action. Frontiers in Immunology, 13, 995655.

[6] Ge, S. X., Jung, D., & Yao, R. (2020). ShinyGO: a graphical gene-set enrichment tool for animals and plants. Bioinformatics, 36(8), 2628-2629.

[7] Chatr-Aryamontri, A., et al. (2017). The BioGRID interaction database: 2017 update. Nucleic Acids Research, 45(D1), D369–D379.

[8] Chou, C. H., et al. (2018). miRTarBase update 2018: a resource for experimentally validated microRNA-target interactions. Nucleic Acids Research, 46(D1), D296–D302.

[9] Han, H., et al. (2018). TRRUST v2: an expanded reference database of human and mouse transcriptional regulatory interactions. Nucleic Acids Research, 46(D1), D380–D386.

[10] Shannon, P., et al. (2003). Cytoscape: a software environment for integrated models of biomolecular interaction networks. Genome Research, 13(11), 2498–2504.

[11] Chin, C. H., et al. (2014). cytoHubba: identifying hub objects and subnetworks from complex interactome. BMC Systems Biology, 8(Suppl 4), S11.

[12] Subramanian, A., et al. (2017). A Next Generation Connectivity Map: L1000 Platform and the First 1,000,000 Profiles. Cell, 171(6), 1437–1452.e17.

[13] Duan, Q., et al. (2016). L1000CDS2: LINCS L1000 characteristic direction signatures search engine. NPJ Systems Biology and Applications, 2, 16015.

[14] Kim, S., et al. (2021). PubChem in 2021: new data content and improved web interfaces. Nucleic Acids Research, 49(D1), D1388–D1395.

[15] Davis, A. P., et al. (2021). The Comparative Toxicogenomics Database: update 2021. Nucleic Acids Research, 49(D1), D1138–D1143.

[16] Hall, P. A., et al. (2019). Anillin (ANLN) and its role in tumor progression. Cancer Research, 79(2), 221–230.

[17] Glover, D. M., et al. (1995). Aurora B kinase and chromosome segregation. Trends in Cell Biology, 5(5), 125–129.

[18] Uekita, T., et al. (2007). CUB domain-containing protein 1 and cancer metastasis. Cancer Science, 98(5), 629–635.

[19] Abbas, T., & Dutta, A. (2009). p21 in cancer: intricate networks and multiple activities. Nature Reviews Cancer, 9(6), 400–414.

[20] Ramji, D. P., & Foka, P. (2002). CCAAT/enhancer-binding proteins: structure, function and regulation. Biochemical Journal, 365(Pt 3), 561–575.

[21] Laird, D. W. (2006). Life cycle of connexins in health and disease. Biochemical Journal, 394(3), 527–543.

[22] Tao, Q., et al. (2007). GPRC5A as a lung tumor suppressor gene. Cancer Research, 67(16), 7650–7655.

[23] Morishita, A., et al. (2013). HMGA2 in development and cancer. Oncology Reports, 30(2), 651–656.

[24] Sun, G., et al. (2015). miR-124 regulates glioma cell proliferation and invasion by targeting PIM1. Oncology Reports, 33(6), 2935–2942.

[25] Li, Y., et al. (2016). miR-26b inhibits colorectal cancer cell proliferation by targeting Mcl-1. PLOS ONE, 11(9), e0163365.

[26] Tavazoie, S. F., et al. (2008). MicroRNA-335 inhibits metastasis and regulates mesenchymal differentiation. Nature Medicine, 14(3), 255–261.

[27] Arrigo, A. P. (2007). Human small heat shock proteins: protein interactomes and pathology. Journal of Biological Chemistry, 282(50), 35816–35824.
[28] Nandan, M. O., et al. (2018). Kruppel-like factor 5 promotes oncogenesis. Cancer Research, 78(2), 360–369.
[29] Nagelkerke, A., et al. (2014). Hypoxia induces LAMP3 expression in breast cancer cells via HIF1α. Cellular Oncology, 37(5), 365–375.
[30] Hovanes, K., et al. (2001). Beta-catenin-sensitive isoforms of lymphoid enhancer factor-1 are selectively expressed in colon cancer. Nature Genetics, 28(1), 53–57.
[31] Cookson, M. R. (2010). The role of leucine-rich repeat kinase 2 (LRRK2) in Parkinson's disease. Nature Reviews Neuroscience, 11(12), 791–797.
[32] Chen, Y., et al. (2002). MDFI: a MyoD family inhibitor that suppresses skeletal muscle differentiation. Developmental Biology, 242(2), 460–472.
[33] Scholzen, T., & Gerdes, J. (2000). The Ki-67 protein: from the known and the unknown. Journal of Cellular Physiology, 182(3), 311–322.
[34] Dang, C. V. (2012). MYC on the path to cancer. Cell, 149(1), 22–35.
[35] Okabe, H., et al. (2003). The PEG10 gene is involved in hepatocellular carcinogenesis. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 100(14), 7847–7852.
[36] Radovick, S., et al. (2012). Pituitary hormone deficiency syndromes. Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism, 26(4), 515–522.
[37] Pei, L., & Melmed, S. (1997). Isolation and characterization of a pituitary tumor-transforming gene. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 94(11), 6040–6045.
[38] Nagata, K., & Inagaki, M. (2005). Control of cytoskeletal dynamics by RhoD and DIAPH2. Nature Cell Biology, 7(2), 115–123.
[39] Bulk, E., et al. (2015). S100A2 induces metastasis in non-small cell lung cancer. Clinical Cancer Research, 21(2), 440–449.
[40] Bhutia, Y. D., & Ganapathy, V. (2016). Glutamine transporters in mammalian cells and their functions in physiology and cancer. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Cell Research, 1863(10), 2531–2539.
[41] Barrallo-Gimeno, A., & Nieto, M. A. (2005). The Snail genes as inducers of cell movement and survival. Nature Reviews Molecular Cell Biology, 6(3), 199–209.
[42] Wang, L. Q., et al. (2017). Genetic polymorphisms of SULT1B1 and cancer risk: a meta-analysis. Scientific Reports, 7, 4736.
[43] Eckert, D., et al. (2005). The AP-2 family of transcription factors. Developmental Biology, 286(2), 233–245.
[44] Mills, A. A., et al. (1999). p63 is a p53 homologue required for limb and epidermal morphogenesis. Nature, 398(6729), 708–713.
[45] Ferrara, N. (2002). VEGF and the quest for tumour angiogenesis factors. Nature Reviews Cancer, 2(10), 795–803.
[46] Huff, V. (1998). Wilms' tumours: about tumour suppressor genes, an oncogene and a chameleon gene. Nature Reviews Cancer, 1(2), 157–164.
[47] Suzuki, J., et al. (2013). Xk-related protein 8 and CED-8 promote phosphatidylserine exposure in apoptotic cells. Science, 341(6144), 403–406.
[48] Zhao, B., et al. (2007). Inactivation of YAP oncoprotein by the Hippo pathway is involved in cell contact inhibition and tissue growth control. Genes & Development, 21(21), 2747–2761.
[49] Stankiewicz, P., et al. (2003). The ZBTB8B gene encodes a KRAB zinc-finger protein associated with the 1q21.1 microdeletion syndrome. American Journal of Human Genetics, 73(1), 145–155.
[50] Yoshida, M., Kijima, M., Akita, M., & Beppu, T. (1990). Potent and specific inhibition of mammalian histone deacetylase both in vivo and in vitro by trichostatin A. Biochemical and Biophysical Research Communications, 173(2), 692–698.
[51] Olsen, E. A., Kim, Y. H., Kuzel, T. M., Pacheco, T., Foss, F. M., Parker, S., Frankel, S., Chen, M. G., Duvic, M. (2007). Phase IIb multicenter trial of vorinostat in patients with persistent, progressive, or treatment refractory cutaneous T-cell lymphoma. Journal of Clinical Oncology, 25(21), 3109–3115.
[52] Su, G. H., Sohn, T. A., Ryu, B., Kern, S. E. (2000). A novel histone deacetylase inhibitor identified by high-throughput transcriptional screening. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 97(24), 14199–14204.
[53] Bible, K. C., & Kaufmann, S. H. (2000). Cytotoxic synergy between flavopiridol (NSC 649890) and various antineoplastic agents: the importance of sequence of administration. Clinical Cancer Research, 6(2), 471–482.
[54] Fujiwara, T., Oda, K., Yokota, S., Takatsuki, A., & Ikehara, Y. (1988). Brefeldin A causes disassembly of the Golgi complex and accumulation of secretory proteins in the endoplasmic reticulum. Journal of Cell Biology, 107(2), 641–652.
[55] Scandinavian Simvastatin Survival Study Group. (1994). Randomised trial of cholesterol lowering in 4444 patients with coronary heart disease: the Scandinavian Simvastatin Survival Study (4S). Lancet, 344(8934), 1383–1389.
[56] Apps, J. R., Hutchinson, J. C., Arthurs, O. J., Virasami, A., Joshi, A., Zeller-Plumhoff, B., ... & Jacques, T. S. (2015). Tumour cells from paediatric craniopharyngioma exhibit features of senescence and secrete SASP factors. Acta Neuropathologica, 130(4), 519–531.
[57] Müller, H. L. (2019). Craniopharyngioma. Endocrine Reviews, 40(1), 133–167.

[58] Prieto, C., Patil, V., Gärtner, B., Schüller, U., & Sabel, M. (2020). Immune profiling of craniopharyngiomas identifies distinct tumor microenvironment subtypes and HLA expression profiles. Acta Neuropathologica Communications, 8(1), 164.
[59] Goschzik, T., Gessi, M., Denkhaus, D., Pietsch, T., & Siebzehnrübl, F. A. (2018). Molecular classification of pediatric craniopharyngiomas. Brain Pathology, 28(2), 205–214.
[60] Brastianos, P. K., Taylor-Weiner, A., Manley, P. E., Jones, R. T., Dias-Santagata, D., Thorner, A. R., ... & Santagata, S. (2014). Exome sequencing identifies BRAF mutations in papillary craniopharyngiomas. Nature Genetics, 46(2), 161–165.
[61] Dang, C. V. (2012). MYC on the path to cancer. Cell, 149(1), 22–35.
[62] Stine, Z. E., Walton, Z. E., Altman, B. J., Hsieh, A. L., & Dang, C. V. (2015). MYC, metabolism, and cancer. Cancer Discovery, 5(10), 1024–1039.
[63] Zhao, B., Tumaneng, K., & Guan, K. L. (2011). Inactivation of YAP oncoprotein by the Hippo pathway is involved in cell contact inhibition and tissue growth control. Genes & Development, 25(8), 786–801.
[64] Valinciute, G. (2021). Targeting MYC in high-risk medulloblastoma. Universität Heidelberg
[65] Eyüpoglu, I. Y., Hahnen, E., Trankle, C., Siebzehnrubl, F. A., Savaskan, N. E., & Weller, M. (2015). Histone deacetylase inhibitors for the treatment of glioblastoma: an emerging therapeutic strategy. Expert Opinion on Investigational Drugs, 24(6), 773–786.
[66] Chinnaiyan, P., et al. (2008). Mechanisms of action of histone deacetylase inhibitors in glioblastoma models. Cancer Research, 68(9), 3795–3802.
[67] Koyuturk, M., Can, A., & Yilmaz, M. (2004). The role of statins in the treatment of glioblastoma multiforme: An in vitro study. Neurological Research, 26(5), 549–553.
[68] Liu, J., et al. (2020). Statins and brain tumors: Current updates and future perspectives. Frontiers in Pharmacology, 11, 579.
[69] Ricco, N., & Kron, S. J. (2023). Statins in cancer prevention and therapy. Cancers, 15(15), 3948.
[70] Strepkos, D., Markouli, M., et al. (2022). Emerging roles for the YAP/TAZ transcriptional regulators in brain tumour pathology and targeting options. Neuropathology and Applied Neurobiology.
[71] Frattini, V., Trifonov, V., Chan, J. M., Castano, A., Lia, M., Abate, F., ... & Rabadan, R. (2013). The integrated landscape of driver genomic alterations in glioblastoma. Nature Genetics, 45(10), 1141–1149.
[72] Neumüller, R. A., Richter, M. C., Fischer, D. S., Monoranu, C. M., Westermaier, T., & Siebzehnrübl, F. A. (2020). Single-cell sequencing reveals molecular heterogeneity in rare brain tumors. Nature Communications, 11(1), 3183.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

A comparative analysis of Fixed and Dynamic Pricing and AI perspective for Albania

Anna Maria Kosova*, Marsida Krasniqi[2], Blerina Bektashi[3], Eda Tabaku[4]

[1,3]*Department of Information Technology. Polis University. Tirana. Albania*
[2]*Department of Medical Technical Sciences. Aleksander Moisiu University Durres. Albania*
[4]*Department of Computer Science. Aleksander Moisiu University Durres. Albania*

(annamaria_kosova@universitypolis.edu.al) Email of the corresponding author

Abstract – The article analyses fixed and dynamic pricing strategies, their concepts, and relevance in the emerging Albanian market. Fixed pricing is characterized as a static approach; in contrast, dynamic pricing is characterized by its ability to adapt based on real-time market conditions. Dynamic pricing was initially applied in sectors such as airlines and hospitality and has expanded to e-commerce later, with technology as the main enabler. A focused review of the contemporary literature brings together research on pricing strategy in Albania. The article examines the possibilities for applying dynamic pricing in a number of sectors in Albania, such as hospitality, travel, and online retail. However, the implementation of dynamic pricing in Albania faces significant obstacles, particularly in terms of consumer confidence, maturity of technological infrastructure, and overall market development. The article considers the advantages and limitations associated with both pricing models. It emphasizes that building an effective pricing model involves careful consideration of specific industry characteristics, market circumstances, and customer patterns. The research suggests that the optimal strategy is not always stationary or a simple dynamic combination, but rather, a more composite approach suited to the specific context. From these considerations, several recommendations emerge for Albanian businesses: prioritizing pricing transparency, proactively investing in data analytics capabilities, carefully and consciously introducing dynamic pricing where appropriate, and actively educating customers on pricing approaches to their advantage.

Keywords- Fixed Pricing, Dynamic Pricing, Pricing Strategies, Albania, Market Conditions, AI, Competitive Pricing

I. INTRODUCTION

Pricing as a fundamental marketing principle has a significant impact on both business sustainability and long-term success. Pricing determines every aspect of revenue generation, profit, and market penetration, and controls how customers perceive products and what choices they will make to purchase them. Businesses must manage a variety of interrelated cost structures and competitive market forces, as well as customer value outcomes, in order to create successful pricing approaches [1].

Decision-making procedures in pricing operations use either fixed prices or dynamic pricing as their primary approaches. The most traditional pricing method in the world allows companies to set stable prices for their products or services that remain consistent over a given period of time. Both the simplicity of management and customer predictability make this pricing strategy an advantage for businesses, as well as their customer base. Businesses determine profitable prices by analyzing desired costs and margins, as well as customer perceived value, to set prices that maintain market competitiveness and profit stability [2], [3].

Through this approach, businesses build transparency that makes customers trust them because fixed prices remain stable. The increased predictability of price forecasts benefits consumers because it helps their financial planning skills. A fixed pricing system automatically places a limit on the profitability of the business because it hinders the ability to take advantage of market changes or react to falling demand, which can lead to loss of revenue during periods of high market and weak market conditions. The accuracy of initial pricing is essential because incorrect pricing decisions will generate negative results [4].

Dynamic pricing stands out as a modern strategy that gains importance from technological advances because business operators modify prices instantly based on various market variables. A variety of market factors shape price adjustments in dynamic pricing systems, including demand elasticity and competitive prices along with inventory levels and seasonal trends and individual purchasing patterns [5], [6].

Businesses that use modern pricing algorithms along with analytical methods adjust their rates to maximize profits through higher prices when market demand increases and lower prices to increase sales when demand decreases [7]. Adopting this approach provides businesses with the flexibility to respond to market changes while maximizing their profits. Through dynamic pricing, firms can create smart pricing strategies for different customer segments, which allow them to achieve different levels of consumer surplus by offering personalized rates based on customers' interests [8].

Pricing strategies have evolved through a progressive transformation to more adaptive approaches since the beginning. Over time, complex algorithms were developed, starting with the airline industry, to modify ticket prices based on several important elements, including seat availability and predicted demand patterns and booking times. Later, the hospitality industry adopted pricing optimization methods after implementing strategies that took into account seasonality and occupancy levels and local events [9]-[11].

The combination of e-commerce and the growth of big data has increased the spread of dynamic pricing methods across multiple industry sectors. Online retailers possess extensive capabilities to monitor customer actions along with competitive pricing data and inventory data, which allow them to make frequent and accurate price adjustments. Online fare sharing systems with automatic price increases during busy travel times to implement dynamic pricing tactics have become a routine feature for many of their users. Online consumer goods prices are subject to dynamic modifications resulting from the number of website visitors and the current stock availability [12],[13].

Businesses operating in Albania need to have a deep understanding of pricing techniques in the local market, as this fundamental understanding helps them succeed in this emerging market. Studies confirm that Albanian consumers react strongly to prices when making purchasing choices in many sectors, ranging from the hospitality industry to other industries. Recent research shows that Albanian businesses involved in international trade are aware of market-sensitive pricing and use it as part of their business model. There are dynamic pricing opportunities with great potential for the Albanian tourism industry, which contributes significantly to the economy due to its seasonal demand patterns [14]-[16].

The overall adoption of complex dynamic pricing practices in Albania depends on several elements, including consumer trust in transparent pricing, coupled with affordable access to technological infrastructure and the market's willingness to use such dynamic pricing approaches. Through this research, we will assess the complex features of fixed and dynamic pricing, along with their specific implementations and obstacles in Albanian markets, and provide recommendations for business operators adapting pricing strategies in this complex environment [17]-[19].

II. LITERATURE REVIEW

A specific duration can be set for the use of a fixed pricing system where businesses set consistent price rates for their products and services. The main benefit of using fixed pricing lies in its ability to provide customers with clear prices that they can rely on. Customers know exactly what the price will be, which allows them to budget effectively, while building trust in the business. Implementing fixed pricing strategies by businesses is always easier for customers [20].

Companies that use fixed pricing experience significant market disruption because their pricing structure cannot adapt to changing market conditions. While using a fixed pricing system, they neglect market conditions that would allow them to take advantage of customers' increased willingness to pay higher

prices. Businesses are unable to increase their prices during peak periods, which leads to lost potential profits. A fixed price structure challenges businesses to attract customers when market demand declines or competition intensifies, as prices cannot accurately match market changes [21].

Setting the right initial price at the beginning is essential because incorrect pricing calculations produce lasting negative business effects. Prices that are too high deter potential buyers, while underpricing items erodes profit margins and jeopardizes business profitability. The process of adjusting an incorrectly set fixed price is difficult because it reduces trust and changes customer perceptions of the business.

An assessment of hotel sector practices in Albania produces practical data on pricing tactics. Research shows that hotel businesses in Albania retain more customers by using economic pricing models that charge competitive or discounted rates. The Albanian consumer base exhibits high price sensitivity, which indicates how important market-specific pricing should be according to research [22],[23].

Companies set their prices dynamically as part of demand-driven pricing and real-time price estimates, which adapt to current market elements, such as customer activity along with competitor rates and inventory availability, business cycles, and market demand. The combination of algorithmic systems and analytical methods enables businesses to increase revenue by increasing rates during peak hours, while decreasing them to increase sales during low demand periods [24].

Dynamic pricing offers businesses high market adaptability, because they can immediately protect revenue by using market information and maintain profitability during busy times, while maintaining a competitive position during quiet periods. The system allows for price segmentation for businesses by offering distinct price levels to customer groups that show different willingness to pay or require different products [25].

The systematic implementation of demand-based pricing began with modern technology. The airline industry developed advanced dynamic pricing methods to change ticket prices by analyzing flight seat availability and customer booking timeframes. The hospitality industry refined its approach by adjusting room prices to take into account seasonality along with occupancy rates [26]-[28].

The combination of e-commerce with big data technology has led to the widespread implementation of dynamic pricing methods across industries. Online retailers can monitor vast collections of data to develop accurate pricing strategies. The incremental pricing system adopted by ride-sharing platforms uses current demand patterns as the basis for determining their pricing system [29].

The Albanian market is developing dynamic pricing strategies through the increasing influence of Artificial Intelligence developments, especially in digital markets. Current literature on AI in banking and business technology indicates that AI will play an expanding role in price regulation and pricing in Albanian industries, despite the lack of specific studies on AI-based dynamic pricing [30]. AI operating within Albanian banking institutions aims to improve customer satisfaction and automate operations through the integration of virtual assistants, analyze extensive customer information and perform sentiment analysis to build personalized service packages. By processing real-time customer and market data and risk assessments, AI algorithms dynamically modify pricing factors such as interest rates and premiums and provide users with appropriate rates [31].

The adoption of AI for dynamic pricing in Albania will become a major practical phenomenon, as it benefits both the banking industry and the e-commerce and tourism industries. AI's capacity to extract complex data and identify patterns and make automated decisions provides improved pricing management that outperforms conventional pricing systems using static approaches. The implementation of AI innovation in the Albanian market should strengthen its effect on dynamic pricing, in addition to creating better offers based on business revenue streams and fluctuating market prices depending on market situations, as well as state standards [32].

III. MATERIALS AND METHOD

Several studies focused on Albania offer valuable insights into the application and implications of dynamic pricing:

• Customer Retention and Price Sensitivity: Empirical research on Albanian international hotels has found a robust positive correlation between economy pricing policies and customer retention. This finding underlines the high price sensitivity of Albanian customers in the hotel sector. While economy pricing is a specific technique, the point it makes is that price is a significant driver of customer loyalty, and that dynamic pricing based on perceived value or competitors' prices can be implemented to keep customers [33],[34].

• Price Elasticity in Tourism: Studies on Veblen's hypothesis in Albania have revealed differential price elasticity of demand for overnight stays in various regions and during various times. This would mean that in tourist hotspots and during peak seasons, dynamic pricing strategies could be implemented by hotels and other tourism operators. By being aware of how demand changes based on price at specific locations and times, firms are able to actively control rates in order to fill capacity and boost revenues, something that is not possible with fixed pricing [35],[36].

• Pricing to Market Behavior: Studies of Albanian exporting firms indicate the existence of knowledge and practice of adjusting prices based on the fluctuation of exchange rates and world price changes. This "pricing to market" behavior represents a form of dynamic pricing seen at the global level, with exogenous conditions driving pricing policy explicitly as part of being competitive in offshore markets. It speaks to the imperatives of adaptive pricing from exogenous volatile conditions, the principle underlying dynamic pricing [37],[38].

• Price and Consumer Perception: Empirical research on the attitudes of Albanian consumers towards locally produced goods identifies price as a significant factor for the decision to buy, alongside attributes such as origin, brand, and experience. This affirms the function of price in the Albanian marketplace and suggests that dynamic pricing can be used by local producers in response to changes in the production cost, competitors' prices, or consumers' demand for some products with the aim to increase sales volume or revenue [39],[40].

• Studies and observations, particularly concerning hotels in Albanian coastal tourist destinations suggest strongly the use of dynamic pricing. These hotels would likely alter room rates significantly based on seasonality, with considerably higher rates for the peak summer months. Additionally, occupancy levels and local events would likely influence these price fluctuations. The research on price elasticity in tourist destinations confirms the economic rationale for such dynamic pricing there [41].

• Airline Ticket Pricing: Foreign airlines operating to and from Albania use dynamic pricing strategies. Airline ticket prices are notoriously unstable, adjusted in real-time based on the timing of booking, number of available seats on a flight, as well as demand for specific routes and dates of travel. This is a textbook example of dynamic pricing at work on a global scale that impacts Albanian consumers [42].

• Online Travel Agencies (OTAs): Online Travel Agencies that provide hotel booking and other travel services in Albania most probably employ dynamic pricing algorithms. These sites are designed to adjust prices in real-time based on the availability provided by hotels and the current demand from travelers seeking accommodation. This allows OTAs to optimize their offerings and respond instantly to changes in the market [43].

• E-commerce potential: As e-commerce is still growing in Albania, there is huge potential for Albanian e-businesses to adopt dynamic pricing strategies. As competition increases in the online market, businesses can leverage dynamic pricing to adjust prices based on competitors' prices, inventory, and real-time demand for a specific product. This would allow them to remain in competition and maximize sales and revenue in the evolving digital marketplace [44]-[46].

IV. DISCUSSION AND CONCLUSION

The choice between fixed and dynamic pricing requires a careful assessment of the specific context in which a business operates. While fixed pricing offers simplicity and predictability, matching well with the observed price sensitivity of Albanian consumers, it can limit revenue potential during periods of peak demand, particularly in sectors such as tourism. Conversely, dynamic pricing offers the flexibility to optimize revenue based on real-time market conditions, a potentially important advantage in Albania’s

seasonally driven tourism industry. However, the successful implementation of dynamic pricing depends on factors such as consumer confidence and the availability of a robust technological infrastructure.

The key challenge for Albanian businesses considering dynamic pricing lies in balancing revenue optimization with maintaining customer trust. Given the demonstrated price sensitivity of Albanian consumers, any implementation of dynamic pricing should promote transparency and fairness. Unclear or overly volatile price adjustments can lead to negative perceptions and damage customer relationships. Furthermore, the technological landscape in Albania may present a barrier to entry for some businesses seeking to implement sophisticated dynamic pricing models. The cost and complexity of data analysis tools and pricing software can be prohibitive for smaller enterprises.

Fixed and dynamic pricing strategies offer distinct sets of advantages and disadvantages. Fixed pricing provides stability and matches the observed price sensitivity of Albanian consumers, while dynamic pricing offers the potential for revenue optimization and responsiveness to market fluctuations, particularly relevant in the Albanian tourism sector. Historical evolution globally shows an increasing trend toward dynamic pricing, driven by technological advances.

The research literature on pricing in Albania, along with case studies in sectors such as hotels and airlines, suggests a new adoption of market-responsive pricing. However, the price-sensitive nature of Albanian consumers and potential limitations in technological infrastructure require a careful and strategic approach to implementing dynamic pricing.

Given the price sensitivity of Albanian consumers, businesses considering dynamic pricing should prioritize transparency in their pricing mechanisms. Clear communication about the factors that influence price changes is essential for building and maintaining customer trust.

Since dynamic pricing relies on data analytics and pricing software, businesses should strategically invest in the necessary technology infrastructure, considering cost-effectiveness and scalability. A gradual implementation of dynamic pricing, starting with simpler models in suitable sectors such as tourism during peak seasons, can allow businesses to learn and adapt while minimizing potential negative customer reactions. Combining fixed price stability for core products or services with dynamic adjustments for specific periods, customer segments, or promotional offers can provide a balanced approach that accommodates both price sensitivity and revenue optimization. Regardless of pricing strategy, businesses need to clearly communicate the value proposition of their products or services to justify their prices, especially if they implement dynamic adjustments.

More in-depth research is needed, including case studies of Albanian businesses experimenting with dynamic pricing, to provide specific guidance and best practices for the local market. This research should focus on consumer perceptions, technological adoption challenges, and the impact on business performance. As dynamic pricing becomes more prevalent, businesses may need to educate consumers about potential benefits, such as off-peak discounts or personalized offers, to drive greater adoption.

REFERENCES

[1] Immadisetty, A. (2025). Dynamic Pricing Strategies in Retail: Leveraging Real-Time Data Analytics for Competitive advantage. *Journal of Recent Trends in Computer Science and Engineering*, *13*(1), 53-65.

[2] Alderighi, M., Nava, C. R., Calabrese, M., Christille, J. M., & Salvemini, C. B. (2022). Consumer perception of price fairness and dynamic pricing: Evidence from Booking. com. *Journal of Business Research*, *145*, 769-783.

[3] Krasniqi, M., Kalaja, R., Trebicka, B., & Myshketa, R. (2025). The Impact of Migration Considerations on Healthcare Professionals in Albania: A Statistical Analysis. *Journal of Lifestyle and SDGs Review*, *5*(2), e03264-e03264.

[4] Trebicka, B. (2014). Imperfect Markets, Imperfect Competition and Basic Model. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, *5*(16), 706-711.

[5] Sulaj, I., Çiço, O., & Trebicka, B. (2024). Pricing to Market Behavior: Evidence from Albanian Exporting Firms. *International Journal of Sustainable Development & Planning*, *19*(5).

[6] Krasniqi, M., Kalaja, R., Trebicka, B., & Myshketa, R. (2023). The Effect of Migration of Health Workers in Labor Markets a Literature Review. *Interdisciplinary Journal of Research and Development*, *10*(3), 92-92.

[7] Seele, P., Dierksmeier, C., Hofstetter, R., & Schultz, M. D. (2021). Mapping the ethicality of algorithmic pricing: A review of dynamic and personalized pricing. *Journal of Business Ethics*, *170*, 697-719.

[8] Vika, B., Xhaja, D., & Vika, I. (2025). Does Money Matter for Predicting Overall Prices in Albania? An Analysis with Recurrent Neural Network. *WSEAS Transactions on Business and Economics*, *22*, 70-81.

[9] Stringa, A. (2008). Aspects of marketing application within airline travelling companies. The case of Albania.

[10] Trebicka, B., Tartaraj, A., & Harizi, A. (2023). Analyzing the relationship between pricing strategy and customer retention in hotels: A study in Albania. *F1000Research*, *12*, 690.
[11] Kullolli, T., Trebicka, B., & Fortuzi, S. (2024). Understanding customer satisfaction factors: A logistic regression analysis. *Journal of Business Research*, *12*(2), 218-231.
[12] Tartaraj, A., & Myftaraj, E. (2013). The Importance of the Price Factor in the Development of E-Commerce. Case Study B2C in Albania. *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*, *2*.
[13] Noti, E., & Brunela Trebicka, P. (2016). Innovations and online marketing services trends in Albanian tourism sector. *European Journal of Multidisciplinary Studies*, *1*(1), 22-26.
[14] Trebicka, B., & Tartaraj, A. Assessing the Impacts of Price Controls on Emerging Markets: Evidence from Tirana City, Albania.
[15] Trebicka, B. & Tartaraj, A. (2023). Investigation of Veblen's Hypothesis in Albania: Price Elasticity of Overnight Stays. African Journal of Hospitality, Tourism and Leisure, 12(4):1593-1602. DOI: https://doi.org/10.46222/ajhtl.19770720.451
[16] Tabaku, E., Duçi, E., & Lazaj, A. (2024). From Physical Stores to Virtual Marketplaces: The Evolution of Shopping. *Interdisciplinary Journal of Research and Development*, *11*(3), 175-175.
[17] Tabaku, E., Duçi, E., Kapçiu, R., Kosova, R., & Lazaj, A. THE EVOLUTION OF TECHNOLOGY IN ACCOUNTING AND CORPORATE FINANCE: IMPLICATIONS FOR BUSINESS ADAPTATION AND COMPETITIVENESS.
[18] Duçi, E., Tabaku, E., Lazaj, A., & Dervishi, E. (2025). The Impact of Microfinance on Small Business Growth and Income Stability: Challenges and Opportunities. *Interdisciplinary Journal of Research and Development*, *12*(1), 25-25.
[19] Duçi, E., Tabaku, E., & Çela, K. (2025). The Role of Inventory Cost Management on the Performance of SMES: Evidence from Albania. *Journal of Lifestyle and SDGs Review*, *5*(2), e6359-e6359.
[20] Hamza, B., & Milo, P. (2021). Fiscal policy and economic growth: Some evidence from kosovo. *Journal of Governance and Regulation*, *10*(4).
[21] Trebicka, B. (2015). Does fiscal policy matters for economic growth? Empirical study of Albanian situation. *Interdisciplinary Journal of Research and Development*, *2*(2), 9-12.
[22] Picari, E. (2021). *RISK ANALYSIS IN FIXED-PRICE DESIGN-BUILD CONTRUCTION PROJECTS-a case study in Albania* (Doctoral dissertation).
[23] Xhafaj, E., Nurja, I., & Xhafaj, A. (2014). ECONOMETRIC SCALES OF EQUIVALENCE, THEIR IMPLEMENTATIONS IN ALBANIA. *European Scientific Journal*.
[24] Bajrami, E., & Halili, F. (2024). EXPLORING THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON THE IoT AND DIGITAL AGENDA IN THE WESTERN BALKANS: INTEGRATING A PROPOSED WEB APPLICATION FOR REGIONAL ADVANCEMENT. *JNSM Journal of Natural Sciences and Mathematics of UT*, *9*(17-18), 244-258.
[25] Gashi, S., Liça, D., & Trebicka, B. (2024). DIGITALIZATION AND COMPETITIVE ADVANTAGE: INSIGHTS FROM MANUFACTURING SECTOR.
[26] Moroi, E. (2024). The evolution and optimization of E-commerce in the Republic of Moldova: trends, challenges, and opportunities. *Marketingul şi logistica în era digitală*, 66-71.
[27] Kosova, R., & Sinaj, V. (2021). Mathematical modeling of tourism development. An application to albanian tourism. *Journal of Environmental Management & Tourism*, *12*(6 (54)), 1707-1715.
[28] Trebicka, B., & Kullolli, T. Analysis of Online Pricing Policies for Hotels: a Case Study of Durres, Albania.
[29] Kosova, R., Subashi, D. X., Halidini, D. Q., & Kullolli, T. (2023). MCDA for evaluating the competitiveness of tourist destinations in Albania. *Benefits*, *26*, 27.
[30] Tabaku, E., Duçi, E., Kapçiu, R., & Kosova, A. M. EXPLORING THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN BANKING: A CASE STUDY ON THE INTEGRATION OF VIRTUAL ASSISTANTS IN CUSTOMER SERVICE.
[31] Tabaku, E. (2024). Artificial Intelligence in E-commerce: A Case Study of Albanian Customers. *Interdisciplinary Journal of Research and Development*, *11*(2), 107-107.
[32] Prifti, V. Applications of Technology in Business in Digital Age. *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE)*, (59), 59-64.
[33] Tartaraj, A., & Trebicka, B. Marketing of the Territory of Tirana City, Albania: Strategies for Economic Development and Tourism Promotion.
[34] Kosova, R., & Sinaj, V. (2020). SERVICE QUALITY AND HOTEL CUSTOMER SATISFACTION: A CASE STUDY FROM DURRES, ALBANIA. *Annals of'Constantin Brancusi'University of Targu-Jiu. Economy Series/Analele Universităţii'Constantin Brâncuşi'din Târgu-Jiu Seria Economie*, (6).
[35] Prendi, L., & Lazaj, A. (2023). An Application of Solow's Growth Model: Case of Balkan Country. *ECONOMIC CHALLENGES AND INNOVATION*.
[36] Cania, L., & Prendi, L. (2024). STRATEGIC TALENT MANAGEMENT: ENHANCING CORPORATE PERFORMANCE AND GOVERNANCE.
[37] Merko, F., Prendi, L., & Memaj, F. (2022). A Panel Data Analysis of Albania's Trade: The Gravity Model Approach. *Journal Transition Studies Review*, *29*(2), 79-90.
[38] Trebicka, B., Harizi, A., Krasniqi, M., Kalaja, R., & Tartaraj, A. (2024). FINANCIAL DEVELOPMENT AND ECONOMIC GROWTH: EXPLORING THE IMPACT OF FINANCIAL SYSTEMS, STABILITY, AND INSTITUTIONAL QUALIT ON ECONOMIC PERFORMANCE. *Risk Governance & Control: Financial Markets & Institutions*, *14*(3).
[39] Gričar, S., Bojnec, Š., Karadžić, V., & Backović, T. (2022). Tourism price normalities in two Adriatic east coast'euro'countries. *Economic research-Ekonomska istraživanja*, *35*(1), 4865-4883.

[40] KALAJ, E., & MERKO, F. Factors Influencing Tourist Arrivals: A Comparative Analysis on Western Balkan Countries. *THE ALBANIAN JOURNAL OF ECONOMY & BUSINESS*, 185.
[41] Gualini, A., Martini, G., & Porta, F. (2022). The Effect of Low-Cost competition on Airfares in the European Skies. *Quaderni del Dipartimento di Scienze economiche*, *15*.
[42] Kadiu, A. (2024). *Marketing Strategies promoting Sustainable Tourism Development in the country of Albania* (Doctoral dissertation, soe).
[43] Stana, P. E. A., Toti, P. E. L., Kosova, P. R., & Prodani, P. F. (2023). The Future of Durrës-Smart University & Smart City. *Journal of Survey in Fisheries Sciences*, *10*(2S), 1971-1981.
[44] Stana, A., Kosova, R., & Rista, A. (2024, November). Benefits of using ICT Tools in Higher Education Institutions in Albania. In *2024 5th International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES)* (pp. 1-6). IEEE.
[45] Tabaku, E. (2025). Improving High Availability Services Using KVM Full Virtualization. *European Journal of Computer Science and Information Technology*, *13*(1), 1-15.
[46] Metalla, O., Koxhaj, A., & Stana, A. (2012). Optimization of Operations in Durres Port Container's Terminal. *Romanian Economic and Business Review*, *7*(3), 55.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Investigation of the prevalence of *Toxoplasma gondii* in sheep minced meat by molecular methods in Konya province, Türkiye

Hatice Berna Poçan[1*]

[1]*Department of Food Processing, Çumra Vocational School, Selçuk University, Konya, Türkiye*

[*]*(haticeberna@selcuk.edu.tr)*

Abstract – Toxoplasmosis is a widespread zoonotic disease caused by *Toxoplasma gondii*, a ubiquitous coccidian parasite of felines, humans and many domestic warm-blooded animals. The meat of infected animals has been identified as a significant potential source of human toxoplasmosis. The transmission of *Toxoplasma* to humans can occur through the ingestion of raw or inadequately cooked infected meat, or the consumption of uncooked foodstuffs.

The aim of this study was to investigate the prevalance of *T. gondii* in sheep minced meat by molecular methods in Konya province, Türkiye. For this purpose, 150 sheep minced meat were collected from butchers and markets in Konya province. DNA extraction was performed from all sheep minced meat samples. PCR was then performed with the relevant primers. Then, a 1.5% agarose gel was prepared and images were obtained in a gel imaging device. Positive PCR products were sent to bidirectional sequencing. BLAST and Allignment were performed on the sequence results and compared with the relevant reference genes in GenBank. As a result of PCR, positivity was detected in 36 of 150 samples. In this study, Toxoplasma gondii was detected in sheep minced meat samples collected from markets and butchers in Konya province. The present study has revealed that the prevalence of *T. gondii* is high in sheep minced meat samples, and that undercooking these samples poses a potentially high risk to human health.

Keywords – Toxoplasma gondii, Konya, Red meat, Sheep minced meat, Health

I. INTRODUCTION

Toxoplasma gondii is a widespread apicomplexan parasite that is responsible for the causation of toxoplasmosis in both warm-blooded animals and humans. Estimates suggest that between 25 and 30 percent of the global population is seropositive for *T. gondii* [1] In immunocompetent individuals, infection with *T. gondii* rarely results in clinical disease. The majority of infections are subclinical, with only 20% of infected humans displaying mild or more pronounced clinical symptoms and signs [2]. It is evident that human infections primarily occur through the ingestion of raw or undercooked mammalian or poultry meat containing cysts with bradyzoites [2]. Furthermore, infections can also result from the ingestion of food or water contaminated with sporulated oocysts. [2]. The consumption of undercooked meat by pregnant women represents a primary risk factor for *Toxoplasma* infection during pregnancy. It is well-documented that the high infection rate of this protozoan during pregnancy can result in miscarriage in both livestock and humans [3], [4].

The molecular method is considered to be one of the most significant and efficacious techniques for the detection of protozoa in the tissue of infected animals. The molecular method has several advantages. Firstly, it requires only a small quantity of genetic material. Secondly, it is not affected by the

confounding effects of environmental conditions or the host. Thirdly, it can examine a large number of samples in a short time. Finally, it is highly sensitive. [3].
The ingestion of meat contaminated with pathogens is widely considered to be a matter of considerable public health significance. Indeed, sheep meat is recognised as a notable risk factor in this regard. [5]. The aim of this study was to investigate the prevalance of *T. gondii* in sheep minced meat by molecular methods in Konya province, Türkiye.

II. Materials and Method

The Study Area and Samples Collection

150 sheep minced meat were collected from butchers and markets in Konya province. It was stored at -20°C until DNA extraction was performed.

DNA Extraction

DNA extraction was performed in all sheep minced meat using the PureLink™ Genomic DNA Mini Kit (Invitrogen™, USA, K182002), according to the manufacturer's protocol. The obtained DNAs were stored at -20°C.

PCR Amplification and Sequence Analyses

The amplification of the 529-bp repetitive elementregion of *Toxoplasma gondii* was conducted using the TgTox4F (5'- CGCTGCAGGGAGGAAGACGAAAGTTG-3′) and TgTox4R (5'- CGCTGCAGACACAGTGCATCTGGATT3′) primers [6]. In a 20 µl master mix, the following components were used: 8 pmol of both forward and reverse primers, 4 µl of 5x FIREPol® Master Mix (containing 7.5 mM $MgCl_2$, Solis BioDyne, Estonia), 1.6 µl of DNA, and 12.8 µl of Nuclease Free Water. The PCR protocol involved an initial denaturation step at 95°C for 5 minutes. This was followed by 35 cycles, each consisting of denaturation at 95°C for 60 seconds, annealing at 60°C for 60 seconds, elongation at 72°C for 1 minutes and final elongation at 72°C for 10 minutes. Subsequently, a 1.5% agarose gel was prepared and stained with RedSafe™ Nucleic Acid Staining Solution. The PCR products were then electrophoresed on the agarose gel, and images were images were obtained under UV light. Positive samples were sent in a double-way sequence. Blasting and alignment were carried out and compared with the related reference genes at GenBank.

III. Results

PCR results showed that 36 of the 150 samples tested positive for *Toxoplasma gondii*.

The sequence results obtained were PQ279523.1, MH884737.1, PQ075945.1, KC607824.1, EF195646.1, EF648169.1, DQ779195. 1, PQ062232.1, MN958074.1, OL871239.1 reference genes; a similarity of 99.01-100% was observed.

IV. DISCUSSION

In this study, the prevalence of *Toxoplasma gondii* was determined to be 24%, and a total of 36 positive samples were obtained. This study is a molecular study that determined the presence of *T. gondii* in sheep mince samples collected from butchers and markets in the Konya province, Türkiye.
This prevalence has been determined to be higher than the global prevalence (14.7%) of the disease observed in other studies conducted on sheep meat. In addition, the present study has found this prevalence to be higher than the European average (9%) as reported by Belluco et al. [7]. In molecular technique results from European regions, a lower prevalence has been observed in Switzerland (3.3%) [8], Ireland (3.6%) [9], England (10.2%) [10] and Italy (12.9%) [11]. Nevertheless, a comparison of the results obtained with those of the present study is rendered difficult by the differences in the types of molecular methods utilised.
It can be hypothesised that the lower prevalence of *Toxoplasma gondii* observed in other studies [9], [10], [12], [13], could also be related to the distribution of parasite tissue. The prevalence of *T. gondii* DNA in sheep meat samples was found to be 46.3% in Ankara and 22.4% in Kırıkkale [14]. In our study, it was found to be 24%.

The identification of *Toxoplasma gondii* in minced meat is of particular importance, given that ground meat poses a higher risk of pathogen transmission due to the mixing of tissues, which can result in the distribution of cysts throughout the product [15]. It is therefore evident that the adoption of appropriate cooking practices, coupled with heightened consumer awareness, is paramount in reducing the risk of contracting toxoplasmosis.

V. CONCLUSION

In conclusion, this study provides valuable data on the prevalence of *Toxoplasma gondii* in sheep meat in Türkiye, highlighting an important zoonotic risk. Future studies could further explore the genotypic characterization of *T. gondii* strains in meat and assess the risk factors associated with infection prevalence in livestock populations.

ACKNOWLEDGMENT

REFERENCES

[1] Robert-Gangneux, F. (2014). It is not only the cat that did it: How to prevent and treat congenital toxoplasmosis. Journal of Infection, 68,125-133

[2] Peris, M. P., García, A. X., Castillo, J. A., Badiola, J. J., Halaihel, N., Serrano, M., & Gracia, M. J. (2023). *Toxoplasma gondii* in meat of adult sheep in Spain. Food and Waterborne Parasitology, 32, e00203.

[3] Azizi, H., Shiran, B., Boroujeni, A. B., & Jafari, M. (2014). Molecular survey of *Toxoplasma gondii* in sheep, cattle and meat products in Chaharmahal va Bakhtiari Province, Southwest of Iran. Iranian journal of parasitology, 9(3), 429.

[4] Baril, L., Ancelle, T., Goulet, V., Thulliez, P., Tirard-Fleury, V., & Carme, B. (1999). Risk factors for *Toxoplasma* infection in pregnancy: a case-control study in France. Scandinavian journal of infectious diseases, 31(3), 305-309.

[5] Dardé, M. L., & Peyron, F. (2013). Toxoplasma y toxoplasmosis. EMC-Pediatría, 48(1), 1-12.

[6] Sah, R. P., Dey, A. R., Rahman, A. A., Alam, M. Z., & Talukder, M. H. (2019). Molecular detection of *Toxoplasma gondii* from aborted fetuses of sheep, goats and cattle in Bangladesh. Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports, 18, 100347.

[7] Belluco, S., Mancin, M., Conficoni, D., Simonato, G., Pietrobelli, M., & Ricci, A. (2016). Investigating the determinants of *Toxoplasma gondii* prevalence in meat: a systematic review and meta-regression. *PloS one*, *11*(4), e0153856.

[8] Berger-Schoch, A. E., Herrmann, D. C., Schares, G., Müller, N., Bernet, D., Gottstein, B., & Frey, C. F. (2011). Prevalence and genotypes of *Toxoplasma gondii* in feline faeces (oocysts) and meat from sheep, cattle and pigs in Switzerland. *Veterinary parasitology*, *177*(3-4), 290-297.

[9] Halová, D., Mulcahy, G., Rafter, P., Turčeková, L., Grant, T., & De Waal, T. (2013). *Toxoplasma gondii* in Ireland: seroprevalence and novel molecular detection method in sheep, pigs, deer and chickens. *Zoonoses and public health*, *60*(2), 168-173.

[10] Mason, S., Quinnell, R. J., & Smith, J. E. (2010). Detection of *Toxoplasma gondii* in lambs via PCR screening and serological follow-up. *Veterinary parasitology*, *169*(3-4), 258-263.

[11] Gazzonis, A. L., Zanzani, S. A., Villa, L., & Manfredi, M. T. (2020). *Toxoplasma gondii* infection in meat-producing small ruminants: Meat juice serology and genotyping. *Parasitology international*, *76*, 102060.

[12] Berger-Schoch, A. E., Herrmann, D. C., Schares, G., Müller, N., Bernet, D., Gottstein, B., & Frey, C. F. (2011). Prevalence and genotypes of *Toxoplasma gondii* in feline faeces (oocysts) and meat from sheep, cattle and pigs in Switzerland. *Veterinary parasitology*, *177*(3-4), 290-297.

[13] Lopes, A. P., Vilares, A., Rodrigues, A., Martıns, T., Ferreira, I., Gargaté, M. J., ... & CArdoso, L. (2015). Genotyping characterization of *Toxoplasma gondii* in cattle, sheep, goats and swine from the North of Portugal. *Iranian Journal of Parasitology*, *10*(3), 465.

[14] Yildiz, K., Pişkin, F. Ç., Ütük, A. E., & Gökpınar, S. (2015). Prevalence of *Toxoplasma gondii* in sheep meats purchased from retailstores in Central Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, *39*(3), 328-332.

[15] Dubey, J. P., & Jones, J. L. (2008). *Toxoplasma gondii* infection in humans and animals in the United States. *International journal for parasitology*, *38*(11), 1257-1278.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

ICSIS

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Tungsten Karbür Takviyeli Al7075 Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi

Selin ATICI[1], Erkan ÖZTÜRK[2], Mahmut Can ŞENEL[3*]

[1]*Makine Mühendisliği Bölümü / Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye*
[2]*Makine Mühendisliği Bölümü / Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye*
[3]*Makine Mühendisliği Bölümü / Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye*

[*] mahmutcan.senel@omu.edu.tr

Özet **–** Bu çalışmada, toz metalürjisi ve sıcak presleme yöntemleriyle Al7075 alüminyum (Al) alaşım matrise ağırlıkça farklı oranlarda (%0-30) tungsten karbür (WC) katkısı yapılarak Al-WC kompozit malzemeler üretilmiş olup bu kompozitlerin mikroyapıları, faz yapıları, yoğunlukları ve Vickers sertlik değerleri incelenmiştir. Üretilen kompozitlerin sertliği mikro Vickers sertlik ölçüm cihazıyla ve yoğunluğu Arşimet yoğunluk ölçüm kitiyle belirlenmiştir. Yürütülen testler neticesinde maksimum yoğunluk (3.36 g/cm^3) ve Vickers sertlik değeri (185 HV) Al-%30WC kompozitte tespit edilmiştir. Sonuç olarak, tungsten karbür katkısının üretilen kompozitlerin yoğunluğunu ve sertliğini arttırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler – Al7075 alaşımı, Tungsten Karbür, Toz Metalürjisi, Kompozit, Sertlik, Yoğunluk

I. GİRİŞ

Son yıllarda sanayideki ve teknolojideki hızlı gelişme sebebiyle geleneksel malzemeler yerini daha üstün özelliklere sahip yeni malzemelere bırakmıştır. Bundan dolayı daha üstün ve yeni malzemelerin üretilebilmesi amacıyla araştırma ve geliştirme faaliyetleri aktif bir şekilde ilerlemektedir. Şu ana kadar yapılmış çalışmalar sonucunda, diğer malzemelere oranla daha üstün özelliklerin bir arada toplandığı kompozit malzemeler yenilikçi malzeme türleri olarak ön plana çıkmaktadır. Kompozit malzemeler, üretim yöntemlerinin çeşitliliği ve geniş kullanım alanları nedeniyle matris malzemesine göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre kompozit malzemeler; metal matrisli, polimer matrisli ve seramik matrisli kompozitler olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadır [1].

Kompozitler, matris ve takviye elemanı olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Bu çalışmanın matris malzemesi olan alüminyum, demirden sonra en çok tüketilen ve üretilen metal sınıfında yer almaktadır. Alüminyumun kolayca şekillendirilebilmesinin yanı sıra hafif bir metal olması endüstride çokça uygulama alanı bulmasına sebep olmuştur. Alüminyum matrisli kompozitlerde, matris içerisine karbür veya oksit gibi seramik fazların takviye edilmesi sıvı veya katı olmak üzere iki yöntemle mümkündür. İlk yöntem sıvı yöntem olarak adlandırılan ergime dereceleri yüksek karbür ya da oksitlerin, sıvı halde bulunan alüminyum içerisine katılmak için homojen şekilde alüminyum ile birlikte katılaşmasını sağlayarak gerçekleşmektedir. İkinci yöntem ise katı hal olarak adlandırılan toz metalürjisi yönteminin kullanıldığı metottur. Bu yöntemde toz halde bulunan karbür veya oksit toz halde bulunan alüminyumla homojen bir şekilde karıştırılır, preslenir ve sinterlenir. Diğer bir metot ise mekanik alaşımlama olan katı hal üretim metodudur. Mekanik alaşımlamada iki ya da daha fazla elementel toz belirli oranlarda birbiri içine eklenerek karışım toz elde edilmektedir. Sonrasında bu karışım yüksek enerjili bilyalı değirmene konularak mekanik alaşımlama işlemi gerçekleşmektedir [2,3].

Bu çalışmada takviye malzemesi olarak kullanılan tungsten karbür (WC), 6B metal karbür grubuna aittir. Tungsten karbür, yüksek sertlik, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, yüksek aşınma ve korozyon direnci gibi mükemmel özelliklere sahip olduğu için refrakter malzemeler, kesici takımlar, kalıplar, aşındırıcı

malzemeler ve nozulların üretilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu özelliklerin yanı sıra alüminyum ile iyi ıslanabilirlik özelliğiyle, WC'nin takviye elemanı olarak kullanımı oldukça avantaj sağlamaktadır [4].

Literatür çalışmalarına bakıldığında; Al-WC kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelendiği birçok çalışma bulunmaktadır. Fenghong vd. (2019) yaptıkları çalışmada, farklı oranlarda (%5, 7,5, 10) silisyum karbür ve tungsten karbür takviyeli Al6061 matrisli kompozitleri üretmişlerdir. Üretilen kompozitlere uygulanan testler sonucunda en yüksek sertlik değerine (98,54 HV) Al6061-%10SiC-%10WC kompozitte ulaşılmıştır [5]. Kalaiyarasan vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, karıştırmalı döküm yöntemi ile tungsten karbür ve zirkonyum karbür takviyeli Al8090 matrisli kompozitleri üretmişler ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan testler sonucunda en yüksek sertlik değeri (160 HV), çekme dayanımı (502 MPa) ve en düşük kütle kaybı (0,0028 g), aşınma oranı (0,0011 mm^3/m) Al8090-WC kompozitte elde edilmiştir. Al8090-WC kompozitin içyapısı taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelendiğinde parçacıklar arasındaki bağın daha güçlü olduğu bundan dolayı da kompozit yapıda daha yüksek aşınma direnci ve daha az kütle kaybı gözlenmiştir [6]. Rajesh vd. (2021) yaptıkları çalışmada, karıştırmalı döküm yöntemini kullanarak ağırlıkça farklı oranlarda (%1, 2, 3 ve 4) tungsten karbür takviyeli Al6061 matrisli kompozitleri üretmişlerdir. Üretilen kompozitler incelendiğinde en yüksek sertlik (69 HV) ve çekme dayanımı (155,3 MPa) ağırlıkça %3 tungsten karbür takviyeli Al6061 matrisli kompozitte gözlemlenmiştir. Takviye içeriğinin artırılmasının sertlik ve çekme mukavemeti gibi mekanik özelliklerde önemli bir artış sağladığı tespit edilmiştir [7]. Raju ve Swamy (2019) tarafından yapılan çalışmada, toz metalürjisi yöntemiyle ağırlıkça farklı oranlarda (%2, 4, 6, 8 ve 10) tungsten karbür takviyeli Al6061 matrisli kompozitleri üretmişlerdir. Tungsten karbür takviyesi sertlik, çekme mukavemeti ve basma mukavemeti gibi mekanik özelliklerde belirgin bir artış sağlamıştır. Mekanik özellikler açısından en yüksek sertlik (53 BHN), çekme mukavemeti (113,63 N/mm^2) ve basma mukavemeti (694,72 MPa) değerleri Al6061-%12WC kompozitte elde edilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde ise tungsten karbür partiküllerinin Al6061 matrisi içinde homojen olarak dağıldığı gözlemlenmiştir. Ravikumar vd. (2017) yaptıkları çalışmada, karıştırmalı döküm yöntemini kullanarak ağırlıkça farklı oranlarda (%2, 4, 6, 8 ve 10) tungsten karbür takviyeli Al6082 matrisli kompozitleri üretmiş ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. İncelemeler sonucunda, tungsten karbür takviyesi arttıkça kompozitin yoğunluk değeri ve uzama miktarının azaldığı sertlik değerinin ise arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek yoğunluk değerine (2,69 g/cm^3) saf alüminyumda, en yüksek sertlik değerine (80 HV) ise ağırlıkça %10 tungsten karbür takviyeli Al6082 kompozitte ulaşılmıştır [8]. Taşkın ve Şenel (2023) tarafından yapılan çalışmada, toz metalürjisi yöntemi ile üretilen tungsten karbür (%0-30) ve az katmanlı grafen (%0,1-0,5) takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin tribolojik özellikleriini ve mikroyapısını incelemişlerdir. En yüksek yoğunluk değeri (3,35 g/cm^3), sertlik (98 HV), basma dayanımı (189 MPa) ve en düşük kütle kaybı (0,9 mg), aşınma oranı ($1,1 \times 10^{-4}$ $mm^3/(Nm)$) Al-%30WC-%0,3GNT kompozitte elde edilmiştir [9].

Yapılan bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemiyle Al7075 alüminyum matrisli WC takviyeli (ağırlıkça %0-30 katkı oranlarında) kompozitler üretilmiştir. Elde edilen kompozitlerin mikroyapıları, yoğunluk ve Vickers sertlik değerleri incelenmiştir.

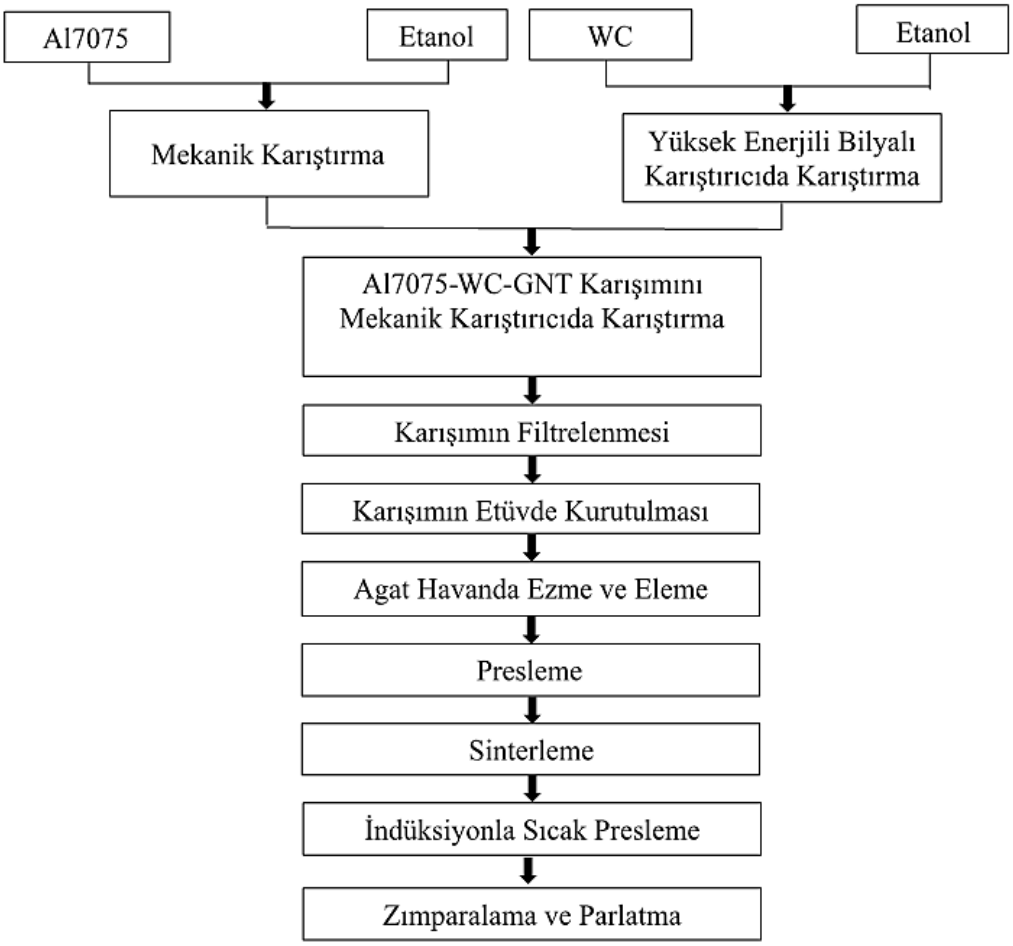
II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Materyal

Bu çalışmada matris malzemesi olarak 7075 alüminyum alaşımı, takviye malzemesi olarak tungsten karbür kullanılmıştır. Bu malzemeler kullanılarak Al7075-WC kompozitler toz metalürjisi ve sıcak pres yöntemleri kullanılarak üretilmiştir. Kompozit üretiminde matris malzemesi olarak; iyi elektrik iletkenliği, yüksek dayanım ve hafiflik gibi özelliklerinden dolayı Al tercih edilmiştir. Kullanılan Al7075 tozunun boyutu yaklaşık olarak 10 μm'dir. Takviye elemanı olarak kullanılan WC tozları ise 44 μm partikül boyutunda olup Nanografi (Türkiye) şirketinden satın alınmıştır.

B. Yöntem

Yürütülen bu çalışmada Al-WC kompozitleri toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiştir. Üretim aşamaları Şekil 1'de verilmiş olup tozların karıştırılması, filtrelenmesi, kurutulması, şekillendirilmesi, sinterlenmesi, indüksiyonla sıcak preslenmesi, zımparalanması ve parlatılması aşamalarından oluşmaktadır.



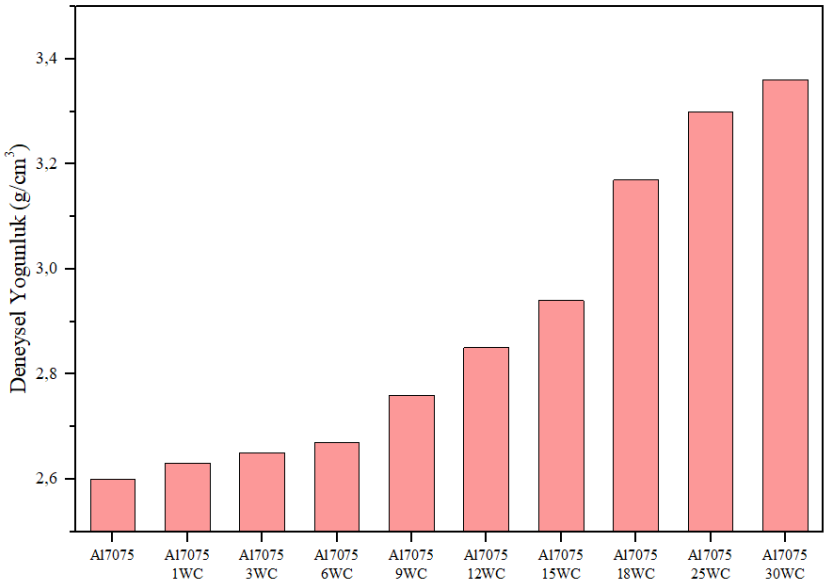
Şekil 1. Al-WC kompozitlerin üretim aşamaları

Üretim sürecinde ilk olarak Al ve WC tozları homojen bir karışım elde etmek amacıyla etanol içerisinde mekanik karıştırıcıda (600 dev/dk hızda 1 saat süresince) karıştırılmıştır. Karışıma, etanolün uzaklaştırılıp yalnızca katı partiküllerin kalması amacıyla filtreleme işlemi uygulanmıştır. Filtrelenen karışım, içerisindeki nemi gidermek için karışım sürekli vakum altında etüv fırında 45°C sıcaklıkta 16 saat süresince kurutulmuştur. Toz karışımı agat havanda ezilip elekle elenmiştir. Böylece karışım içerisindeki topaklar dağıtılmıştır. Ardından tozlar 750 MPa basınç altında paslanmaz çelik kalıp içerisinde preslenmiştir. 10x10x5 mm boyutlarında numuneler elde edilmiştir. Numunelere, yoğunluklarını ve dayanımlarını artırmak amacıyla sinterleme işlemi (600°C sıcaklıkta 60 dk süresince) uygulanmıştır. Sinterleme işleminde, taneler sıcaklığın etkisiyle boyun vermiş ve yapı içerisindeki gözeneklilik azalmıştır. Böylece numunenin mekanik özellikleri iyileşmiştir. Sinterlenen numuneler, 70 mm çapındaki grafit kalıplar içerisinde, indüksiyon fırınında ısıtılarak sıcak preslemeye tabi tutulmuştur. Isıtma, bekletme ve soğutma süreleri sırasıyla 60 sn, 60 sn ve 10 sn olacak şekilde cihaz üzerinden ayarlanmıştır. İşlem süresince 500 °C sıcaklıkta, 25 MPa'lık bir basınç uygulanmıştır. Presleme işlemi tamamlandıktan sonra, numuneler kalıptan çıkarılmış ve yüzeylerinde oluşan deformasyonlar gözlemlenmiştir. Bu numuneler, mikroyapı analizleri ile mekanik ve tribolojik testlerin gerçekleştirilebilmesi için zımparalanarak parlatılmıştır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. Numunelerin Yoğunluk Ölçümü

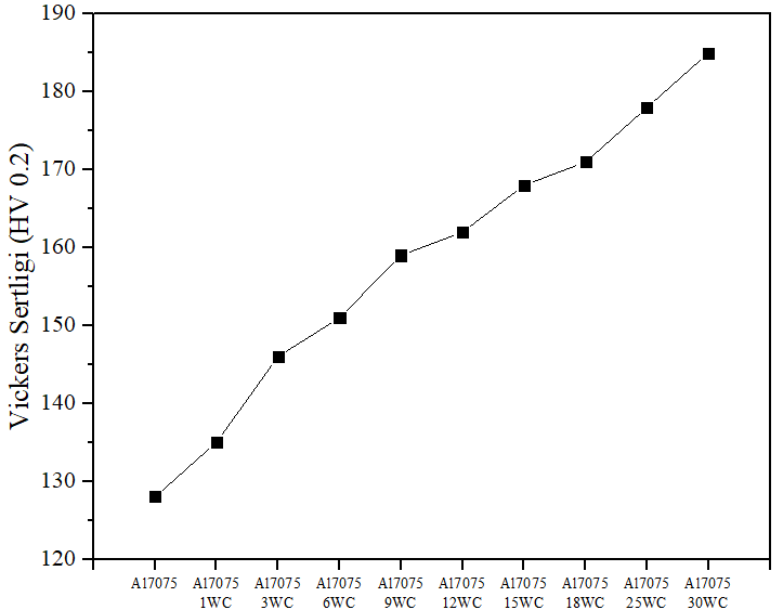
Çalışma kapsamında toz metalürjisi ve sıcak presleme yöntemleriyle üretilen kompozitlerin deneysel yoğunlukları Şekil 2'de verilmiştir. En yüksek yoğunluk değeri (3,36 g/cm^3), Al7075-%30WC kompozitte elde edilmiştir. Tungsten karbürün yüksek teorik yoğunluğundan dolayı (15,63 g/cm^3) saf alüminyumun yoğunluğu (2,60 g/cm^3) tungsten karbür katkı oranın artmasıyla artmıştır.



Şekil 2. Al7075 alaşımı ile Al7075-WC kompozitlerin deneysel yoğunluk değerleri

B. Numunelerin Sertlik Ölçümü

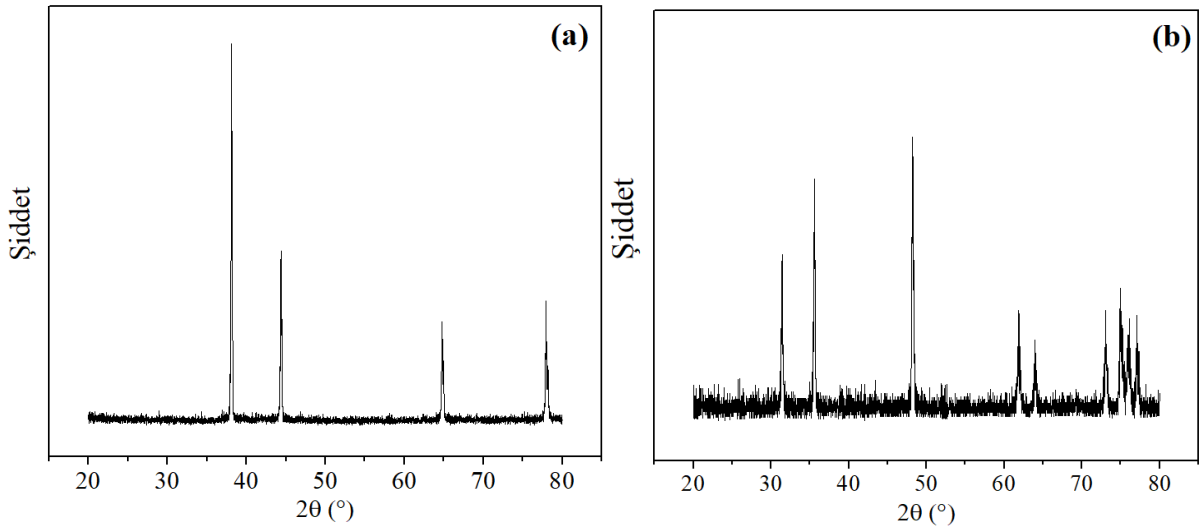
Şekil 3'te verilen Al7075-WC kompozitleri ile Al7075 alaşımına ait elde edilen sertlik değerlerine göre en yüksek sertlik değeri (185 HV) Al7075-%30WC kompozit yapıda tespit edilmiştir. Al7075 alaşımına %30 oranında tungsten karbür (WC) takviyesi, yüksek sertliğe sahip WC parçacıklarının dislokasyon hareketlerini kısıtlaması ve yük taşıma kapasitesini artırması sonucunda malzemenin sertliğinde %44'lük bir artış sağlamıştır.



Şekil 3. Al7075 alaşımı ile Al7075-WC kompozitlerin sertlik değerleri

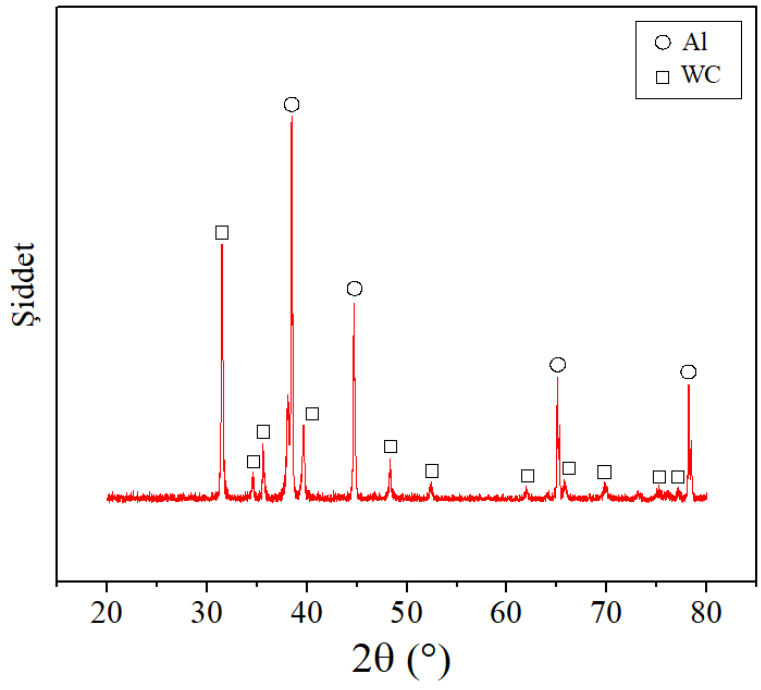
C. Numunelerin Faz Analizleri ve Sem İncelemeleri

Şekil 4'te saf Al ve WC tozlarının X-ışını kırınımı (XRD) sonuçlarını göstermektedir. Şekil 4(a)'da yer alan XRD grafiği, saf alüminyumun YMK (yüzey merkezli kübik) kristal yapısına ait karakteristik (111), (200), (220) ve (311) düzlemlerine karşılık gelen belirgin kırınım tepeleri ile yüksek kristallik ve saflıkta olduğunu göstermektedir. Şekil 4(b)'de yer alan XRD grafiği, WC fazına ait (001), (100), (101), (110), (002), (111), (200) ve (102) düzlemlerine karşılık gelen kırınım tepeleri ile hegzagonal kristal yapının varlığını doğrulamakta ve numunenin kristal yapısının literatürle uyumlu olduğunu göstermektedir.



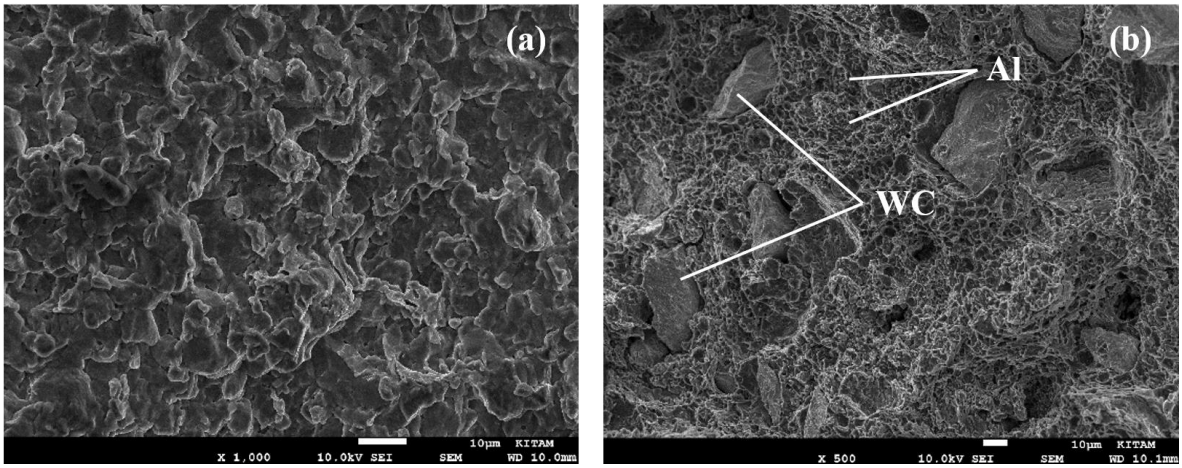
Şekil 4. Tozların XRD faz analizleri: (a) Al7075 ve (b) WC

Şekil 5'te verilen XRD grafiğinde, Al7075-%30WC kompozitte hem alüminyumun YMK kristal kafes yapısına ait (111), (200), (220), (311) düzlemleri hem de tungsten karbürün karakteristik (001), (100), (101), (110) vb. düzlemlerine karşılık gelen kırınım tepeleri gözlemlenmiş; bu durum her iki fazın da yapıda korunduğunu göstermektedir. Kompozit yapıda ayrıca bir ikincil faz oluşumu gözlenmemiştir.



Şekil 5. Al7075-%30WC kompozitine ait XRD faz analiz verileri

Şekil 6'da sırasıyla Al7075 alaşımına ve Al7075-%30WC kompozitin kırık yüzeylerine ait SEM görüntüleri gösterilmiştir. Numunelerde kırık yüzey morfolojisi incelendiğinde belirgin boyun oluşumları ve matris-faz arasında iyi bir bağlanma yapısının mevcut olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 6a). Şekil 6b'de keskin kenarlı ve düzensiz şekilli WC parçacıklarının Al matrisiyle güçlü bir şekilde bağlandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca WC parçacıklarının mikroyapı içerisinde homojene yakın bir dağılım sergilediği de dikkat çekmektedir. Bu bulgular WC takviyesinin matrisle olan etkileşiminin güçlü olduğunu ve kompozit yapının mekanik bütünlüğünü olumlu yönde etkileyebileceğini göstermektedir.



Şekil 6. (a) Al7075 alaşımına ve (b) Al7075-%30WC kompozitine ait SEM görüntüleri

IV. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada toz metalürjisi ve sıcak presleme yöntemleriyle tungsten karbür takviyeli (ağırlıkça %0-30) Al7075 matrisli kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin yoğunluk sonuçları, Vickers sertlik değerleri ve mikroyapı incelemeleri aşağıda özetlenmiştir:

- Yoğunluk test sonuçlarına göre WC katkısı ile yoğunluk artmıştır ve en yüksek yoğunluk (3.36 g/cm^3) Al-%30WC kompozitte belirlenmiştir.
- Vickers sertlik test sonuçlarına göre en yüksek sertlik (185 HV) Al-%30WC kompozitte tespit edilmiştir.
- Kompozitlerin XRD analizleri incelendiğinde; kompozit yapıda oluşan fazlarda tungsten karbür ve alüminyum fazları görülmüştür. Herhangi bir istenmeyen ikincil faza rastlanmamıştır.
- SEM analizlerinde Al-WC kompozitin yapısı incelendiğinde; WC taneciklerinin homojene yakın halde dağıldığı saptanmıştır.
- Sonuç olarak, alüminyum matrise ağırlıkça %30 WC katkısının kompozitin sertlik ve yoğunluk değerlerini iyileştirdiği belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 124M230 kodlu projeyle desteklenmiştir. Ayrıca, katkılardan dolayı Ondokuz Mayıs Üniversitesi (OMÜ) Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na ve OMÜ bünyesinde yer alan Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma Merkezi'ne teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

[1] Taşkın, A. (2023*). Al7075-Si_3N_4-Grafen ve Al7075-B_4C-Grafen hibrit kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 117, Samsun.

[2] Tulgar, E. (1987). Demirdışı Metaller Metalurjisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayını, 352, İstanbul.

[3] Ekinci, V.Ş. (2007). Alümina taviyeli alüminyum matrisli kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalı, 1-2, Ankara.

[4] Soy, G. (2022). Alüminyum matrisli tungsten karbür ve grafen takviyeli üretim ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, 160, Ankara.

[5] Fenghong, C., Chang, C., Zhenyu, W., Muthuramalingam, T. and Anbuchezhiyan, G. (2019). Effects of silicon carbide and tungsten carbide in aluminium metal matrix composites. Silicon, 11. 2625–2632.

[6] Kalaiyarasan A., Sundaram S., Gunasekaran K. and Bensam Raj J. (2021). Tribological characteristics of AA8090-WC-ZrC metal matrix composites prepared by stir casting process for aerospace applications. Industrial Lubrication and Tribology 73/6 (2021) 980–985.

[7] Rajesh, D., Anand, P., Lenin, N., Bupesh Raja, V.K., Palanikumar, K., Balaji, V. (2021). Materials Today: Proceedings, 46, 3618–3620.

[8] Raju, B., and Swamy, A. (2019). Mechanical characterization of Al6061-tungsten karbür composites using powder metallurgy technique. International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology, Vol. 4, Issue 7, ISSN No. 2455-2143, Pages 325-331.

[9] Taşkın, A., Şenel, C.M. (2023). Tribological properties and microstructures of tungsten carbide and few-layer graphene-reinforced aluminum-based composites. Trans Indian Inst Met (2024) 77(2):445–456.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

ICSIS

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Vision Transformer for AI Image Detection: Implementation and Web Application

Orkun ÇINAR[1*], Yunus DOĞAN[1]

[1]*Department of Computer Engineering, Dokuz Eylul University, Turkey*

[*]*orkun@cs.deu.edu.tr*

Abstract – This paper presents a Vision Transformer (ViT) architecture for AI-generated image detection implemented through an accessible web application. With synthetic media becoming increasingly sophisticated, reliable detection tools that bridge technical capabilities with practical usability are urgently needed. ViT-based model achieves 94.45% accuracy on the CIFAKE dataset, outperforming traditional convolutional approaches like ResNet101 (93.85%). The key contribution of this work is the development of a Flask-based web interface that transforms complex transformer technology into a user-friendly tool for image authenticity verification. Users can upload images through an intuitive interface, receiving immediate classification results with confidence scores, requiring no technical expertise. The application preprocesses and resizes images to match model requirements automatically, handling the complexity behind a simple interface. This solution addresses the increasing difficulty of differentiating between real and artificial intelligence-generated visual content, illustrating how cutting-edge AI research may be successfully converted into useful tools for reporting, moderating content, and media verification.

Keywords – Flask, Vision Transformer, Deep Learning, Artificial Intelligence, Transfer Learning, Binary Classification

I. INTRODUCTION

The way we handle visual and photographic data has changed significantly over the past ten years due to Artificial Intelligence (AI). The main causes of this significant change have been the rapid advancements in deep learning techniques and the increased availability of high-quality photo-capturing equipment [1]. Hereby day by day media generating deep learning models become more proficient to create real like materials. AI has thus aided in the advancement of research and applications in a wide range of disciplines, including biology [2,3], genetics [4,5], visual arts [6,7], medicine [8,9], geography [10,11], and others. At the same time, it has also brought up new questions and problems that researchers are now starting to explore [12]. With the rise of smartphones and professional-grade cameras, people are producing more high-resolution images than ever before. That's encouraged more interest in using AI to not only analyze images but also to generate them.

These developments have coincided with an increase in curiosity about synthetic media, particularly AI-generated visuals. These images are created by technologies like Generative Adversarial Networks (GANs) and newer diffusion models, and they've gotten so good that sometimes it's hard to tell them apart from real ones. However, it also poses significant hazards in fields like journalism, cybersecurity, and surveillance where confidence in visual content is crucial. Because of this, figuring out how to detect and confirm whether an image is real or AI-generated has become a key research focus [13,14].

Researchers have developed a wide range of approaches to address this issue. To detect deepfakes, for instance, Pellicer created a detection algorithm based on image prototypes [13]. Bhinge and Nagpal looked at how real and AI-generated images behave differently when processed by computer vision models [15]. Other studies have explored more complex approaches, including multimodal models that combine different types of input [16], methods that focus on explaining how the model makes its decisions [17], and techniques using transfer learning to keep up with constantly evolving generative models [18]. Even though these approaches are different, they all agree that it's important to build systems that are not just accurate, but also flexible, understandable, and fast.

Until recently, Convolutional Neural Networks (CNNs) and popular transfer learning models like Residual Network (ResNet), Visual Geometry Group Network (VGGNet), and Dense Convolutional Network (DenseNet) have been the top choices for this type of work. Given their ability to leverage massive pre-trained datasets, they have demonstrated strong performance. However, there are certain shortcomings with these models as well, especially when it comes to comprehending links between distant areas of an image or patterns that occur over the entire image. In this work, we introduce a strong Vision Transformer based model that is used in a web application for classifying images as either real or AI-generated.

II. Materials and Method

Our study utilizes Vision Transformer model application combining traditional and deep learning approaches to detect AI-generated images. We compare a Vision Transformer (ViT) model against ResNet, as both architectures represent state-of-the-art solutions competing closely in image classification tasks [19].

The models were trained, fine-tuned, and evaluated using the pipelineFor evaluation, we primarily used accuracy, complemented by precision, recall, and F1 score to provide comprehensive assessment of classification effectiveness, particularly important for detecting the harmony of the classes.

A. Dataset

We employed the CIFAKE dataset, specifically designed for evaluating AI-generated image detection methods [17]. This dataset offers advantage: its small image dimensions make it suitable for training deep learning models with minimal computational overhead.

CIFAKE contains two categories as authentic and fake classes. Authentic images are natural photographs from CIFAR-10, spanning ten different classes which include cars, living animals and huge vehicles like airplane and ships [20]. Fake category contains synthetically generated images from Stable Diffusion. Both categories contain 60,000 images with dimensions of 32 ×32 images with 3 color channels. The synthetic images were generated using the LAION-5B dataset and Stable Diffusion 1.4 [17,21,22], which employs diffusion models utilizing noise operations [23].

B. Vision Transformer Model

Vision Transformer architecture builds upon the framework introduced by Dosovitskiy [24], utilizing custom patch-based processing pipeline. Unlike traditional convolutional approaches, ViT leverages Transformer Encoders with self-attention mechanisms to capture contextual connections across image segments. In Figure 1 the models' general approach, patch transformation and transformer block which is called Attention mechanism.

On the dataset using various augmentation techniques implemented through the Keras Sequential API models identifying performance is boosted. Normalization was applied to standardize overall image stability to help models learning process. Additional augmentations included such as flips to alter spatial orientation, random rotations to simulate variations in object scale and perspective.

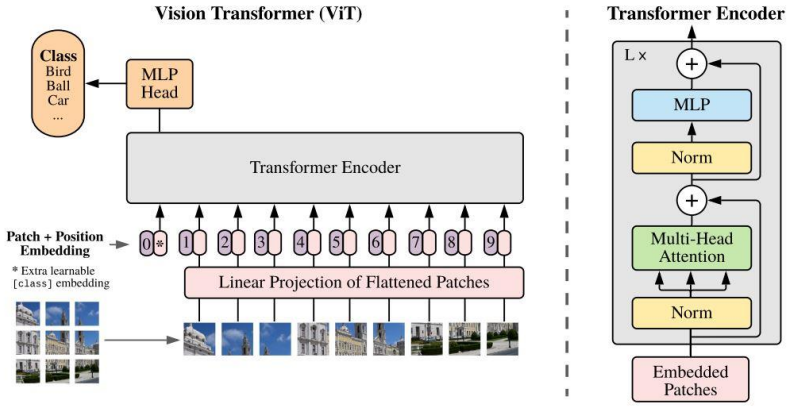


Fig. 1 Vision Transformer architecture using Transformer Encoder [24]

Unlike CNNs that process input images require transforming into a sequence format suitable patch for transformer models. To enable the self-attention mechanism in model to capture dependencies throughout the image. For Attention mechanisms functionality, patch embeddings have to be expanded by incorporating an additional dimension. After patch encoding, the model proceeds through the Transformer Block, applying Layer Normalization before and after the attention layer to enhance performance [25]. Lastly Utilizing Dense and Dropout layers help model to advance better accuracy. The final phase includes. Eventually in the last layer of model uses sigmoid function to determine the outcome class.

C. Transfer Learning

As part of our comparison, we used ResNet model with 101 iterative layers to evaluate its effectiveness in detecting AI-generated images. ResNet-101 is a well-established convolutional neural network architecture known for its depth and efficient use of residual connections. Thanks to its strong track record in image classification tasks, it serves as a solid point of reference for benchmarking.

In our implementation, we employed version of ResNet-101 pre-trained on ImageNet, adapting it to the binary classification task. All images in our dataset were resized to 224x224 pixels to match the model's input requirements. We also applied random cropping, horizontal flipping, and normalization, to improve the model's and trained using the Adam optimizer.

III. RESULTS

The performance of the developed Vision Transformer model was evaluated through training and validation processes. Figure 2 shows training and validation accuracy over 55 epochs. The model achieved a steady improvement in both training and validation accuracy as the number of epochs increased. While the training accuracy consistently rose and approached near-perfect levels, the validation accuracy exhibited minor fluctuations but maintained a high overall performance, demonstrating the model's strong learning capability, indicating improved generalization over time.

Table 1. Performance metrics of the Vision Transformer-based model on the CIFAKE dataset.

Model	Image Resize	Patch Size	Accuracy	Precision	Recall	F1 Score
Vision Transformer	48	6	0.939	0.9465	0.868	0.9055
Vision Transformer	72	12	0.9275	0.933	0.9228	0.9279
Vision Transformer	64	8	0.9445	0.9437	0.906	0.9244
ResNet101	-	-	0.9385	0.944	0.9337	0.9388

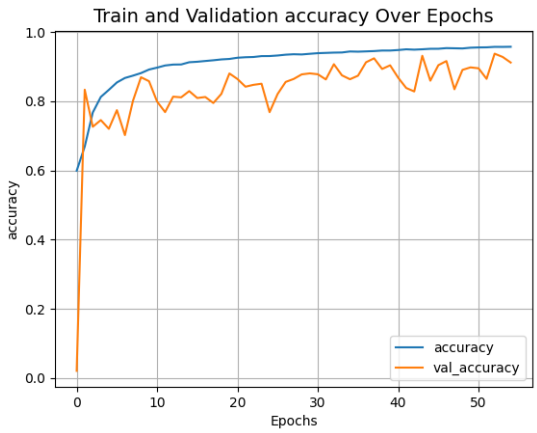


Fig 2. Vision Transformer model's training score over epochs

The detailed performance metrics of Vision Transformer with some finetuning parameters and comparison through Resnet101 are summarized in Table 1. The model achieved a high overall classification accuracy, with balanced performance across both real and AI-generated image classes. Precision, recall, and F1-score values further demonstrate the effectiveness and reliability of the proposed approach.

IV. APPLICATION

We created a web application using the Flask framework to make the Vision Transformer-based model simple for end users to access [26]. Users can easily engage with the detection system using this web platform, which provides a quick and easy method of confirming the legitimacy of uploaded photos without requiring any technical knowledge. Figure 3 illustrates how the interface has been maintained sufficiently basic to be clear and user-friendly for all kinds of users. Specifically, users can see the predicted class and the confidence score.

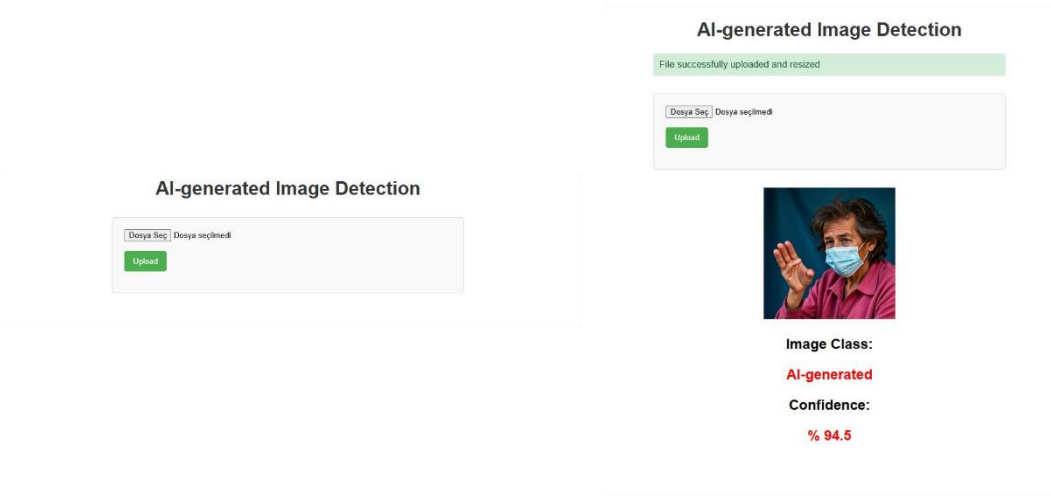


Fig 3. Web Application

Users are asked to upload an image file via a desktop, laptop, or mobile client when they launch the application in their browser. Upon image selection, preprocessing is automatically handled by the Flask-powered backend, which resizes the image to the input size required by the Vision Transformer model. In

order to maintain consistency with the model's patch-based processing mechanism, the image is usually scaled to 224×224 pixels. After resizing, the processed image is passed into the trained Vision Transformer model. The model generates two pieces of information after performing inference the binary classification results that are displayed by a label; a percentage-based confidence score that shows the model's level of forecast certainty. The result is displayed back to the user in a clean, user-friendly and responsive interface.

This web application shows how sophisticated Vision Transformer models may be converted into helpful tools for confirming the authenticity of visual content. Digital journalism, forensic analysis, social media content moderation, and academic research verifying the originality of photographs is becoming more and more important and some possible real-world applications. The overall goal of this web application is to enable reliable and effective AI-generated image identification by bridging the gap between research and practical implementation.

V. DISCUSSION

The experimental findings demonstrate how well the Vision Transformer (ViT) architecture performs when it comes to distinguishing real images from artificial intelligence-generated ones. The best performing Vision Transformer model achieved an accuracy of 94.45% compared to baseline model, ResNet101, which achieved 93.85% accuracy.

The Vision Transformer model demonstrated slightly higher overall accuracy compared to ResNet101, indicating that it is better at correctly classifying images in general. However, it is worth noting that ResNet101 slightly outperformed the Vision Transformer in precision and F1-score, suggesting that it produced slightly fewer false positives and maintained a more balanced performance between precision and recall. The Vision Transformer's global attention mechanism appears to be a strong suit for the subtle and local imperfections that frequently appear in AI-generated visuals. In terms of raw accuracy, the Vision Transformer outperformed a well pretrained model ResNet101.

Regarding practical relevance, the Vision Transformer is a very promising candidate for real-world applications where differentiating between real and synthetic content is crucial, like online content moderation, journalism, and digital media verification, due to its powerful overall performance and slightly higher accuracy.

VI. CONCLUSION

This study demonstrates the successful implementation of Vision Transformer technology in a web-based application for detecting AI-generated images. While our ViT model achieved superior accuracy (94.45%) compared to ResNet101 (93.85%), the primary contribution lies in transforming this technical capability into an accessible tool for everyday use.

The Flask-powered web application demonstrates how sophisticated deep learning models can be deployed in user-friendly interfaces that require no technical knowledge from end users. By automating image preprocessing and providing clear classification results with confidence scores, our application makes advanced image verification technology accessible to journalists, content moderators, educators, and the general public.

The responsive design ensures functionality across desktop and mobile devices, allowing for convenient verification of image authenticity in various settings. This practical implementation addresses a critical gap between academic research and real-world application in the domain of synthetic media detection.

Future work should focus on enhancing the web application with additional features such as batch processing capabilities, detailed analysis of potentially manipulated image regions, and integration with content management systems. Additionally, maintaining model performance against evolving generative technologies will require regular updates to ensure continued reliability. By prioritizing accessibility

alongside technical performance, our approach contributes to maintaining trust in visual information across digital platforms.

REFERENCES

[1] Delbracio, M., & Kelly, D., & Brown, M.S., & Milanfar, P. (2021). Mobile Computational Photography: A Tour. Annual Review of Vision Science, 7, 571–604.
[2] Liu, X., & Wang, X., & Qian, R. (2025). Application of Machine Learning in Cell Detection. Targets 2025, 3, 2.
[3] Ramirez-Quintana, J.A., & Salazar-Gonzalez, E.A. , & Chacon-Murguia, M.I. , & Arzate-Quintana, C. (2025). Novel Extreme-Lightweight Fully Convolutional Network for Low Computational Cost in Microbiological and Cell Analysis: Detection, Quantification, and Segmentation. Big Data Cogn. Comput, 9, 36.
[4] Lu, Y., & et al. (2025). Advances in Whole Genome Sequencing: Methods, Tools, and Applications in Population Genomics. Int. J. Mol. Sci, 26, 372.
[5] Câmara, G.B.M., et al. (2022). Convolutional Neural Network Applied to SARS-CoV-2 Sequence Classification. Sensors, 22, 5730.
[6] Yao, Q. (2025). Application of Artificial Intelligence Virtual Image Technology in Photography Art Creation under Deep Learning. IEEE Access, 10, 101-110.
[7] Liu, X., & Wang, X., & Qian, R. (2025). Application of Machine Learning in Cell Detection. Targets, 3, 2.
[8] Mondol, R.K., et al. (2023). hist2RNA: An Efficient Deep Learning Architecture to Predict Gene Expression from Breast Cancer Histopathology Images. Cancers, 15, 2569.
[9] Anand, V., et al. (2023). Weighted Average Ensemble Deep Learning Model for Stratification of Brain Tumor in MRI Images. Diagnostics, 13, 1320.
[10] Li, W., & Hsu, C.-Y. (2022). GeoAI for Large-Scale Image Analysis and Machine Vision: Recent Progress of Artificial Intelligence in Geography. ISPRS Int. J. Geo-Inf, 11, 385.
[11] Xu, W., & Yang, D., & Liu, J., & Li, Y., & Zhou, M. (2024). A Visual Navigation Algorithm for UAV Based on Visual-Geography Optimization. Drones, 8, 313.
[12] Flores-Calero, M., et al. (2024) Traffic Sign Detection and Recognition Using YOLO Object Detection Algorithm: A Systematic Review. Mathematics, 12, 297.
[13] Pellicer, A.L., & Li, Y., & Angelov, P. PUDD: (2024). Towards Robust Multi-modal Prototype-based Deepfake Detection. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 3809–3817.
[14] Bartos, G.E., & Akyol, S. (2023). Deep Learning for Image Authentication: A Comparative Study on Real and AI-Generated Image Classification. In Proceedings of the AIS 2023, 18th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas, 1–5.
[15] Bartos, G.E., & Akyol, S. (2023). Deep Learning for Image Authentication: A Comparative Study on Real and AI-Generated Image Classification. In Proceedings of the AIS 2023, 18th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas, 1–5.
[16] Gallagher, J., & Pugsley, W. (2024). Development of a Dual-Input Neural Model for Detecting AI-Generated Imagery. arXiv Preprint, arXiv:2406.13688, 1–6.
[17] Bird, J.J., & Lotfi, A. (2024). Cifake: Image Classification and Explainable Identification of AI-Generated Synthetic Images. IEEE Access, 2, 15642–15650.
[18] Kim, C., & Yoon, S., & Han, M., & Park, M. (2024). Transfer Learning-based Generated Synthetic Images Identification Model. J. Converg. Cult. Technol., 10, 465–470.
[19] Yu, H., & et al. (2021). Convolutional Neural Networks for Medical Image Analysis: State-of-the-Art, Comparisons, Improvement, and Perspectives. Neurocomputing, 444, 92–110.
[20] Krizhevsky, A., & Hinton, G., & et al. (2009). Learning Multiple Layers of Features from Tiny Images. University of Toronto.
[21] Schuhmann, C., & et al. (2022). Laion-5B: An Open Large-Scale Dataset for Training Next Generation Image-Text Models. Advances in Neural Information Processing Systems, 35, 25278–25294.
[22] Rombach, R., & Blattmann, A., & Lorenz, D., & Esser, P., & Ommer, B. (2022). High-resolution image synthesis with latent diffusion models. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 10684–10695.
[23] Nachmani, E., & Roman, R. S., & Wolf, L. (2021). Non Gaussian Denoising Diffusion Models. arXiv preprint, arXiv:2106.07582.
[24] Dosovitskiy, A., & et al. (2020). An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale. arXiv preprint:2010.11929.
[25] Ba, J.L., & Kiros, J.R., & Hinton, G.E. (2016). Layer Normalization. arXiv preprint arXiv:1607.06450.
[26] Grinberg, M. (2018). Flask web development. O'Reilly Media, Inc..

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

ICSIS

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Hindi Etinin Kalitesi: Teknolojik ve Mikrobiyolojik Kalite

Emine AKSAN ALDANMAZ

Mustafa Kemal University, Faculty of Agriculture, Food Engineering, Hatay, Türkiye

eaksan@mku.edu.tr

Özet **-** Hindi (Meleagris domesticus) eti üretimi, özellikle son yıllarda kümes hayvanları et sektörü içinde önemli bir paya sahip olmaktadır. Hindi etinin, yüksek protein içeriği (%20), düşük yağ içeriği ve sodyum, potasyum ve demir gibi mineral kaynağı olması nedenleriyle çeşitli tüketici grupları tarafından talep edilmektedir.

Dünya kanatlı eti üretiminde hindi eti, tavuk eti üretiminden sonra ikinci sırada yer almaktadır. Yaklaşık dünyada yıllık üretimi 6 milyon tondur (2019). ABD en yüksek üretimi gerçekleştiren ülkedir. Brezilya, Almanya ve Polonya'da hindi eti üretiminde yüksek paya sahiptir. Dünya hindi eti üretiminin %1,0'i Türkiye gerçekleşmektedir. Türkiye üretici ülkeler arasında 15. sırada, dünya hindi eti ihracatında %1,4'lük pay ile 14. sırada yer almaktadır. Türkiye'de yıllık kişi başı tüketim 600 gr olarak belirlenmiştir (2019). Hindi etine olan artan talep ile birlikte, tüketicilerin ürün kalitesiyle ilgili beklentileri de yükselmektedir. Hindi etinin teknolojik kalitesini, organoleptik ve biyolojik özellikleri ve insan beslenme ihtiyaçlarını karşılamada pratik uygunluğu oluşturmaktadır. Hindi etinin doku, renk ve lezzeti ve besin bileşimi gibi çekici duyusal özellikleri tüketici tercihlerinde ve ürün çeşitlenmesinde en önemli teknolojik özellikleridir. Ancak tüm kanatlı etlerinde olduğu gibi, hindi eti de, çeşitli bozucu mikroorganizmalar ve patojen bakterilerin gelişmesine uygun ortamlardır. Mikrobiyolojik bulaşı, kanatlı etlerinin kesim ve hazırlanma yöntemleri esnasında da ayaklardan, tüylerden, tüylerin yolunması, iç organların çıkarılması ve soğutma gibi işlemlerden karkasa mikroorganizmalar bulaşarak bozulmalara neden olabilmektedir. Kesim işleminden sonra kümes hayvanları etinde çeşitli patojen bakteriler (*Bacillus* sp., *Salmonella* sp., *Escherichia* sp.,) ve bozulma etmeni mikroorganizmalar gelişebilmektedir.

Besin değeri açısından ve ülke ekonomisinde önemli bir değere sahip hindi etinin, teknolojik ve mikrobiyolojik kalitelerini tüketici tercihinde önemli bir etmendir. Bu çalışmada da, hindi etinin önemi, teknolojik ve mikrobiyolojik kalitesi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler – Hindi eti, Kalite, Teknolojik Özellikleri, Mikroflora

I. GİRİŞ

İnsan tüketiminde kullanılan et, büyükbaş, küçükbaş, kümes hayvanları ve deniz ürünlerinden elde edilmektedir. Bu kaynakların yaklaşık %36'sını kümes hayvanları oluşturmaktadır (Anonim, 2016). Özellikle, kümes hayvanları etinin, kırmızı ete göre daha ucuz olması, daha düşük yağ oranı ve kolesterol içermesi ve sindiriminin daha iyi olması nedeniyle tüketici tarafından tercih edilmektedir (GÜRBÜZ ve ark., 2023). Hindi, kümes hayvanı olarak sınıflandırılmakta ve Kuzey Amerika'ya özgü *Meleagris* cinsinin büyük bir kuşunun etidir. Günümüzde yiyecek olarak kullanılan iki hindi türü yabani hindi (*Meleagris gallopavo*) ve benekli hindi (*Meleagris ocellata*)'dır. Hindi eti üretimi, son yıllarda kümes hayvanları et sektörü içinde yükseliş göstermektedir. Hindi eti üretimi ile ilgili gelişmeler, Dünyada 1980'lerden, Türkiye'de de 1995 yılından sonra başlamıştır (Tan ve Dellal, 2002, Koyubenbe ve Konca, 2010). Hindi yetiştiriciliği ilk kez 1960'lı yıllarda Devlet Üretme Çiftlikleri (DÜÇ)'nde bronz ve yerli hindiler ile yapılmıştır. 2006 yılından itibaren hindi yetiştiriciliği özel sektörede yapılmaya başlanmıştır (Koyubenbe

ve Konca, 2010). İdeal kesim yaşı erkek hindilerde 23-24 hafta (20-22 kg canlı ağırlığı), dişilerde ise 16-17. haftalar (9-10 kg canlı ağırlığı)'dır (Konca, 2001).

Hindi etinin, tavuk etine göre daha dayanıklı ve uzun ömürlü olması, ayrıca karkas randımanının yüksekliği (%65) talep artışı üzerindeki etkili faktörlerdir (Koyubenbe ve Konca, 2010). Hindi etinin sağladığı avantajlar nedeniyle, yıllara göre hem ürün çeşitliliği ve hem de tüketim miktarı artmaktadır. Toplam kanatlı eti üretiminde hindi eti üretim miktarı % 10–15'lik paya sahibidir. Dünya kanatlı eti üretiminde hindi eti, tavuk eti üretiminden sonra ikinci sırada yer almaktadır. Yaklaşık dünyada yıllık üretimi 6 milyon tondur (2019). ABD en yüksek üretimi gerçekleştiren ülkedir. Brezilya, Almanya ve Polonya'da hindi eti üretiminde yüksek paya sahiptir. Dünya hindi eti üretiminin %1,0'i Türkiye gerçekleşmektedir. Türkiye üretici ülkeler arasında 15. sırada, dünya hindi eti ihracatında %1,4'lük pay ile 14. sırada yer almaktadır. Üretimin büyük bölümü Ege Bölgesi ve Doğu Marmara Bölgesinde yapılmaktadır. 2020 yılında kesilen hindi sayısı 5,4 milyon adettir ve yaklaşık 54 bin ton hindi eti üretimi gerçekleştirilmiştir. Dünyada kişi başı yıllık hindi eti tüketimi ortalama 6 kg civarındadır. Bazı ülkelerde (ABD, İsrail) bu oran 20 kg düzeyine kadar yükselmektedir. Ülkemizde ise kişi başı yıllık hindi eti tüketim oranı (0.6kg) oldukça düşüktür (Yusuf, 2001), ancak bu oran Avrupa ve ABD'deki tüketim oranlarıyla kıyaslandığında (8 kg- 12 kg arasında) oldukça düşük kalmaktadır (2019). Ayrıca ihraç edilen kanatlı etlerinin %4 oranını hindi eti oluşturmakta ve Azerbaycan, Benin, Ürdün, Irak ve BAE'e ihracat gerçekleştirilmektedir (Anon, 2021).

Hindi eti ve diğer kümes hayvanları etleri bileşimleri Çizelge 1'de verilmiştir. Hindi etinde, protein miktarı daha yüksek, toplam yağ miktarı ve kalori miktarı ise daha düşüktür. Hindi etinde ortalama 8 g yağ içermektedir, özellikle göğüs etindeki yağ oranı % 5'ten düşüktür. Yağ içeriğinin 2,16 gr'ı doymuş, 2,65 gr'ı tekli doymamış ve 2,12 gr'ı çoklu doymamış yağdır. Bu, hindi etinin yağ asidi içeriğinin %31 doymuş yağ asitlerinden, %38 tekli doymamış ve %31 çoklu doymamış yağlardan oluşmaktadır. Bu yağların çoğu deride depolanır. Derisiz kızarmış bütün hindi etinin yüz gramlık bir porsiyonu sadece 3,84 gr yağ içerir (Özlem ve ark., 2009).

Çizelge 1. Hindi ve Diğer Kanatlı Etleri Bileşimleri (Et ve Deri (100 g))

	Hindi	Piliç	Kaz	Ördek
Su	70.4	66.0	50.0	48.5
Kalori (Kcal)	160	215	371	404
Protein	20.4	18.6	16.0	11.5
Toplam lipid	8.0	15.1	33.6	39.3
Tekli doymamış yağ asidi	42.9	44.7	56.8	49.4
Çoklu doymamış yağ asidi	23.2	21.0	11.0	13.0

Hindi etinin, yüksek protein içeriği (%20), bazı amino asitleri (lizin, alanin, serin, aspartik asit, metiyonin, glutamik asit ve tirozin) yüksek düzeyde içermesi, B vitaminleri (tiamin (B1), riboflavin (B2), niasin (B3) ve pridoksin (B6)) içeriğinin yüksek olması, kalsiyum, fosfor ve potasyum bakımından zengin içeriği, çoklu doymamış yağ asitlerinden linoleik asitin tavuk etine göre (hindi etinde 2.6 mg/g yağ, tavuk etinde 0.9 mg/g yağ) daha yüksek miktarda bulunması ve yağ oranının düşük olması (%8), bu nedenlerle de çeşitli tüketici gurupları tarafından talep edilmektedir. Ayrıca, selenyum açısından da iyi bir kaynaktır (Mustafa, 2014).

I.I. Hindi Etinin Teknolojik Kalitesi

Hindilerde canlı ağırlığın yaklaşık % 65'i insan gıdası olarak tüketime sunulabilirken, randımanın % 30'unu göğüs eti oluşturmaktadır. Hindi eti, hem parça formunda (karkas, parça, kıyma) hem de çeşitli et ürünlerinde (salam, sosis ve füme gibi) kullanılabilmektedir. Hindi etinin doku, renk ve lezzeti ve besin bileşimi gibi çekici duyusal özellikleri tüketici tercihlerinde ve ürün çeşitlenmesinde en önemli teknolojik özellikleridir (Özlem ve ark., 2009).

I.I.I.Asitlik

Hindi eti hafif asidiktir. Hindi göğüs etinin pH değerinin 5.8 ila 6.0 aralığında bulunmaktadır. Çok taze hindi etinin pH değeri 6.45'dır, ancak asitlik daha sonra hızla düşerek yaklaşık pH 6.0 değerinde kalır (Wynveen ve ark., 2014).

I.I.II. Görünüm ve Lezzet

Kümes hayvanları arasında hindi eti tad ve görünüm açısından tavuk eti ile benzerdir. Ancak hindinin genellikle daha yoğun, daha av eti tadına sahip olduğu söylenebilir. Yabani hindi etinin, evcil hindi etlerinden daha fazla av hayvanı eti tadına sahiptir. Hem hindi yağlı, tuzlu, tatlı ve umami olarak tanımlanmıştır. Yapı olarak da hindi eti tavuk etinden daha büyük boyuttadır (Maughan ve Martini, 2014).

I.I.III.Renk

Hindi eti, beyaz ettir. Kırmızı ete kıyasla beyaz et daha az miyoglobin ve demir içerir ve doğal olarak daha açık renklidir. Bunun nedeni, hindi ve tavuk gibi kümes hayvanlarının gelişmiş kaslarının olmamasıdır çünkü uçmak için kanatlarını kullanmazlar ve sadece yerde dolaşırlar. Bu nedenle, hindinin göğüs ve kanat eti, koyu et olarak kabul edilen bacak etine kıyasla daha açık renklidir. Yabani hindi etinin rengi de evcil hindi etinden daha koyu olabilir.

Hindi etinin pembe renginin oluşumunda azaltılmış hemokromların neden olduğu belirlenmesi ile birlikte bu konuda daha aydınlatıcı çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Birçok faktör kümes hayvanı etinin rengini etkiler. Hindilerde yaşın artması ile kasdaki miyoglobin içeriğinin arttığı, ve bu nedenle yaşlı kuşlardan elde edilen hindi eti, genç kuşlardan elde edilen etten önemli ölçüde daha kırmızı olmaktadır. Ayrıca erkek kuşların dişilerden daha yüksek miyoglobin konsantrasyonlarına sahip bulunmaktadır. Kesim öncesi stres hindi eti kalitesini ve rengini etkileyebilir. Kesimden önceki ısı, stres daha düşük pH, soluk renkli hindi etiyle sonuçlanmaktadır.

I.I.IV. Tekstür

Hindi etinin üretimi ve işlenmesi, ölüm sonrası biyokimyasal değişimler, etin tekstiür yapısını, sertşiğini ve kalitesini etkileyen faktörlerdir. Ayrıca hayvanın cinsi, cinsiyeti ve diyeti de et tekstir ve kalitesinde önemlidir. Bunların yanısıra kesim öncesi stress faktörü, kesim ve işleme yöntemi (karkasın haşlanması, yolunması) ve kesimden sonra soğutulması veya dondurulması ürün dokusunda farklılıklara yol açabilir. Karkasların yaklaşık %15'inin sert yapıda et bulunmaktadır.

Kesim öncesi hayvanın bulunduğu sıcaklık ve hayvanın hareketi dokusal kalite üzerinde etkiye sahiptir. Düşük sıcaklıklar, hayvanı etinin yumuşaklığını azalttığı, Kesim öncesi elektrikle sersemletme etin yumuşaklığını iyileştirdiği ve kaslardaki değişkenliği azalttı açıklanmıştır. Stres, elektrikle sersemletme, haşlama ve yolmanın etkileri, kümes hayvanı etinde sertleşmeye neden olmaktadır. Ayrıca hindi ne kadar gençse eti o kadar yumuşak ve derisi o kadar pürüzsüz olmaktadır.

I.II. Hindi Etinin Mikrobiyolojik kalite

Kanatlı etleri, zengin besin bileşimleri, yüksek su içerikleri ve pH değerleri nedeniyle de, çeşitli mikroorganizmanın gelişmesine uygun ortamlardır. Ayrıca kanatlı etlerinin kesim ve hazırlanma yöntemleri esnasında da mikroorganizmalar bulaşarak bozulmalara neden olabilmektedir (Sena ve ark., 2015, Çelik, 2012). Bunun yanı sıra toprak, yemler, içme suyu ve hayvanın dışkısı önemli bulaşma kaynaklarını oluştururlar. Taze kümes hayvanları etinde yaygın olarak, *Pseudomonas* sp., *Micrococcus* sp., *Achromobacter* sp., *Flavobacterium* sp., *Alcaligenes* sp., *Proteus* sp., *Bacillus* sp., *Sarcina* sp., *Streptococcus* sp., *Salmonella* sp., *Escherichia* sp., *Streptomyces* sp., *Aspergillus* sp., *Penicillum* sp., *Geotrichum* sp., *Cryptoccus* sp., *Rhodotorula* sp., *Candida* sp., *Trichosporon* sp. *ve Torulopsis* sp. cinsleri

gelişmektedir. Canlı hayvanda, mikrobiyal popülasyon Gram pozitif çubuklar ve mikrokoklardan oluşurken kesim sonunda popülasyonu gram negatif mikroorganizmalar oluşturmaktadır (Tansel ve ark., 2002).

Mikroorganizmalar, kesim esnasında hayvanın gastrointestinal kanalından, deri ve tüylerinden ete bulaşabilmektedir. Bu nedenle kesim aşamalarından, tüy yolma, iç organ çıkartma işlemlerinde mikrobiyolojik bulaşı riskleri artmaktadır. Bunun yanında, parçalama, paketleme gibi alet-ekipman ve personelin bulaşmada rol oynayacağı noktalara da dikkat edilmesi gerekmektedir (Tansel ve ark., 2002). Bu nedenle kanatlı etlerinde mikrobiyolojik bozulmalar sonucu ürün kalite kayıpları ve patojen bakterilerin gelişimi sonucu da enfeksiyonlar yaygın olarak belirlenmektedir (Çon ve ark., 2002).

Hindi etlerinde de, hem kümeslerden hem de kesim, işleme, paketleme, muhafaza ve dağıtım gibi aşamalarda çeşitli bozulma etmeni mikroorganizmalar bulaşarak, raf ömrünün azalmasında ve kalite kayıplarına neden olabilmektedir. Ayrıca, çeşitli araştırmalarda hindi etinde, *Salmonella* sp.*, Clostridium perfringens, Staphylococcus aureus, Yersinia* sp.*, Campylobacter ve Listeria* sp.cinsi patojen bakteriler yaygın olarak belirlenmiştir (Şireli ve ark., 2020, Koçyiğit ve Karaboz, 2005, İşeri ve Erol., 2009).

I.III. Conclusions

Hindi etinde kalite, üretici, işleyici ve hatta tüketici tarafından etin son hazırlanması sırasında sağlanabilen çok sayıda farklı özelliği kapsayan karmaşık bir kavramdır. Hem tüketici hem de üretici açısından hindi etinde kalitenin değerlendirilmesinde farklılıklar bulunmasına rağmen değerlendirme kriterlerinde özellikle, doku, renk ve lezzeti ve besin bileşimi gibi kriterler öneçıkmaktadır. Hindi etinin mikrobiyolojik kalitesi de bu kriterler üzerinde en önemli etkili faktördür.

Besin değeri açısından ve ülke ekonomisinde önemli bir değere sahip hindi etinin, tüketiciye ulaşana kadar muhafazasında teknolojik ve mikrobiyolojik kalitesinin tüketici davranışlarına ve tercihlerine göre korunması önemlidir. Bu kriterler çeşitlidir ve bir kıtadan diğerine veya bir toplumdan diğerine değişir ve imaj ve sosyal değerlerle ilişkilidir.

KAYNAKLAR

Çelik, P., 2012. Kanatlı Eti (Hindi Eti Ve Tavuk Eti) Ve Kırmızı Et Karışımı İle Elde Edilen Köftelerin Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ.

Çon, A.H., Doğru, M. ve Gökalp, H.Y. (2002). Afyon'da Büyük Kapasiteli Et İşletmelerinde Üretilen Sucuk Örneklerinin Bazı Mikrobiyolojik Özelliklerinin Periyodik Olarak Belirlenmesi. Turkish Journal of Veterinary & Animal- Academic Journals, 26: 11-16.

Maughan, C., Martin, S., 2012. Identification and Quantification of Flavor Attributes present in Chicken, Lamb, Pork, Beef, and TurkeyJournal of Food Science 77(2):S115-21

Dr. Sibel TAN Dr. İlkay DELLAL 2002. Kirmizi Et Üretim Ve Tüketim Açiğini Kapatmak İçin Alternatif Bir Yaklaşim: Hindi Üretimi Ve Sözleşmeli Yetiştiricilik Modeli, T.C. Tarim Ve Orman Bakanliği

Wynveen, E. J. Bowker B.C., Grant A.L., Demos B.P. & Gerrard D.E., 2010. Effects of muscle pH and chilling on development of PSE-like turkey breast meat. British Poultry Science Publication

Gürbüz, İ. B., Gemeç, E., Kadağan Ö. 2023. Tüketicilerin Beyaz Et Tercihlerini Etkileyen Faktörler ve Gıda Harcamaları İçerisinde Beyaz Etin Payı: Bursa İli Örneği. Bursa Uludag Üniv. Ziraat Fak. Derg., 37(2), 343-363.

İşeri, Ö., Erol, İ., 2009. Hindi Etinden Kaynaklanan Başlıca Bakteriyel İnfeksiyon ve İntoksikasyonlar. Ankara Üniv Vet Fak Derg, 56, 47-54.

Koçyiğit, A., Karaboz, İ., 2005. İzmir'de Çeşitli Marketlerde Satışa Sunulan Tavuk ve Hindi Etlerinde *Staphylococcus aureus* Aranması, Sayımı ve Tanımlanması. Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, İZMİR. GIDA(2005) 30 (4):281-285.

Konca, Y., 2001. Hindi Besiciliği. Tarımsal Ara tırma ve Eğitim Koordinasyonu (TAYEK/TYUAP), 2001 Yılı Hayvancılık Grubu Bilgi Alı Veri Toplantısı Bildirileri. Ege Tarımsal Ara tırma Enstitüsü Müdürlüğü, 27-29 Mart, Đzmir, Yayın No: 100, Sayfa:21-31.

Koyubenbe, N., Konca, Y., 2010. Türkiye ve Avrupa Birliği'nde Hindi Eti Üretimi, Tüketimi ve Politikaları, Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 47 (2): 201-209.

Şireli, U.T., Erol, İ., Şahin, Ş., Terzi, G., 2020. Tavuk Kıyma, Köfte ve Burgerlerinde *Listeria* Türlerinin Varlığı ve Kontaminasyon Düzeyinin Belirlenmesi. Ankara Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Besin Hijyeni Ve Teknolojisi Anabilim Dalı, ANKARA.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Investigation of Composite Radome Repair Methods: An Experimental Study on Structural and Electromagnetic Performance

Muhammed Esad Karaduman[1*], Mehmet Çağrı Tuzemen[2] and Fatih Aktas[3]

[1]*Graduate School of Natural and Applied Sciences, Gazi University, Ankara 06500, Türkiye*
[2] *Department of Metallurgical and Materials Engineering, Nevşehir Haci Bektaş Veli University, Türkiye*
[3] *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Gazi University, Ankara 06570, Türkiye*

[*]*esadkaraduman@gmail.com*

Abstract – This study investigates the structural and electromagnetic performance of repaired aerospace composite radomes using different repair methods. The research focuses on prepreg-based quartz fiber sandwich structures subjected to common impact scenarios. Various damage cases including single and double laminate failures, and core damage were simulated. Repair methods such as scarf and step techniques were applied using either heat blanket or autoclave curing. Non-destructive testing (NDT) methods like Through Transmission Ultrasound (TTU) and microscopy were used to assess internal defects. Mechanical performance was evaluated through compression and flexural tests, and electromagnetic performance was analyzed using radio frequency (RF) transmission measurements. The results demonstrate that autoclave-based repairs restore both structural integrity and RF transparency more effectively than heat blanket methods. The findings contribute to the optimization of radome repair strategies balancing mechanical robustness and signal transmission efficiency.

Keywords – Composite Radome, Quartz Fiber, Repair Techniques, RF Transmission, Composite Repair, Autoclave Curing

I. INTRODUCTION

The utilization of composite materials in the aerospace industry has been expanding due to their superior strength-to-weight ratio, corrosion resistance, and design flexibility. These materials are now commonly employed even in primary aircraft structures. For instance, more than 50% of the structural components in Boeing 787 and Airbus A350 XWB aircraft are manufactured using composites instead of traditional aluminum alloys [1]. Compared to conventional metallic materials, composites offer lighter and more durable structural solutions, leading to improved fuel efficiency and reduced operational costs. Replacing metals like aluminum with composite materials results in a structural weight reduction of approximately 15–30%, which in turn contributes to a 20–25% improvement in fuel economy [2].

Among the composite structures integrated into aircraft systems, radomes hold a significant role. The term "radome," a fusion of “radar” and “dome,” refers to a structural enclosure designed to house radar equipment while shielding it from environmental and mechanical impacts [3]. These components are engineered to permit the efficient transmission of radar signals while simultaneously offering protection against adverse conditions. To ensure reliable radio frequency (RF) signal propagation during operation, radomes must exhibit resistance to external threats such as lightning strikes, rain erosion, bird impacts, and both aerodynamic and thermodynamic loads [4].

Due to these considerations, the repair of damaged composite structures is of critical importance for ensuring both aviation safety and operational continuity. Restoring a compromised radome not only helps to recover its mechanical integrity but also plays a vital role in maintaining the effective functioning of the radar system.

This study aims to investigate the impact of composite repair techniques on the electromagnetic performance of aerospace radomes. Various repair scenarios will be applied to quartz prepreg-based sandwich structures using heat blanket and autoclave curing methods. The repaired specimens will undergo both destructive and non-destructive evaluations, including Through-Transmission Ultrasound (TTU), microscopy, and RF testing to assess internal defects and signal transmission performance. Mechanical characterization will be conducted through flexural, bonding, and compression tests. The outcomes are expected to inform effective repair strategies and enhance the balance between structural integrity and electromagnetic transparency in radome applications.

II. Materials and Method

In this study, material selection was made with a focus on achieving high mechanical strength and optimal dielectric performance. The primary materials used include quartz fiber prepreg, film adhesive, foam adhesive, and aramid core. All repair scenarios were conducted at the coupon level to simulate radome repair processes. A-type sandwich panel configurations were selected for representing typical aerospace radome structures.

Coupon fabrication involved manual lay-up of quartz prepregs with a [(0/45/90/-45)s] stacking sequence. Coupons were produced with dimensions of 300 mm x 300 mm, considering the requirements for RF and mechanical testing. The co-bonding technique was employed to ensure optimal structural adhesion during the bonding process. The fabrication was carried out in clean room conditions using CNC-controlled prepreg cutters. Vacuum bagging was applied before autoclave curing using an autoclave under standard temperature-pressure-time cycles.

Each laminate included a 25 mm oversize margin to compensate for edge thickness deviations. During lay-up, interlayer vacuuming ensured minimal air entrapment. Peel ply was applied to prepare bonding surfaces. Final vacuum bagging incorporated release films, breather layers, sealant tape, and thermocouples to monitor temperature. Two-stage curing involved initial laminate consolidation followed by secondary bonding with core material using film adhesive and foam adhesive. Quartz prepreg plies were then re-applied with a reversed stacking orientation of [−45/90/45/0].

Six distinct repair scenarios (A–F) were developed, reflecting various laminate and core damage configurations. The goal was to assess both mechanical strength and RF transparency. For repair patching, the step technique was preferred over scarfing due to its superior control during layer removal for thin layer lamites, which is especially important for maintaining fiber orientation and avoiding structural discontinuities. Damage zones were defined with a 1-inch diameter to represent the maximum permissible defect area relative to coupon size, ensuring comparability across RF and mechanical tests.

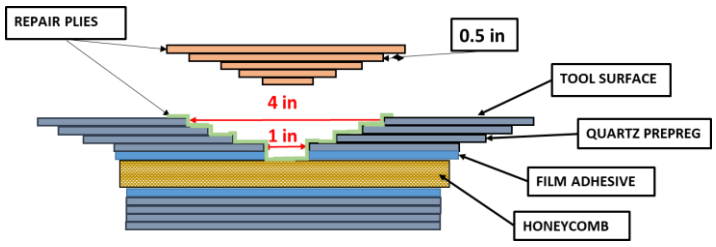


Figure 1 Repair Scenario A

Each repair case was produced in four 150×150 mm coupons. In scenarios C–F, the core was removed from the defect center, and pre-dried core segments were reintroduced using foam adhesive. Patch layers were cut to designated fiber orientations, bonded with film adhesive under vacuum, and cured using heat blankets. To improve pressure uniformity during heat blanket curing, metal pressure plates and thermocouples were used.

For mechanical testing, compression test coupons were fabricated in two sizes (260×210 mm and 190×150 mm) to investigate the effect of damage-to-undamaged area ratios. Twelve coupons were produced to cover all combinations of damaged and reference configurations. C and D scenarios represented the most severe expected structural damage cases.

Following RF test evaluations, alternative repairs were fabricated using autoclave curing instead of heat blankets to compare internal quality and performance. The same lay-up and bonding procedures were followed, with updated cure cycles. This autoclave-based approach was tested on C, D, E, and F scenarios due to their previously observed high DB losses.

Mechanical tests were conducted using an MTS C45.105 test system equipped with a 100 kN jaw capacity. Three-point bending and sandwich flatwise tests were applied. Additionally, microscopic cross-sectional analysis was carried out to evaluate porosity, adhesive quality, and fiber integrity. RF tests were performed using a dedicated waveguide test setup to evaluate electromagnetic transparency across repaired and reference samples.

III. RESULTS

Non-destructive inspection (NDI) via Through-Transmission Ultrasound (TTU) was employed to detect subsurface flaws. Based on the NDI outcomes, microscopic examinations using microscope were conducted to investigate the internal quality of bonded regions. Results indicated that B and D repair scenarios, cured without pressure, contained %3,7 and %0,6 void content respectively. However, the same configurations, when cured under autoclave conditions, displayed markedly improved laminate consolidation, reduced porosity, and enhanced fiber-matrix bonding. These findings confirm that autoclave curing not only enhances structural integrity but also ensures greater repair reliability.

Following quality controls, three-point bending tests were carried out in accordance with ASTM C393 to assess the flexural performance of the repaired sandwich structures. In this context, core shear failure was considered the acceptable failure load criterion, which is standard for sandwich panel characterization. All repair scenarios exhibited failure behavior consistent with this criterion, validating the structural response of the repaired regions under flexural loading.

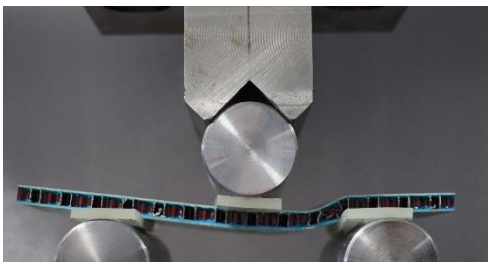


Figure 2 Coupon A-ASTM C393 Sandwich Flexure Test

Flatwise tensile tests were conducted in accordance with ASTM C297 to further evaluate the bonding performance between the core and face sheets in the repaired radome specimens. The test results aligned closely with previous Through-Transmission Ultrasound (TTU) findings, particularly in scenarios B and D, where significant porosity had been identified in the adhesive interfaces. In these cases, partial adhesive failure was observed—30% in scenario B and 20% in scenario D—correlating directly with the void-prone regions detected during non-destructive inspection and microscopic analysis. In contrast, all other repair configurations exhibited 100% core failure, which is indicative of a well-bonded interface and confirms the overall structural integrity of those samples.

Electromagnetic performance of the repaired radome coupons was evaluated through RF transmission measurements, using undamaged reference panels as the baseline for comparison. The S21 parameter was analyzed to quantify signal loss across different repair configurations. Test results indicated that repair

scenarios incorporating additional laminate patches exhibited greater dB loss in the S21 band compared to their counterparts without extra layers. Furthermore, repair configurations involving more extensive damage and deeper structural intervention, such as core removal and multi-step restoration, also resulted in higher transmission loss.

Additionally, specimens repaired using autoclave curing consistently exhibited improved RF transmission characteristics compared to their heat blanket-cured counterparts, highlighting the role of pressure-assisted consolidation in preserving dielectric continuity and minimizing internal defects.

IV. DISCUSSION

The findings of this study offer valuable insights into the interplay between structural repair integrity and electromagnetic transparency in composite radome components. The consistent occurrence of core shear as the failure mode in all scenarios indicates that the step repair method, when properly applied, meets the minimum mechanical requirements for aerospace sandwich structures. However, observed deviations in bonding quality—particularly in scenarios B and D—highlight the critical role of void control in ensuring long-term performance. These defects, which manifested as partial adhesive failure under flatwise loading, were directly linked to porosity levels identified in TTU and microscopy. This aligns with prior studies emphasizing the sensitivity of RF-critical components to microstructural discontinuities. Moreover, the correlation between increased laminate complexity and S21 dB loss underlines the electromagnetic penalty of over-repairing. Compared to baseline panels, scenarios with additional plies and extensive core replacements consistently exhibited higher transmission losses, reaffirming the need to optimize repair scale. Collectively, the results support the conclusion that pressure-assisted curing, particularly autoclave processing, is not only essential for mechanical reliability but also for maintaining electromagnetic fidelity. These findings contribute to an evolving framework for repair strategy selection in aerospace applications, balancing strength recovery with signal transmission preservation.

V. CONCLUSION

This study demonstrated that step-repaired composite radome structures can achieve satisfactory structural integrity, as verified through ASTM C393 three-point bending tests where all scenarios met the core shear-based failure criterion. However, porosity observed in heat blanket-cured specimens, particularly in B and D repair scenarios, negatively affected bonding performance, as confirmed by flatwise tensile tests (ASTM C297). These findings emphasize the need to account for such defects by applying appropriate knock-down factors when calculating repair margins and structural capability. Electromagnetic testing showed that patch-free repairs preserved RF transparency more effectively, especially in the S21 band. While additional layers enhance mechanical recovery, they also increase dielectric discontinuity and signal loss. Therefore, patch-free repair approaches should be preferred whenever feasible, yet selected with care based on the operating frequency of the radar system.

REFERENCES

[1] Di Sante, R. (2015). Fibre optic sensors for structural health monitoring of aircraft composite structures: Recent advances and applications. Sensors, 15(8), 18666-18713.

[2] Rafi, H. A. (2024). Impact Of Composite Materials On Aircraft Weight Reduction, Fuel Efficiency, And Performance In Commercial Aviation. International Journal Of Mechanical Engineering, 4(01), 21-35.

[3] Pei, Y., Zeng, A., Zhou, L., Zhang, R., & Xu, K. (2012). Electromagnetic optimal design for dual-band radome wall with alternating layers of staggered composite and kagome lattice structure. Progress In Electromagnetics Research, 122, 437-452.

[4] Zhou, L., Wang, P., Pei, Y., Zeng, A., Tang, L., Liu, Z., ... & Fang, D. (2017). Design and characterization for dual-band and multi-band A-sandwich composite radome walls. Composites Science and Technology, 149, 28-33.

[5] ASTM C297, Standard Test Method for Flatwise Tensile Strength of Sandwich Construction, ASTM International, 2010

[6] ASTM International. ASTM C393 / C393M-16, Standard test method for core shear properties of sandwich constructions by beam flexure. Volume 15.03. West Conshohocken: ASTM International; 2016.

[7] Campbell, F. C. (2010). Structural composite materials. ASM international.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

ICSIS

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

The Evaluation of Bacterial Growth Inhibition and Mechanism of Donor-π-Acceptor Dye sensitized TiO_2

İlknur AKSOY ÇEKCEOĞLU*

[1]*Selçuk University, Faculty of Science, Department of Biotechnology, Türkiye*

**(ilknuraksoy1@gmail.com)*

Abstract **–**The problem of antibiotic resistance caused by the misuse of conventional antibiotics highlights the urgent need for alternative bactericidal strategies. Photocatalytic materials have been shown to be promising agents as they generate reactive oxygen species (ROS) upon exposure to light, leading to oxidative cell stress. In this study, the photocatalytic antibacterial activity of titanium dioxide (TiO_2) sensitized with an organic donor-π-acceptor (D-π-A) dye, MK-2, was investigated against *Escherichia coli* (Gram-negative) and *Staphylococcus aureus* (Gram-positive) under LED illumination. The growth curve assay was used to evaluate the antimicrobial activity. MK-2-sensitized TiO_2 effectively inhibited bacterial growth by 62% for *E. coli* and 89% for *S. aureus*. The proposed mechanism suggests that MK-2 facilitates electron transfer to the TiO_2 conduction band upon LED irradiation, leading to the production of ROS such as superoxide anion radicals ($^{\bullet}O_2^-$) that destroy the bacterial structures. This study highlights the potential of MK-2-sensitized TiO_2 as a light-activated, non-antibiotic antibacterial agent and provides a basis for the future development of visible light-driven photocatalytic therapies targeting pathogenic bacteria.

Keywords – antibacterial activity, donor-π-acceptor, dye sensitization, photocatalytic, reactive oxygen species

I. INTRODUCTION

The widespread misuse and overuse of antibiotics has accelerated the development of resistance and contributed to the spread of infections with high mortality rates. According to the World Health Organization (WHO), without effective alternative treatment strategies, the number of deaths caused by antibiotic resistance could rise to 10 million a year by 2050. Although conventional antibiotics kill bacteria through various biochemical mechanisms-including inhibition of cell wall synthesis, protein synthesis and nucleic acid replication-bacteria have evolved intricate molecular pathways to overcome these effects[1]. Therefore, the development of novel, non-toxic and effective antibacterial strategies has become important[2].

One of the most important alternative ways of combating bacterial resistance is the use of photocatalytic materials. Photocatalytic materials are excited by photon energy to generate reactive oxygen species (ROS), which damage bacterial membranes and are potential non-antibiotic antibacterial agents. Photocatalytic agents act through physical and chemical mechanisms that are different from those of antibiotics,thus overcoming the resistance problem [3]. Recently, titanium dioxide (TiO_2) has emerged as an attractive semiconductor due to its chemical stability, structure, biodegradability and low cost. Numerous studies have been conducted on the effect of photocatalytic TiO_2 nanoparticles on microorganisms. TiO_2 can generally be used as a powder in aqueous suspension or applied as a coating/film on various surfaces. TiO has been reported to show high levels of bactericidal activity, particularly on *E. coli*. However, these high efficacies were mostly achieved at strong light intensities (10-500 W/m², λ=300-400 nm)[4]. Therefore, researchers have developed many methods to improve the photocatalytic and antibacterial activities of TiO_2 under visible light [5]. Dye sensitization of TiO_2 is one of the applicable methods to improve the

photocatalytic and antibacterial activity under visible light [6]. In dye sensitization, dye molecules attach to the TiO_2, are excited by light and subsequently transfer electrons to the TiO_2 conduction band (CB), triggering various redox reactions. Increased light absorption and effective charge transfer thus lead to higher photoconversion efficiency [7]. Recently, organic non-metallic dyes, so called donor-π-acceptor (D-π-A) structures, have gained attention for visible light sensitization as they improve the charge transfer and photocatalytic activity of semiconductors[8].

The aim and scope of this study was to investigate the photocatalytic antibacterial activity of TiO_2 sensitized with a D-π-A dye, called MK-2, on Gram-positive *Staphyloccocus aureus* and Gram-negative *Escherichia coli* under LED light irradiation. In this context, the antibacterial activity of MK-2 was investigated using the growth curve assay. A conceivable photocatalytic antibacterial mechanism for MK-2 under LED light irradiation was also proposed. Treatment of MK-2 with LED light inhibited the growth of *E. coli* and *S. aureus* at a rate of 62% and 89%, respectively. The probable mechanism showed that the photoexcited e^- on TiO_2 can react with the dissolved O_2 to generate $^{\bullet}O_2^-$, and a large amount of ROS can be generated to inactivate bacteria efficiently. This work demonsrates the efficacy of D-π-A sensitized TiO_2 as a photocatalytic antibacterial agent against pathogenic bacteria and paves makes the way for the exploration of photosensitizers as an alternative to antibiotic drugs.

Materials and Method

The synthesized MK-2 was weighed in certain amounts on a precision balance, added a certain volume of distilled water and sonicated in an ultrasonic bath until it was well dispersed. The antibacterial activity of MK-2 was investigated using the bacterial growth curve method. The bacterial strains were transferred from Mueller-Hinton Agar (MHA) petri plates to Tryptic Soy Broth (TBS) medium and grown in an incubator at 250 rpm and 37 °C overnight. The next day, the bacterial culture was diluted with TSB medium to the desired concentration and inoculated into 96-well plates. LED light (1.5 $W \cdot cm^{-2}$, λ>420nm) was used as the light source and the irradiation time was 10 minutes. The samples were incubated at 37 °C for 5 hours with shaking, and the optical density of bacterial growth was measured every hour at a wavelength of 600 nm (OD_{600nm}) on a microplate reader, and the antibacterial effect was calculated according to Equation 1.

$$\text{Antibacterial effect}(\%) = \left(\frac{\text{Control OD} - \text{Sample OD}}{\text{Control OD}}\right) \times 100 \quad (1)$$

A. *Figures and Tables*

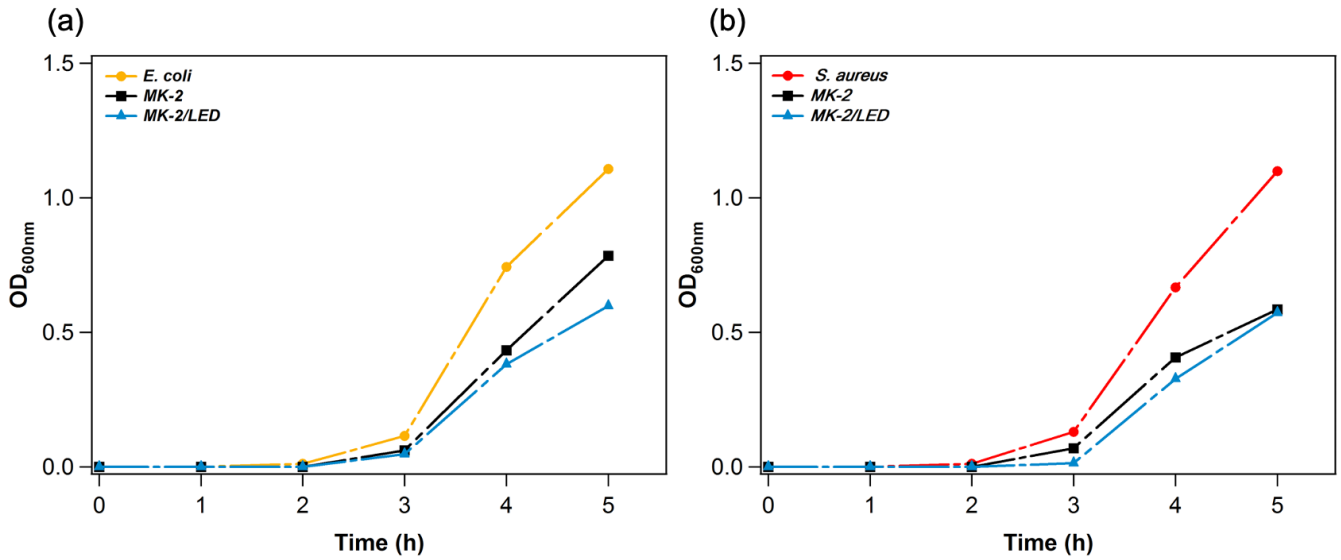


Fig. 1 The kinetic growth curves of (a) E. coli and (b) S. aureus in the presence of MK-2 in the dark and under LED light.

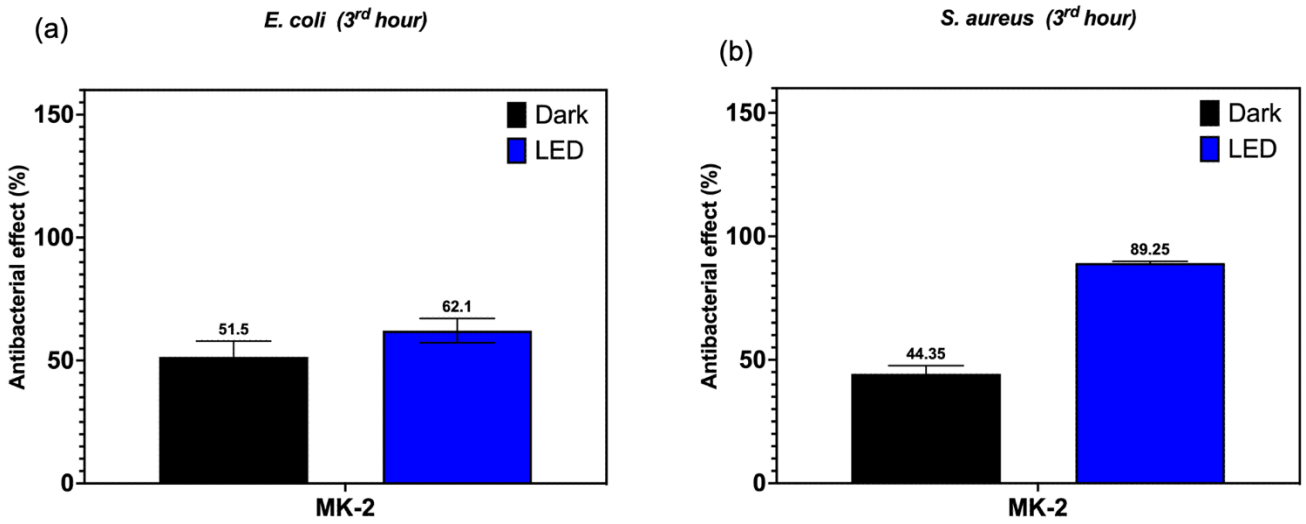


Fig. 2 The antibacterial activities of (a) E. coli and (b) S. aureus in the presence of MK-2 in the dark and under the LED light.

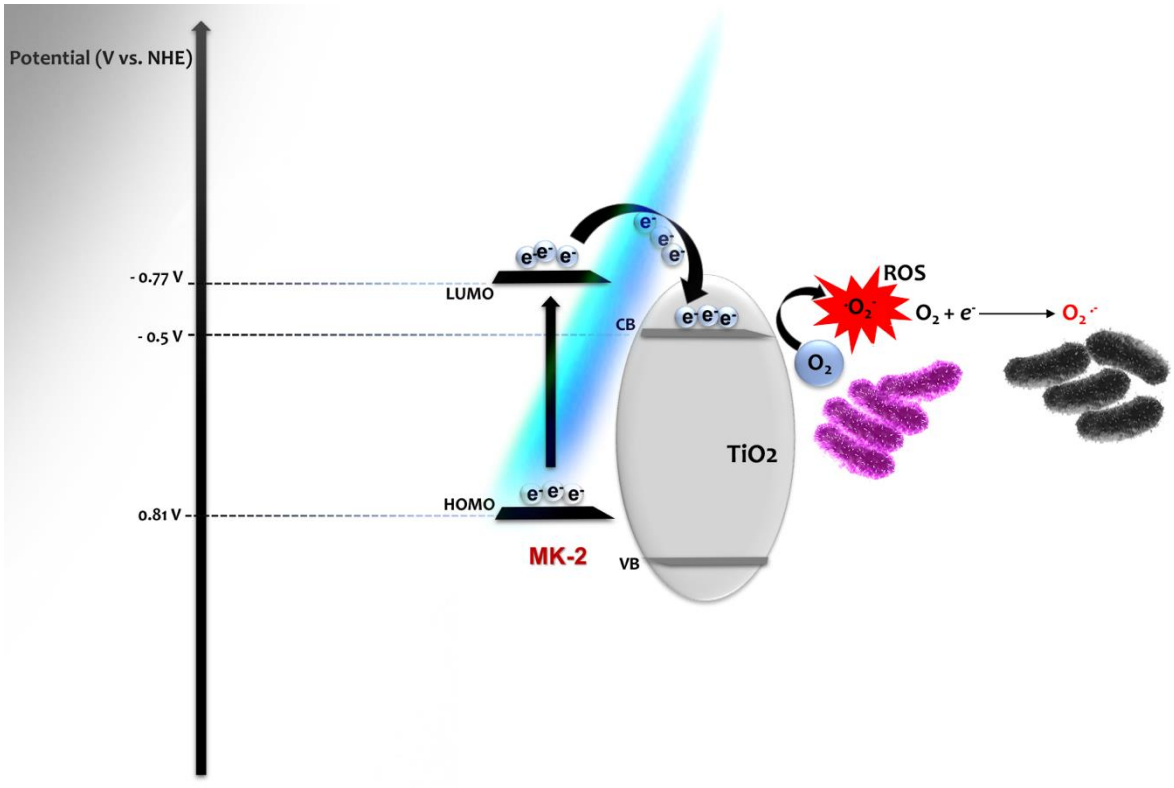


Fig. 3 The photocatalytic antibacterial mechanism of MK-2 under visible light.

II. Results

Figure 1a and 1b show the bacterial growth curve of *E. coli* and *S. aureus* after treatment with MK-2 under dark and LED light conditions. Normal growth was observed in the control groups of *E. coli* and *S. aureus*. However, in the presence of MK-2 under LED light irradiation, growth was inhibited. The corresponding antibacterial activity rates are shown in Figure 2. Accordingly, the antibacterial activity of MK-2 under dark conditions was 51% and 44% against *E. coli* and *S. aureus*, respectively. The increased antibacterial activity under LED illumination was 62% and 89% against *E. coli* and *S. aureus*, respectively. To show the role of ROS generation in MK-2 under light irradiation, the mechanistic studies was performed and shown schematically in Figure 3.

III. DISCUSSION

The antibacterial activity of MK-2 on Gram-negative *E. coli* in the dark was 51.5%, when irradiated under LED light, it was 62%. Besides, MK-2 in dark showed against Gram-positive *S. aureus* 44% antibacterial effect and the effect was increased to 89% under exposure of LED light irradiation. The antibacterial activity in dark environment could be due to the molecular interactions between TiO_2 and the target proteins in the bacterial cell membrane. A molecular docking study has shown that TiO_2 can serve as a potential inhibitor of bacterial enzymes, including DNA gyrase and dihydrofolate reductase [9]. In addition, nanomaterials with different forms could physically contact cell membranes and induce antimicrobial effects via cell membrane destruction. TiO_2 exhibits antibacterial activity through phagocytosis, which damages bacterial cells [10]. The enhanced photo-driven antibacterial activity under LED light irradiation was explained by a probable photocatalytic mechanism. In the photocatalytic antibacterial system based on the HOMO and LUMO energy levels, the role of ROS on the antibacterial activities of *S. aureus* and *E. coli* with LED light was elucidated, as shown in a conceivable mechanism in Fig. 3. The HOMO and LUMO energy levels of the MK-2 dye are reported as +0.81 V and -0.77 V, respectively. The electrochemical band gap of MK-2 was determined to be 1.58 by the difference between HOMO and LUMO. [11] When illuminated with light of suitable wavelengths, the light is absorbed by the dyes on TiO_2 and the photocatalytic reaction is triggered. The electrons in the HOMO levels are excited to the LUMO levels, which can lead to the formation of electron and hole pairs. The photoexcited electron is injected into TiO_2 because the CB of TiO_2 is more positive than the LUMO level of the dyes. [12] The photoexcited e^- on TiO_2 could react with the dissolved O_2 to generate $^{\bullet}O_2^-$, a precursor of strong oxidants, and a large amount of ROS can be generated to inactivate bacteria efficiently by promoting the utilization of light-induced charge carriers [13], which is due to the CB potential of TiO_2 (-0.5 V), which is more negative than the redox potential of $O_2/ {}^{\bullet}O_2^-$ (-0.33 V vs. NHE). [14]

Herein, the photocatalytic antibacterial activity of MK-2 on Gram-positive *S. aureus* was higher than Gram-negative *E. coli*, which is due to the different of membrane structures of Gram-negative and Gram-positive bacteria. Gram-positive bacteria have a simpler membrane structure consisting of a thick peptidoglycan layer and a cytoplasmic membrane. Gram-negative bacteria, on the other hand, have a complex structure consisting of a thin peptidoglycan layer, a cytoplasmic membrane and an outer membrane. This complexity of Gram-negative cell membrane may contribute to the increased resistance of Gram-negative bacteria to antimicrobial agents [15, 16].

IV. CONCLUSION

In summary, the antibacterial effect of MK-2 dye-sensitized TiO_2 was successfully demonsrated under LED light against both Gram-negative *E. coli* and Gram-positive *S. aureus*. The valuable antibacterial activity indicates the potential of D-π-A dye-based photocatalysts as alternative antimicrobial photocatalytic materials. The proposed photocatalytic mechanism indicates that the photoexcited e^- on TiO_2 could react with the dissolved O_2 to generate $^{\bullet}O_2^-$, which could efficiently inactivate bacteria by promoting the utilization of light-induced charge carriers. Overall, MK-2-sensitized TiO_2 represents a promising, non-toxic and light-driven approach to combat pathogenic bacteria and could pave the way for future use in photocatalytic antibacterial applications.

ACKNOWLEDGMENT

The author would like to thank Selçuk University.

REFERENCES

[1] Ghosh R, De M. (2023). Liposome-Based Antibacterial Delivery: An Emergent Approach to Combat Bacterial Infections. ACS omega. 8:35442-51.

[2] Cattoir V, Felden B. (2019) Future antibacterial strategies: from basic concepts to clinical challenges. The Journal of Infectious Diseases. 220:350-60.
[3] Zhou Z, Li B, Liu X, Li Z, Zhu S, & Liang Y. (2021). Recent progress in photocatalytic antibacterial. ACS applied bio materials. 4:3909-36.
[4] Ohko Y, Tatsuma T, Fujii T, Naoi K, Niwa C, & Kubota Y. (2003). Multicolour photochromism of TiO2 films loaded with silver nanoparticles. Nature Materials. 2:29-31.
[5] Yadav HM, Kim J-S, & Pawar SH. (2016). Developments in photocatalytic antibacterial activity of nano TiO 2: A review. Korean Journal of Chemical Engineering. 33:1989-98.
[6] Choi SK, Yang HS, Kim JH, & Park H. (2012) Organic dye-sensitized TiO2 as a versatile photocatalyst for solar hydrogen and environmental remediation. Applied Catalysis B: Environmental. 121:206-13.
[7] Park Y, Lee S-H, Kang SO, & Choi W. (2010) Organic dye-sensitized TiO 2 for the redox conversion of water pollutants under visible light. Chemical Communications. 46:2477-9.
[8] Yu Z, Li F, & Sun L. (2015). Recent advances in dye-sensitized photoelectrochemical cells for solar hydrogen production based on molecular components. Energy & Environmental Science. 8:760-75.
[9] Ikram M, Hassan J, Raza A, Haider A, Naz S, & Ul-Hamid A. (2020). Photocatalytic and bactericidal properties and molecular docking analysis of TiO 2 nanoparticles conjugated with Zr for environmental remediation. RSC advances. 10:30007-24.
[10] Kim E-J, Choi M, Park HY, Hwang JY, Kim H-E, & Hong SW. (2019). Thorn-like TiO2 nanoarrays with broad spectrum antimicrobial activity through physical puncture and photocatalytic action. Scientific reports. 9:13697.
[11] Aslan E, Karaman M, Yanalak G, Bilgili H, Can M, & Ozel F. (2020). Synthesis of novel tetrazine based D-π-A organic dyes for photoelectrochemical and photocatalytic hydrogen evolution. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. 390:112301.
[12] Li K, Huang Z, Zeng X, Huang B, Gao S, & Lu J. (2017). Synergetic effect of Ti3+ and oxygen doping on enhancing photoelectrochemical and photocatalytic properties of TiO2/g-C3N4 heterojunctions. ACS applied materials & interfaces. 9:11577-86.
[13] An T, Zhao H, & Wong PK. (2017). Advances in photocatalytic disinfection: Springer.
[14] Liu W, Li Y, Liu F, Jiang W, Zhang D, & Liang J. (2019). Visible-light-driven photocatalytic degradation of diclofenac by carbon quantum dots modified porous g-C3N4: Mechanisms, degradation pathway and DFT calculation. Water research. 151:8-19.
[15] Genç MT, Sarilmaz A, Dogan S, Çekceoğlu İA, Ozen A, Aslan E, Okan BS, Jaafar J, Ozel F, Ersoz M, & Patir IH. (2023). Thermally-exfoliated graphene Oxide/ZnO nanocomposite catalysts for photocatalytic hydrogen evolution and antibacterial activities. International Journal of Hydrogen Energy. 48:30407-19.
[16] Özcan T, Çekceoğlu İA, Al-Khafaji K, Öner E, Yüzer AC, Yalın S, Aslan E, Ince M, & Patir IH. (2023). Superior photo-induced antibacterial/antibiofilm activities of ZnPcs/TiO 2 and computational simulation studies. Journal of Materials Chemistry B. 11:6361-71.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

EFFECT OF CUTTING SPEED ON THE MACHINING PERFORMANCE OF PLASTIC MOLD STEEL (1.2312)

Javidan Rashidli[1] and Rüstem Binali[1]

[1] *Selçuk University, Faculty of Technology Engineering Department, Turkey*

**(rustem.binali@selcuk.edu.tr)*

Abstract – In this study, the effect of cutting speed on the machining performance of DIN 1.2312 plastic mold steel was investigated under dry cutting conditions. Machining experiments were conducted on a conventional lathe using a CCMT-09T308-308 cemented carbide insert. Roughness and force were evaluated as the primary machinability indicators. Throughout the experiments, the feed was kept constant at 0.1 mm/rev, the depth of cut was kept at 0.2 mm, and the speed was varied at five different levels: 40-50-65-100 and 135 m/min. Roughness measurements were carried out using a roughness tester, and the forces were recorded with a dynamometer. The results revealed that increasing the speed led to a significant decrease in roughness. The highest roughness value was obtained at the lowest speed of 40 m/min, while the lowest roughness value was recorded at the highest speed of 135 m/min. In contrast, the force behavior exhibited a peak at the medium speed of 65 m/min, after which the forces decreased with further increase in speed. Based on the experimental findings, it was concluded that operating at speeds between 100 and 135 m/min in dry environments provides an optimum balance between achieving superior machined surface quality and maintaining reasonable forces in the machining of DIN 1.2312 mould steel.

Keywords – DIN 1.2312 steel, mold steel, cutting speed, turning, machinability.

I. INTRODUCTION

The increasing demand for high machined surface quality and precision in parts produced in today's manufacturing industry has made the selection of appropriate materials and the optimization of cutting parameters more critical than ever [1-3]. Among the various material options, mold steels stand out due to their superior strength, wear resistance and suitable machinability [1]. DIN 1.2312 plastic mold steel, as reported by [4], is an improved version of DIN 1.2311 and contains additional sulfur to improve machinability without significantly reducing mechanical strength. The sulfur addition, which usually ranges from 0.05% to 0.10%, improves chip breakability and provides better machined surface finish during cutting operations. Additionally, the chromium content of 1.2312 steel provides good polishability and moderate corrosion resistance, which are essential properties for mold making applications where both durability and surface aesthetics are required [4]. These features make DIN 1.2312 particularly attractive for plastic injection mold production. Machining performance is largely determined by the cutting parameters, among which the cutting speed plays a dominant role [5]. Cutting speed not only affects the metal removal rate, but also affects the surface quality, cutting forces, tool wear and heat generation during machining processes [5].

Previous studies have shown that increasing the cutting speed generally leads to improved surface quality by minimizing built-up edge formation and promoting smoother chip flow [5]. However, [6] emphasized that beyond a certain critical cutting speed, excessive thermal loads can result in rapid tool wear and surface degradation, especially in machining hard-to-cut materials like Inconel 718. Similarly,

[4] demonstrated through experimental research that inappropriate selection of cutting speed when machining DIN 1.2312 steel results in elevated specific cutting forces and deteriorated surface integrity. Therefore, it is essential to optimize the cutting speed to achieve an effective balance between machining efficiency, tool life and surface quality [1]. In line with these findings, the goal of the present study is to investigate the effects of different cutting speeds on the cutting performance of DIN 1.2312 steel under dry machining conditions, particularly focusing on roughness and force as key evaluation parameters.

II. Materials and Method

A. Cutting Tool and Workpiece Materials

In this study, DIN 1.2312 mold steel was selected as the material. The machined part was 500 mm long and 300 mm of it was machined. The material was selected due to its excellent wear resistance, high strength and good polishability, which made it quite suitable for plastic injection mold manufacturing. CCMT-09T308-308 insert was used as the tool throughout the experiments. The carbide insert was selected due to its wear resistance, high hardness and thermal stability under dry environments. The insert was mounted on a suitable tool holder to ensure the rigidity and consistency of the machining process in all tests.

All cutting operations are carried out under dry environments. No lubrication or coolant was used in the course of the tests to safely observe the effect of speed on cutting performance without the intervention of cooling options. Dry environments is also aimed to present a real-world industrial simulation where minimum activity and cost structure are made visible.

B. Machine Tool and Experiments

Cutting experiments were carried out on a conventional lathe. During the experiments, the feed and cutting depth were kept constant to ensure that only the effect of speed was evaluated. The feed was fixed at 0.1 mm/rev and the cutting depth was set at 0.2 mm throughout all machining operations. The cutting speed (Vc) was varied at five different levels: 40 m/min, 50 m/min, 65 m/min, 100 m/min, and 135 m/min. These values were selected to cover a wide range of cutting conditions from low to high speed. Each cutting condition was repeated three times to ensure repeatability and reliability of the experimental results. Roughness and force measurements were made after each machining process.

C. Sensors

Roughness measurements were performed using a roughness tester immediately after each machining process. Forces in the course of machining were recorded using a dynamometer placed under the fixture setup.

The use of these measuring instruments enabled precise evaluation of how the cutting speed affects surface quality and mechanical loads in the course of the cutting of DIN 1.2312 mold steel.

III. RESULTS

In this study, we systematically focused the effects of different speeds on the cutting performance of workpiece, a mold steel, in a dry cutting environment without using any lubrication or coolant. It was evaluated by observing how the cutting speed would affect the roughness and force values. The change of surface roughness (Ra) with respect to the cutting rate is given in Figure 1. The highest surface roughness value was observed at the lowest cutting speed (40 m/min) and reached approximately (1,124 μm). When we increased the cutting speed a little more, that is, when we reached the level of 65 m/min, we experienced a noticeable improvement in the roughness of the surface. The surface roughness value decreased to 0.903 μm, which showed that the workpiece became much smoother. But the real big difference emerged when we increased the cutting speed to higher levels such as 100 m/min and 135 m/min. At these speeds, the surface roughness literally rose and the values reduced to very low levels of 0.427 μm and 0.418 μm, respectively.

These results clearly tell us the following: As we increase the cutting speed, the surface becomes even more beautiful, almost silky smooth. In other words, thanks to higher speeds, we not only speed up our work, but also produce a much higher quality and stylish product. The reduction of surface roughness provides a great advantage in terms of both aesthetics and functionality. Getting the cutting speed right works like a magic touch.

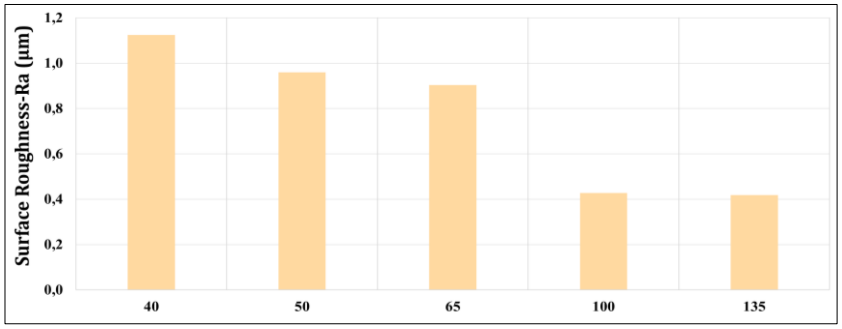


Fig 1. Graph showing Surface Roughness at Different Cutting Speeds

Figure 2 shows the variation of cutting force with cutting speed. At a cutting speed of 40 m/min, the cutting force was measured as 32 N. When the cutting speed increased to 50 m/min, the cutting force slightly decreased to 29 N. However, a sharp increase was observed at 65 m/min, where the cutting force peaked at 71 N. After reaching this maximum value, the cutting forces decreased again at higher speeds, recording 57 N at 100 m/min and 51 N at 135 m/min.

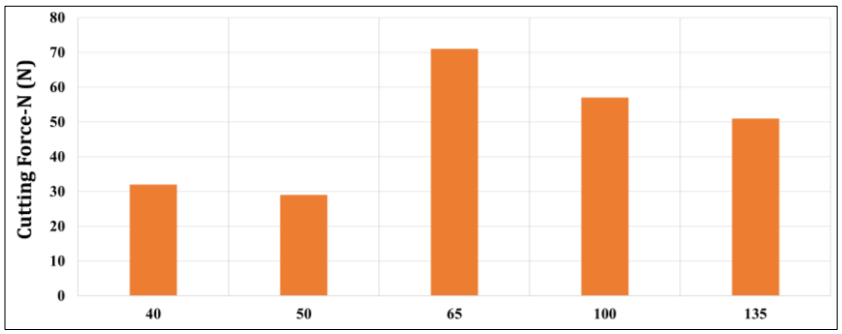


Fig 2. Graph showing Cutting Force at different cutting speeds

This trend suggests that while moderate cutting speeds (around 65 m/min) lead to an increase in cutting force due to material deformation resistance, further increases in cutting speed reduce the mechanical load on the tool, likely due to thermal softening effects and improved chip flow dynamics. Overall, it was determined that higher cutting speeds improve the surface quality while reducing the cutting forces after a certain threshold, highlighting the importance of selecting optimal cutting parameters for achieving better machining performance of DIN 1.2312 plastic mold steel.

IV. DISCUSSION

As a result of our experiments by machining DIN (1.2312) plastic mold steel material, it was clearly seen that cutting speed plays an important role on surface roughness and cutting forces. When we increased the cutting speed, an improvement in surface quality was observed. This improvement has been seen because of more stable chip evacuation, which has led to reduced chip formation at the cutting edge and smooth surfaces, which usually occurs at higher cutting speeds. When machining with cutting speeds as low as (40 m/min), it was observed that the interaction between the cutting tool and the DIN (1.2312) plastic mold steel material was less favourable. This gave us a comparison of the time of our experimental

study with higher surface roughness values. This can be explained by the consequences of increased friction on the tool edge and material adhesions when machining at lower speeds. This causes it to adversely affect the integrity of the surface. When other side effects are considered at low machining speeds, it causes more brittle chip formation due to insufficient thermal smoothing. This, in turn, leads to micro-tears and surface irregularities. On the other hand, when the machining time was increased to cutting speed (100 m/min) and (135 m/min), the surface roughness values were significantly reduced. At these high speeds, the machining time was observed to increase the temperature in the cutting zone, causing the workpiece material to soften. This machining parameter has been shown to result in an easier material cutting process, better chip formation and a smoother surface finish without causing excessive thermal damage. When the cutting force parameters were examined, it was observed that the cutting force reached its peak when it was processed with a cutting speed of 65 m/min. The reason for this is that the material deformation resistance is higher due to the transition phase between brittle and ductile chip formation, which adheres to the cutting edge of the insert at medium cutting speeds. At these speeds, the machining time insert is subjected to greater mechanical load due to the increased energy consumption required to cut the material. When machining plastic mold steel DIN (1.2312) under dry cutting conditions, we observed a significant decrease in cutting forces when the cutting speed was increased to 100 m/min and 135 m/min. The main reason for this decrease is the thermal softening that occurs in the workpiece with increasing cutting speed. In other words, the shear strength of the material decreases under the effect of temperature, which significantly reduces the mechanical resistance encountered by the cutting tool. In addition, when working at higher speeds, the chip removal process becomes much more efficient and naturally the cutting forces also decrease. These results are also quite consistent with the trends previously reported in the literature on chip removal processes of difficult-to-machine materials. Because choosing the right cutting speed range in such materials is of great importance in terms of establishing a balance between critical factors such as surface quality, cutting forces and tool wear. When we look at DIN (1.2312) plastic mold steel, it is clear that working at cutting speeds above 65 m/min and most of all in the range of 100–135 m/min provides significant advantages. Both better results in terms of surface quality are achieved and cutting forces are significantly reduced. Choosing this speed range in dry cutting operations seems like a smart strategy to increase process efficiency and tool life.

V. CONCLUSION

After our experiments, it was seen from the results that the cutting speed has a significant effect on the surface quality and cutting forces. When we increased the cutting speed, deterioration in surface quality was detected. The highest roughness value was achieved with a low cutting speed (40 m/min), while the best surface result value was achieved at the highest cutting speed (135 m/min). This improvement in surface quality, which we observe when we reach higher cutting speeds while machining DIN (1.2312) material, is attributed to more regular chip formation and less chip accumulation on the cutting edge of the tool. On the other hand, when the other results were examined, it was observed that the shear force behavior showed a different tendency. When we process parts with a cutting speed of (65 m/min), the highest cutting force value is observed due to the increased wear resistance in the material. In addition, it has been concluded that when we increase the cutting speed while processing the material, there is a decrease in cutting forces. It was concluded that the factor causing this decrease was most likely due to the thermal softening of the workpiece material due to high temperatures and the good chip evacuation when machining materials at high speeds. In general, as a result of the experimental study, it was concluded that high cutting speeds positively affect both surface quality and cutting forces. It was concluded that the cutting speeds of DIN (1.2312) steel in the range of 100-135 m/min, even without the use of any lubricants and coolants, provide a good balance between achieving low surface roughness and maintaining reasonable cutting forces. Investigating the effects of cutting speed in relation to other factors such as feed rate and depth of cut, further improving machinability and tool performance, experimenting with advanced lubrication techniques such as Minimum Quantity Lubrication (MQL) can achieve even better results and is recommended to work on this.

ACKNOWLEDGMENT

This study was based on Javidan Rashidli's Master's Thesis.

REFERENCES

[1]. Akkurt, M., Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları. 2004: Birsen Yayınevi.
[2]. Binali, R., Experimental and machine learning comparison for measurement the machinability of nickel based alloy in pursuit of sustainability. Measurement, 2024. 236: p. 115142.
[3]. Kuntoğlu, M., K. Kaya, and R. Binali. Investigation of surface roughness changes in the machining of carbon steel under sustainable conditions. in Int. Conf. Pioneer Innov. Stud. 2023.
[4]. Yaşar, N., Plastik kalıp çeliklerinin özgül kesme direncinin deneysel olarak araştırılması. 2011, Fen Bilimleri Enstitüsü.
[5]. Bayrak, M., Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ve uzman sistemle karşılaştırılması. 2002, Yüksek lisans tezi, GÜ Makine Mühendisliği bölümü, Ankara.
[6]. Altin, A., H. Gökkaya, and M. Nalbant, İşleme parametrelerinden kesme hızının Inconel 718 süper alaşımının işlenebilirliğine etkisi. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2006. 21(3).

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Supercapacitors and their mechanisms

Murat Ates[1,2,*]

[1]*Department of Chemistry/Faculty of Arts and Sciences, Tekirdag Namik Kemal University, Turkiye*
[2]*Nanochem Polymer Energy Company, Silahtaraga Mah., Üniversite 1. Cadde, Numara: 13/1 Z242/1, Tekirdağ, Türkiye*

[*]*(mates@nku.edu.tr) Email of the corresponding author*

Abstract **–** Supercapacitors (SCs) are a new type energy storage device because of their fast charge-discharge capability, long cycle life and high power density. In this study, both electrochemical double layer capacitance (EDLC) and pseudocapacitance (PCs) mechanisms were detailly investigated to understand the effect of electrochemical performances of SCs. Hybrid supercapacitors are a new type of mechanism to solve obtaining a higher energy density and long term stability. As an example, rGO, Fe_2O_3, PEDOT and active carbon (AC) were mixed as a blend for SC electrode material.

Keywords – Supercapacitors, pseudocapacitance, EDLC, hybrid supercapacitors, power density.

I. INTRODUCTION

Supercapacitors (SCs) are used as an energy storage systems. In other words, they are a pulse current system and specific power (10.000 W/kg) fractions for periods of less than 1 min. The first patent related to supercapacitor was taken in 1957. In the 1990s, supercapacitor technology was not as popular as it is today. Nowadays, the aim is to rise electrochemical performance with increasing of supercapacitor usage. To overcome this target, various types of supercapacitors are used to meet the power demand for recovering starting and braking energy. Additionally, SCs are used to backup power against power outages and also for many energy storage applications [1, 2].

Pseudocapacitors (PCs) store charge electrostatically. Moreover, Faradaic charge flow occurs between positive and negative electrodes. They have higher specific capacitance and high energy density than EDLC system [3]. The PC mechanism occurs by charge transfer between the electrode and the electrolyte. Electrosorption is achieved through oxidation-reduction reaction. Conducting polymers and metal oxides have the following reactions that is a redox reaction and an ion adsorption reaction, respectively. EDLC can store charge electrostatically. There is no charge transfer between the electrode and electrolyte. The energy storage princible used by EDLCs is the electrode surfaces causes the attraction of opposite poles due to the potential difference.

II. MATERIALS AND METHOD

Graphite (99%), ethanol (≥99%), iron (II) chloride tetrahydrate, EDOT (99%), iron (III) chloride hexahydrate, ammonium hydroxide (NH_4OH), sulfuric acid (H_2SO_4, 96%), potassium permanganate ($KMnO_4$, ≥99%), ammonium persulfate (APS, 98.5%), hydrogen peroxide (H_2O_2, 30%), methanol (≥99%), acetylene black were supplied from Sigma-Aldrich. Stainless steel (Trinity Brand Ind., USA), separator (Celgard, 3501, Nanography) and insulating tape (Kapton tape, Bertech) were used fabrication of SC device.

Electrochemical measurements (CV, GCD, EIS and stability) measurements were carried out with the IVIUMSTAT model potentiostat/galvanostat (software iviumsoft) device. In different stages, ultrasonic bath (Elma E3OH, Elmasonic), deionized water machine (purelab option-Q, Elga CV25), vacuum oven (QITEK QV055), press machine (MTI corporation, YLJ-24T), microwave oven (Bosh, HMT845421) and magnetic stirrer (Wisestir, MSH 20D) were used.

A. Synthesis of GO

The synthesis of GO was carried out using the modified Hummers method. Graphite powder (3 g) was added to 70 ml of 3 M H_2SO_4 electrolyte solution in the ice bath and mixed for 4 h. Potassium permanganate (9 g, $KMnO_4$) was added to the mixture and the mixture was mixed at a constant rate. Stirring was continued in the ice-bath for 4 h to avoid any risk of sudden explosion during the reaction. After 4 h, the temperature was brought to 35 ^oC and 150 ml of DI water was added. It was mixed for another 30 min. Then, the temperature was slowly increased to 97 ^oC, and after it was increased, it was mixed in the mixer to cool down again and bring the temperature to room temperature. 10 ml, 30% H_2O_2 was added to the mixture that had come to room temperature. At the end of the reaction, centrifugation was performed for 10 min. and 10.000 rpm. The precipitate and liquid formed as a result of centrifugation were separated. The solid part was washed again with DI water and centrifuged again. Filtration was carried out with a Gooch crucible and 10 ml of 1 M HCl was added to the suspended mixture to remove impurities and washed by mixing. The product was washed with 5% NH_3, 5% methyl alcohol, 5% ethyl alcohol and DI water, respectively. It was dried in the oven at 70 ^oC [4].

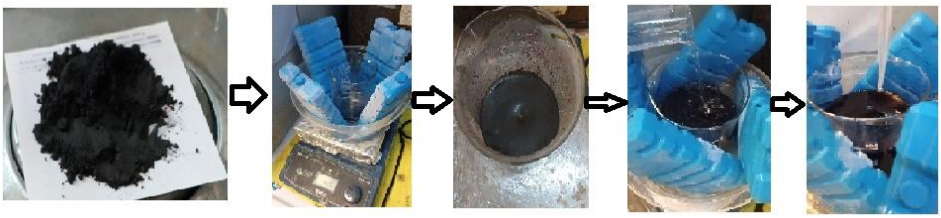


Fig. 1 Synthesis procedure of GO

B. Synthesis of reduced graphene oxide (rGO)

The synthesized GO material was obtained by microwave-irradiation method at 180 W and 10 min. [5].



Fig. 2 The synthesized rGO

C. Synthesis of PEDOT

20 ml of DI water was added into a 250 ml beaker and 30 mg of PVP was weighted and allowed to disperse in the ultrasonication device for 30 min. EDOT monomer (60 µl) and 60 ml of naphthalate-1,5-disulfonic acid tetrahydrate, which are necessary to start the polymerization process. They are added into the beaker and mixed for 30 min. When the mixture was finished, 500 mg of ammonium persulfate (APS) was added to the beaker and the polymerization was carried out at room temperature after 15 h. As a result, PEDOT was obtained as a solid form. It was obtained as a result of drying under vacuum at 60 ^{o}C for 12 h [6].



Fig. 3 The synthesis procedure of PEDOT

D. Synthesis of Fe_2O_3

$FeCl_3 \times 6H_2O$ (10 g) was dissolved in DI water (150 ml) at room temperature. NH_4OH was added dropwise with pH=1.0. It was stirred continuously at room temperature for 1 h and then heated to evaporation at 80 ^{o}C for 2 h to obtain a brown product. The product was cooled to room temperature and finally calcined at 500 ^{o}C for 4 h. Initially, no washing and purification was done for all components [7].

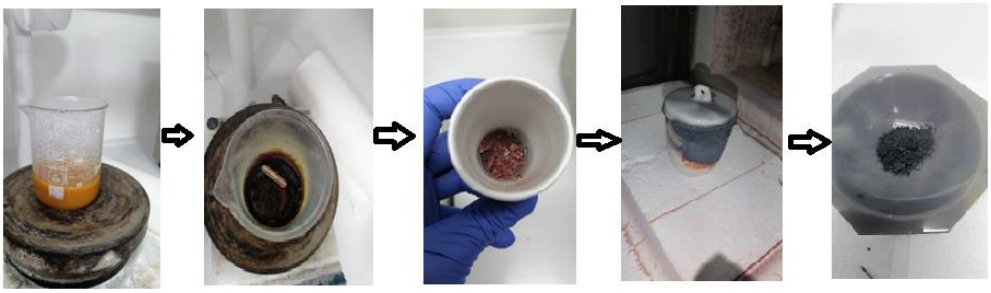


Fig. 4 The synthesis procedure of Fe_2O_3 nanoparticules

E. Synthesis of Activated carbon (AC)

Hazelnut shells were crushed and washed with DI water and 0.3 M HCl to remove dirt adhering to the surface. It was kept in 0.1 M NaOH solution for 24 h to remove the lignin it contained. To maintain pH balance, it was kept in 0.1 M acetic acid for 2 h and then washed with DI water. It was then kept at 105 ^{o}C for 72 h, allowing complete moisture removal. The synthesized AC was left to cool in a desiccator at room temperature. The cooled ACs were kept in 1 M NaOH to neutralize them. Afterwards, it was washed thoroughly with acid and DI water. After washing, in the oven at 105 ^{o}C, it was kept for 24 h [8].

F. *Synthesis of rGO/Fe_2O_3/PEDOT/AC electrode*

Reduced graphene oxide (GO, 30 mg), poly(3,4-ethylenedioxythiophene (PEDOT, 15 mg), activated carbon (AC, 30 mg), polyvinylpyrrolidone (PVP, 15 mg, binder), Fe_2O_3 (5 mg) and acethylene black (5 mg for increasing electrical conductivity) were collected in a mortar and 1-2 drops of *N*-methyl-2-pyrrolidone was added to form a slurry form. It was painted on stainless steel (SS, 5×2 cm^2) electrode using Dr. Blade method. It was dried in an oven at 60 ^oC for 2-4 h, and the empty and fully electrodes were weighted to measure active electrode weights. A micro-pipette was added to each of the anode and cathode compartments where a 3501 Celgard membrane was placed and 20 µl of 1 M H_2SO_4 electrolyte solution. A SC device was covered the outer part with Kapton tape insulating tape.

G. *Fabrication of Supercapacitor device*

It was fabricated according to Fig.5.

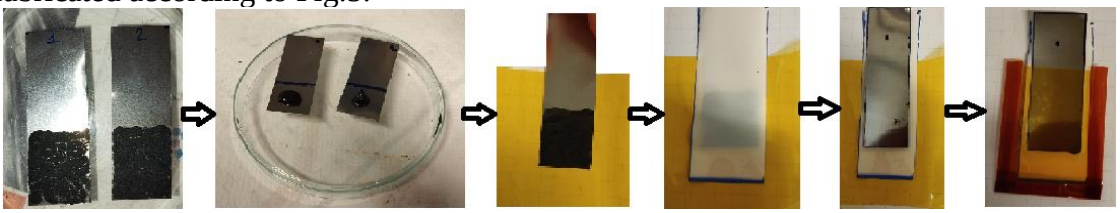


Fig. 5 Fabrication of SC device

III. RESULTS & DISCUSSION

CV method

CV plots of rGO/Fe_2O_3/PEDOT/AC are given in Fig.6.

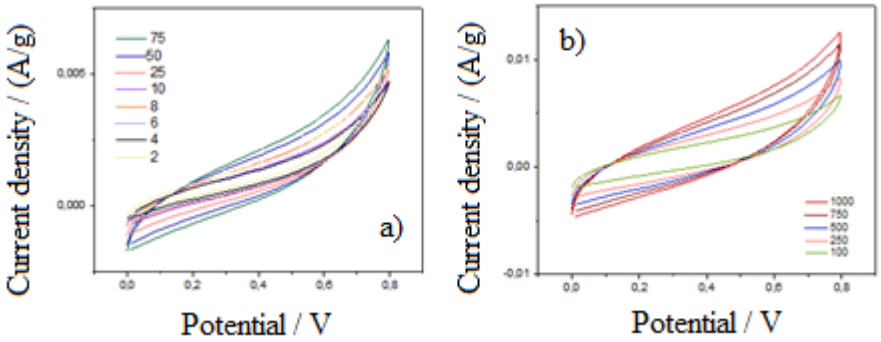


Fig. 6 CV plots of rGO/Fe_2O_3/PEDOT/AC electrode, a) scan rates from 2 mV/s to 75 mV/s, b) scan rates from 100 mV/s to 1000 mV/s.

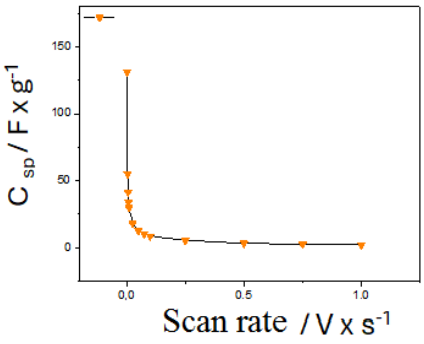


Fig. 7 Specific capacitance plot of rGO/Fe_2O_3/PEDOT/AC at different scan rates

The highest specific capacitance of rGO/Fe_2O_3/PEDOT/AC material was obtained as C_{sp}= 131.05 F/g at a scan rate of 2 mV/s.

GCD Analysis

GCD measurements of rGO/Fe_2O_3/PEDOT/AC materials were carried out in 1 M H_2SO_4 electrolyte solution at a constant current density of (0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0 and 10.0 A/g) (Fig.8). The highest specific capacitance was obtained as C_{sp}=1.29 F/g at 0.1 A/g.

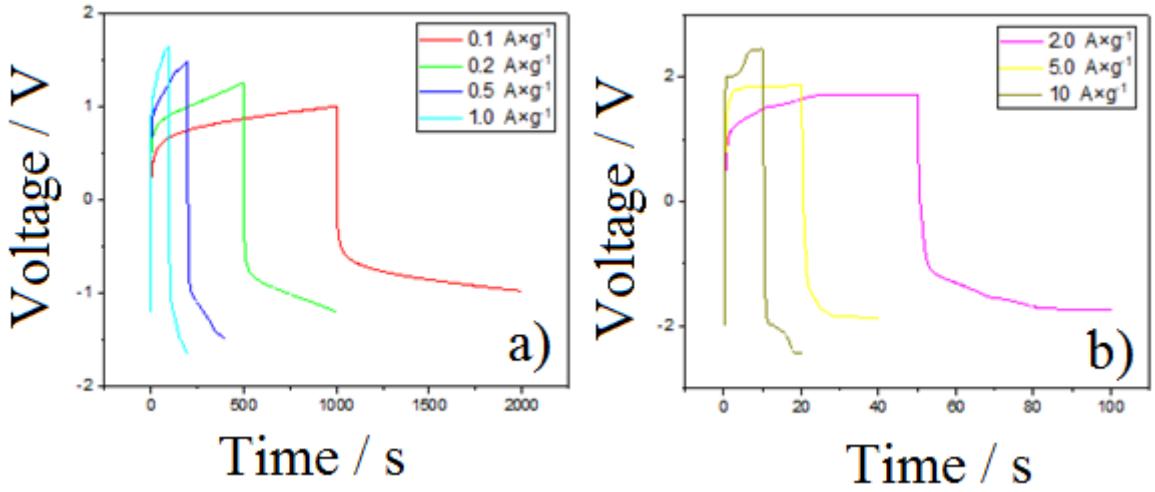


Fig. 8 GCD plots of rGO/Fe_2O_3/PEDOT/AC electrode at different current densities, a) from 0.1 A/g to 1.0 A/g, b) from 2.0 A/g to 10.0 A/g

EIS Analysis

rGO/Fe_2O_3/PEDOT/AC materials were exanined by taking Nyquist, Bode-magnitude, Bode-phase and Admittance plots at 10 mV potential amplitude in the frequency range of 10 mHz to 100 kHz (Fig.9). The highest specific capacitance was obtained as C_{sp}=0.0182 F/g from Nyquist plot (Fig.9a). The highest double layer capacitance was obtained as C_{dl}= 0.000369 F/g from Bode-magnitude plot (Fig.9b). The highest phase angle was measured as θ=81.9º at 1.6 Hz from Bode-phase plot (Fig.9c). The highest conductivity was obtained as Y''=0.51 S (Y'=0.42 S) from Admittance plot (Fig.9d).

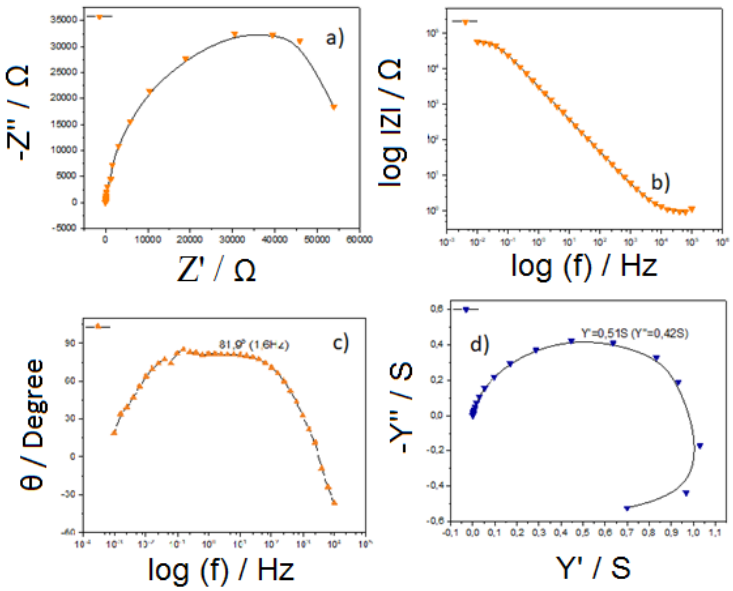


Fig. 9 EIS plots of rGO/Fe_2O_3/PEDOT/AC electrode, a) Nyquist plot, b) Bode-magnitude plot, c) Bode-phase plot, d) Admittance plot

Stability Analysis

The stability test of rGO/Fe_2O_3/PEDOT/AC material was carried out in 1000 cycles at 100 mV/s using CV method (Fig.10). It was observed that rGO/Fe_2O_3/PEDOT/AC material retained 93.3% of its initial capacitance after 1000 charge-discharge measurements.

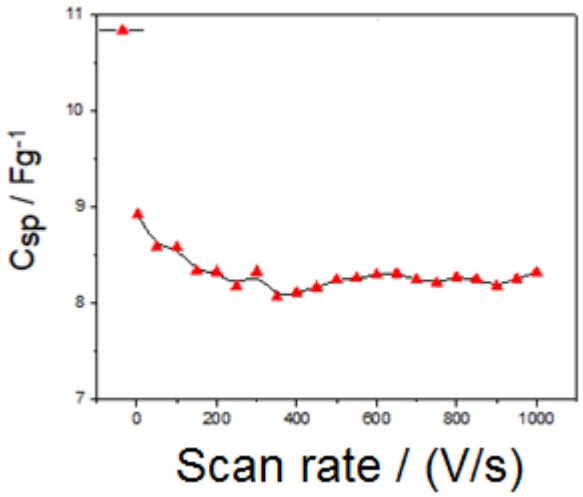


Fig. 10 Long-term stability plot of rGO/Fe_2O_3/PEDOT/AC electrode,

IV. CONCLUSION

In this study, hybrid SC mechanism was evaluated for rGO/Fe_2O_3/PEDOT/AC material. The highest specific capacitance was calculated as C_{sp}=131.05 F/g at 2 mV/s by CV method. GCD and EIS measurements were supported by CV results. It is a good performance for long-term stability test results (93.3% of its initial capacitance after 1000 cycles). As a result, rGO/Fe_2O_3/PEDOT/AC material may be used for SC electrode material for energy storage systems.

ACKNOWLEDGMENT

A part of the study was published as a mastery thesis at TNKU by my student Minnet Sever, and I thank very much. I would also like to Fatih Nacak, Efkan Gul and Ozan Yoruk for their support during the study.

REFERENCES

[1] Miankushki, H.N., Sedhi, A., & Baghshahi, S. (2018). Comparision of copper compounds on copper foil as current collector for fabrication of graphene/polypyrrole electrode. Journal of Energy Storage, 19, 201-212.

[2] Youn, H.C., Bak, S.M., Kim, M.S., Jaye, C., Fischer, K.C., Lee, C.W., Yang, X.Q., Roh, K.C., & Kim, K.B. (2015). High surface area nitrogen doped reduced graphene oxide for electric double layer capacitors. ChemSusChem, 8, 1875.

[3] Kim, E., Kim, S., Jin H.M., Kim, G., Ha, H.H., Choi, Y., Min, K., Cho, S.H., Han, H., Ahn, C.W., Roh, J., Oh, I., Lee, J., & Lee, Y. (2025). Unlocking novel functionality: pseudocapacitive sensing in MXene-based flexibility supercapacitors. Nano-Micro Letters, 17(1), Article number:86.

[4] Ates, M. & Ozten, E. (2017). The comparison of capacitor behaviours of polymethylcarbazole and polymethylcarbazole/graphene. J. Alloys Compds., 714, 433-442.

[5] Ates, M., Yildirim, M., Kuzgun, O., Ozkan, H. (2019). The synthesis of rGO, rGO/RuO_2 and rGO/RuO_2/PVK nanocomposites and their supercapacitors. J. Alloys Compds., 787, 851-864.

[6] Chen, J., Jai, C., Wan, Z. (2014). Novel hybrid nanocomposite based on poly(3,4-ethylenedioxythiophene)/multiwalled carbon nanotubes / graphene as electrode material for supercapacitor. Synth. Met., 189, 69-76.

[7] Farahmandjou, M., Saflaee, F. (2015). Synthesis and characterization of α-Fe_2O_3 nanoparticles by simple co-precipitation method. Physical Chemistry Research, 3(3), 191-196.

[8] Chemwafambira, A., Mkungunugwa, T., Manhakwe, S., Shumba, M. (2021). Synthesis and characterization of activated carbon obtained from marula (Sclenocarya birrea) Nutshell. Journal Chemistry, 2021, Article number: 5552224.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Yüksek Kalitede Proses Buharı Üreten Buhar Kazanı Sisteminin Termoekonomik ve Çevresel Analizi

Emre Bilmem, Erdem ÇİFTÇİ*

Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Türkiye

**(erdemciftci@gazi.edu.tr)*

Özet **–** Bu çalışmada endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan bir buhar kazanı sisteminin enerji, ekserji, ekonomik ve çevresel performansları analiz edilmiştir. 6 ton/saat buhar üretim kapasitesine sahip, 8 bar basınçta ve 175°C sıcaklıkta çalışan sistem için doğalgaz ve motorin yakıt alternatifleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Termodinamik analiz sonuçlarına göre, sistemin enerji verimi %90 olarak hesaplanırken; ekserji verimi doğalgaz kullanımı durumunda %29,7; motorin kullanımında ise %29,1 olarak belirlenmiştir. Ekonomik analizde, doğalgazla çalışan sistemin yıllık yakıt maliyeti yaklaşık 1.199.260 $ iken, motorinle çalışan sistemin yıllık maliyeti 3.828.185 $ düzeyindedir. Yirmi yıllık toplam maliyet hesaplamaları doğrultusunda doğalgazlı sistemin yaklaşık 10 milyon $, motorinle çalışan sistemin ise 34,5 milyon $ maliyet oluşturduğu görülmüştür. Çevresel performans açısından ise yıllık karbon emisyonu doğalgaz için 6394 ton, motorin için 8397 ton olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular, doğalgazın hem ekonomik açıdan daha avantajlı hem de çevresel açıdan daha sürdürülebilir bir yakıt seçeneği olduğunu ortaya koymaktadır.

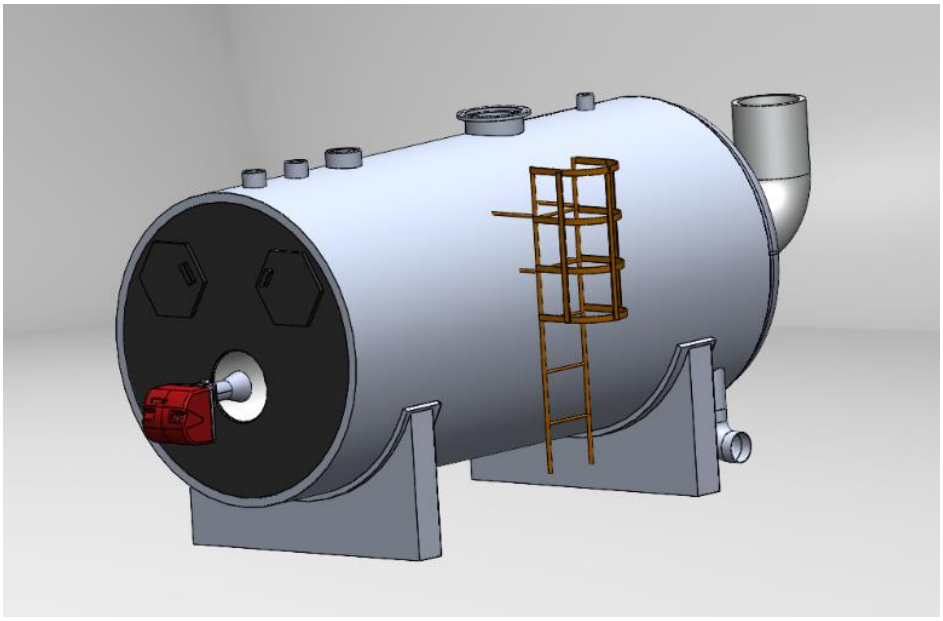
Anahtar Kelimeler – Buhar kazanı, Termoekonomik analiz, Enerji, Ekserji, Karbon emisyonu

I. GİRİŞ

Endüstriyel proseslerde buhar, enerji taşıyıcısı olarak yaygın biçimde kullanılmakta ve buhar kazanları, bu sürecin temel ekipmanlarından biri olarak kritik rol üstlenmektedir. Bu sistemler, yüksek sıcaklık ve basınçta buhar üreterek tekstil, gıda, petrokimya gibi birçok sektörde hem proses verimliliğini artırmakta hem de üretim sürekliliğini sağlamaktadır. Ancak buhar üretiminde kullanılan yakıtların maliyeti ve çevresel etkileri, sistem tasarımı kadar önem arz etmektedir.

Enerji sistemlerinin performansını değerlendirmek için yalnızca enerji verimi yeterli değildir; çünkü enerji korunur ancak kalitesi düşer. Bu noktada ekserji analizi devreye girerek, sistemdeki enerji kayıplarının nedenlerini ve geri kazanılamayan kısmını ortaya koyar. Ekserji, bir enerji akışının faydalı işe dönüşme potansiyelini ifade eder ve termodinamiğin ikinci kanununu dikkate alarak enerji dönüşümlerinin gerçekçi verimliliklerini belirler. Özellikle baca gazı, buhar ve besi suyu gibi parametrelerin entalpi ve entropi değişimleriyle analiz edilmesi, sistemin genel performansı hakkında daha doğru sonuçlar verir.

Bu çalışmada, 6 ton/saat kapasiteli, 8 bar ve 175 °C'de çalışan bir proses buhar kazanı için doğalgaz ve motorin yakıtlarına göre enerji, ekserji ve ekonomik analizler yapılmıştır. Ayrıca karbon emisyonları karşılaştırılarak çevresel değerlendirme sunulmuştur. Teorik hesaplamalar, sistem parametreleri ve maliyet analizleri sonucunda hangi yakıt türünün daha avantajlı olduğu ortaya konmuştur.



Şekil 1. Buhar kazanına ait bir görünüm

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Ekonomik analizde ise yıllık yakıt tüketimi, bakım ve işçilik giderleri üzerinden toplam işletme maliyetleri hesaplanmış; 20 yıllık yaşam döngüsü maliyet analizi yapılmıştır. Yapmış olduğumuz karbon emisyonu hesaplamalarında IPCC 2006 yönergelerine göre doğalgaz için 1,95 kg CO_2/Nm^3 ve motorin için 3,15 kg CO_2/kg emisyon faktörleri kullanılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Sistem Parametreleri

Buhar Debisi	6 ton/saat (1.667 kg/s)
Buhar Basıncı	8 bar - 0.8 MPa
Buhar Sıcaklığı	175˚C
Besi Suyu Sıcaklığı	100˚C
Yakıt	Doğalgaz (Ha = 8250 kcal/Nm^3 = 34.533 Kj/Nm^3), Motorin (42500 kJ/kg = 10150 kcal/kg) ρ=0,84 kg/L
Tahmini Kazan Verimi	%90
Fazla Hava Oranı	%10
Baca Gazı Çıkış Sıcaklığı	180˚C
Çevre Sıcaklığı	25˚C
Entalpi (h)	h_{buhar}=2787 kj/kg, $h_{besi\ suyu}$=419 kj/kg
Entropi (s)	S_{buhar}=6,498 kj/kg.k , $s_{besi\ suyu}$=1,307 kj/kg.k

Kazana giren suyun buhar haline geçmesi için kazan içinden sağlanan ısı miktarı eşitlik 1'de gösterilmektedir [1].

$$\dot{Q}_{buhar} = \dot{m}_{buhar}(h_{buhar} - h_{besi}) \quad (1)$$

Kazanın ürettiği ısı miktarına ulaşmak için ihtiyaç duyulan toplam yakıt enerjisi eşitlik 2 kullanılarak bulunmuştur.

$$\dot{Q}_{yakıt} = \frac{\dot{Q}_{buhar}}{\eta_{kazan}} \quad (2)$$

Kazandan çıkan buharın ne kadar işe çevrilebilir enerjisi olduğunu belirlemek için. Buharın fiziksel ekserjisi eşitlik 3 ile hesaplanmıştır [2].

$$\dot{E}_{x_{buhar}} = (h - h_0) - T_0 (s - s_0) \quad (3)$$

20 yıllık ömrü boyunca sistemin toplam maliyet yükünü bugünkü değerle hesaplamak için eşitlik 4 kullanılmışır [3].

$$LCC_{20\ yıl} = \sum_{t=1}^{20} NPV_t + Yatırım \quad (4)$$

Ayrıca, karbon emisyonunu hesaplamak için eşitlik 5 kullanılmıştır.

$$CO_2\ Emisyonu\ (kg) = Yakıt\ Tüketimi \times EF \quad (5)$$

III. BULGULAR

Bu çalışmada yapılan enerji ve ekserji analizleri sonucunda doğalgaz ve motorin yakıtlı sistemlerin performansları aşağıda özetlenmiştir.

Tablo 2. Hesaplamalar sonucu elde edilen veriler

Parametre	Doğalgaz	Motorin
Qk (kW)	3932.4	3932.4
Qy (kW)	4369.3	4369.3
Yakıt Debisi	0.1265 Nm³/s (455.4 Nm³/h)	0.1028 kg/s (370.1 kg/h)
Baca Gazı Molar Kütlesi (g/mol)	27.724	28.668
Baca Gazı Kütlesel Debisi (kg/s)	1.797	1.792
Baca Gazı Enerji Taşınımı (kW)	306.2	305.4
Yakıt Ekserjisi (kW)	4543.1	4631.1
Buhar Ekserjisi (kW)	1366.8	1366.8
Besi Suyu Ekserjisi (kW)	56.8	56.8
Baca Gazı Kimyasal Ekserji (kW)	6821.6	4195.7
Baca Gazı Fiziksel Ekserji (kW)	59.7	59.5
Ekserji Verimi (%)	29.7	29.1

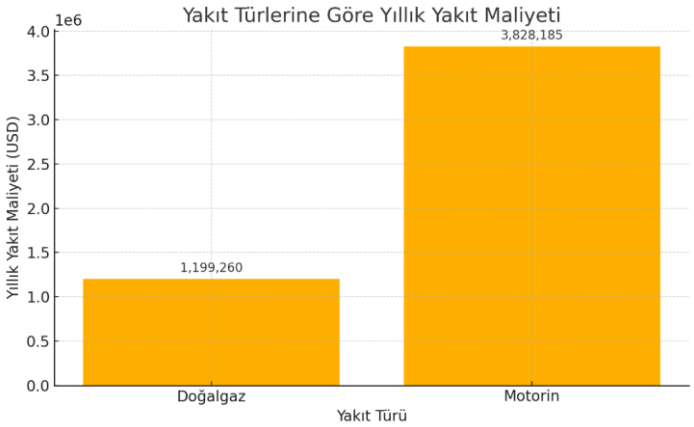
Yapılan hesaplamalara göre, her iki yakıt türü için de sistemin enerji verimliliği %90 olarak bulunmuştur. Ancak ilginç bir şekilde, doğalgazlı sistem motorinle çalışan sisteme kıyasla daha yüksek bir ekserji verimliliğine (%29,7) sahiptir. Bu durum doğalgazın, yanma ve enerjiye dönüşme aşamalarında motorine göre daha az kayba yol açtığını, yani süreçlerin daha verimli işlediğini göstermektedir. Ayrıca, baca gazlarının hem fiziksel hem de kimyasal özelliklerini incelediğimizde, doğalgazlı sistemin toplam ekserji kayıplarının motorinli sisteme göre daha az olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 3. Ekonomik Analiz

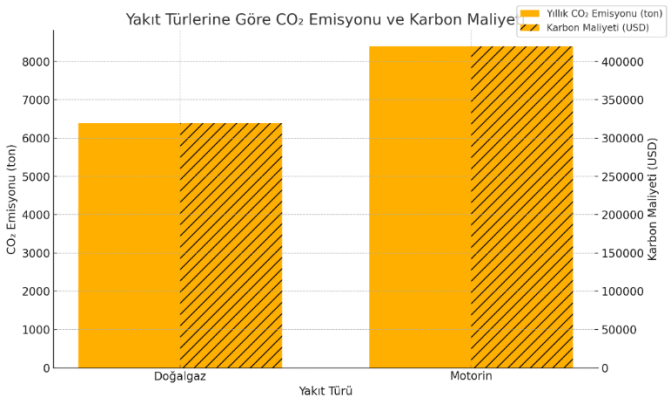
Kriter	Doğalgaz ($)	Motorin ($)	Avantajlı Seçenek
Yıllık Yakıt Gideri	1,199,260	3,828,185	Doğalgaz
Yıllık İşletme Gideri	1,259,223	4,019,594	Doğalgaz
20 Yıllık Toplam Maliyet (NPV)	10,012,081	34,517,144	Doğalgaz

Ekonomik analiz sonuçlarına göre, doğalgaz kullanılan sistem yıllık yakıt giderleri açısından motorinli sisteme kıyasla yaklaşık üç kat daha avantajlıdır. 20 yıllık toplam maliyet incelendiğinde, doğalgazlı sistemin maliyeti yaklaşık 10 milyon dolar iken motorinli sistemin maliyetinin 34,5 milyon dolar

civarında olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, doğalgaz kullanımının uzun vadede önemli ölçüde maliyet tasarrufu sağladığını ortaya koymaktadır.



Şekil 4. Yakıt türüne göre yıllık yakıt maliyeti



Şekil 5. Yakıt türüne göre yıllık karbon emisyonu karşılaştırması

Çevresel açıdan değerlendirildiğinde, doğalgazlı sistemin motorinli sisteme göre yıllık karbon emisyonlarının yaklaşık %23 daha düşük olduğu hesaplanmıştır. Bu durum, doğalgaz kullanımının yalnızca ekonomik avantajlar değil, aynı zamanda daha düşük çevresel etki sağladığını göstermektedir. Özellikle sanayi tesislerinde karbon ayak izinin azaltılması hedefleniyorsa doğalgaz tercih edilmesi daha uygun bir seçenek olacaktır.

IV. TARTIŞMA

Bu çalışmada elde edilen enerji, ekserji ve ekonomik performans sonuçları, literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında tutarlılık göstermektedir. Ünal ve Özkan [2] tarafından Tunçbilek Termik Santrali'nde yapılan analizde, buhar kazanlarının sistemde en yüksek enerji ve ekserji kayıplarına sahip bileşenler olduğu ve genel enerji veriminin %32,3, ikinci kanun veriminin ise %75,1 seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada doğalgazlı sistem için elde edilen %29,7 ekserji verimi, farklı ölçek ve sistem yapısına rağmen önceki bulgularla uyumlu sonuçlar sunmaktadır. Filiz ve arkadaşları [4] tarafından Kardemir'de gaz yakıtlı bir buhar kazanında yapılan çalışmada, enerji verimi %91 ve ekserji verimi %46 olarak hesaplanmıştır. Kardemir çalışmasındaki yüksek ekserji verimi, atık gazların kullanılması ve kazan tasarımının optimizasyonuna bağlanmıştır. Bu çalışmada elde edilen %29,7 ekserji verimi, endüstriyel ölçekte standart bir doğalgaz sistemine ait olup, atık gaz katkısının olmadığı sistemlerle karşılaştırıldığında beklenen seviyededir. Dragan ve arkadaşları [5] ise sanayi tipi buhar kazanlarında en yüksek ekserji kaybının boylerde ve kondenserlerde meydana geldiğini belirlemişlerdir. Bu çalışmada da özellikle baca gazı kaynaklı ısı kayıplarının sistem verimliliği üzerinde belirleyici olduğu gözlemlenmiş ve ekonomizer gibi ısı geri kazanım teknolojilerinin verim artırıcı etkisi

vurgulanmıştır. Çevresel performans açısından, IPCC yönergelerinde belirtilen karbon emisyon faktörleri ile uyumlu şekilde doğalgazın motorine kıyasla %23 daha düşük CO_2 emisyonu ürettiği doğrulanmıştır [6]. Bu durum, doğalgaz kullanımının sanayi sektöründe karbon ayak izinin azaltılmasına katkı sağladığını desteklemektedir.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada proses buharı üreten bir sistemde doğalgaz ve motorin yakıtlarının termodinamik ve ekonomik performansları analiz edilmiştir. Yapılan karşılaştırmalar, doğalgazın hem daha yüksek ikinci kanun verimi hem de daha düşük karbon salımı ile motorine göre daha avantajlı olduğunu ortaya koymuştur. Enerji verimi düzeyleri benzer olmakla birlikte, sistemlerin toplam yaşam döngüsü maliyetleri ve çevresel etkileri arasında belirgin farklılıklar gözlemlenmiştir. Bulgular, doğalgaz kullanımının sadece ekonomik açıdan değil, aynı zamanda karbon ayak izini azaltarak çevresel sürdürülebilirlik açısından da sanayi proseslerinde tercih edilmesi gerektiğini göstermektedir. Motorin kullanılan sistemlerde, karbon emisyonlarının düşürülmesi amacıyla B30–B50 oranında biyodizel katkısı yapılması önerilmektedir. Doğalgazlı sistemlerde ise baca gazı sıcaklığının dikkatli şekilde düşürülerek ekonomizer uygulamalarıyla enerji geri kazanımının artırılması mümkündür. Gelecekteki çalışmalar, farklı yakıt türleri ve ısı geri kazanım stratejileri üzerine odaklanarak mevcut sistem verimliliğini daha da artırmaya yönelik yeni tasarımlar geliştirebilir.

KAYNAKLAR

[1] Çengel, Y. A.. "*Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*", Palme Yayınevi, ISBN No: 9786053551621.

[2] Ünal,F. ve Özkan, D.B., 2014. Tunçbilek Termik Santralinin Enerji ve EkserjiAnalizi, Tesisat Mühendisliği, 143,5-13.

[3] Öztürk, Erdem. Akışkan yataklı bir termik santral için buhar kazanı tasarımı. Yüksek Lisans tezi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü,

[4] Filiz, Ç., et al. "Bir buhar kazanının enerji ve ekserji analizi yoluyla performansının değerlendirilmesi." II Uluslararası Mühendislik ve Bilim Alanında Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu (2012): 18-20.

[5] Dragan M, Uzuneanu K, Panait T, Gelu C. Thermal systems and environmental engineering department, 'Dunarea de Jos' University of Galati, Domneasca Street, Galati, Romania 2009; 263-66.

[6] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol 2: Energy*. IGES, Japan, 2006.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

A Novel Dynamic Probability Assignment in NSGA-II for Enhanced Multi-Objective Optimization of 60NiTi Bearings in Spacecraft Applications

Prasun Bhattacharjee[1,*], Somenath Bhattacharya[2] and Amit Karmakar[3]

[1]*Department of Mechanical Engineering, Jadavpur University, India*
[2] *Department of Mechanical Engineering, Jadavpur University, India*
[3] *Department of Mechanical Engineering, Jadavpur University, India*

[*]*(prasunbhatta@gmail.com)*

Abstract **–** The performance of 60NiTi bearings, critical for spacecraft applications, depends on optimizing multiple conflicting objectives to enhance reliability in extreme environments. This study presents a novel dynamic probability assignment strategy for crossover and mutation in NSGA-II, designed to improve the trade-off between maximizing the Life Modification Factor (LMF) and minimizing the Hardness Reduction Factor (HRF). The proposed approach dynamically adjusts genetic parameters during evolution, enhancing adaptability compared to traditional static NSGA-II and Multi-Objective Slime Mould Algorithm (MOSMA). Benchmark comparisons reveal that the dynamic NSGA-II achieves an execution time of 42.9412 s, significantly outperforming static NSGA-II (82.8791 s) and MOSMA (48.5032 s) while maintaining superior optimization accuracy. The results indicate that dynamic adaptation of genetic probabilities enhances convergence speed and solution quality, making it a promising approach for spacecraft bearing design. This research underscores the significance of adaptive evolutionary algorithms in engineering optimization, particularly for high-performance aerospace components.

Keywords – 60NiTi Bearings, Aerospace Applications, Evolutionary Algorithms, Slime Mould Algorithm.

I. INTRODUCTION

The optimization of rolling element bearings for aerospace applications is a critical area of research due to the extreme operational conditions in which these components function. Among various bearing materials, 60NiTi (a nickel-titanium alloy) has gained prominence for its superior performance in harsh environments, including high temperatures, vacuum conditions, and exposure to corrosive elements in space [1]. These bearings play a crucial role in spacecraft mechanisms such as reaction wheels, gyroscopes, and robotic actuators, where reliability and longevity are paramount. To enhance their efficiency, multi-objective optimization techniques are employed to balance maximizing the Life Modification Factor (LMF) and minimizing the Hardness Reduction Factor (HRF), which are critical parameters influencing bearing lifespan and mechanical integrity.

Traditional bearing design optimization relies heavily on deterministic approaches or static probability-based evolutionary algorithms such as Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) [2]. While NSGA-II has proven to be highly effective in solving multi-objective optimization problems, its standard form with fixed crossover and mutation probabilities often leads to premature convergence or inefficient exploration of the search space [3]. To address these limitations, researchers have explored dynamic adaptations of evolutionary parameters to improve optimization performance.

Additionally, Multi-Objective Slime Mould Algorithm (MOSMA), inspired by the foraging behavior of slime mold, has been proposed as an alternative metaheuristic approach for engineering design optimization [4]. Although MOSMA offers improved global search capabilities compared to traditional NSGA-II, its computational efficiency remains a concern, particularly in high-dimensional aerospace applications. Despite significant advancements in multi-objective evolutionary algorithms (MOEAs), there exists a gap in dynamically adapting crossover and mutation probabilities in NSGA-II to optimize aerospace-grade rolling element bearings. Previous studies have either focused on static parameter assignments or employed metaheuristic algorithms with limited adaptability [5]. This research introduces a novel dynamic probability assignment strategy for NSGA-II, which allows for adaptive control of genetic parameters based on real-time evolutionary performance.

II. Problem Formulation

The optimization of 60NiTi bearings for aerospace applications demands a precise balance between mechanical performance and longevity under extreme operating conditions. In this study, we define a multi-objective optimization problem that aims to:

A. Maximize the Life Modification Factor (LMF)

A key performance metric indicating the bearing's operational longevity under varying load and lubrication conditions.

B. Minimize the Hardness Reduction Factor (HRF)

A critical constraint ensuring that material degradation due to thermal and mechanical stress remains within permissible limits.

C. Mathematical Representation of Objectives

Let X represent the decision variables, including geometrical parameters (e.g., rolling element diameter, number of balls), material properties, and lubrication conditions. The optimization problem is formulated as follows:

D. Objective 1: Maximization of Life Modification Factor (LMF)

$$f_1(x) = LMF = \left\{\frac{HRC}{58}\right\}^{10.8} \quad (1)$$

where HRC is the Hardness Rockwell C, which is a unit of measurement used to quantify the hardness of materials, particularly metals and alloys. The Life Modification Factor (LMF) is a critical parameter in evaluating the operational lifespan of rolling element bearings, particularly in aerospace applications where reliability under extreme conditions is non-negotiable. LMF serves as a corrective multiplier to the basic bearing life equation, incorporating real-world influences such as lubrication quality, material fatigue resistance, and load variations.

In this study, the primary objective is to maximize LMF, ensuring that the 60NiTi bearings achieve superior durability and extended service life in spacecraft mechanisms. Traditional bearing life estimation relies on the L_{10} life equation, which predicts the number of revolutions a bearing can endure before failure for 90% reliability.

However, this model does not fully capture external stressors such as temperature fluctuations, lubrication efficiency, and material aging effects. LMF accounts for these additional factors, offering a more realistic and application-specific measure of bearing longevity [6].

In aerospace environments, where bearings operate in vacuum conditions, fluctuating loads, and extreme thermal cycles, an optimized LMF ensures:

- Extended mission lifespan, reducing the need for premature replacements.
- Enhanced structural integrity, preventing fatigue-induced failures.
- Optimized load distribution, ensuring even wear across rolling elements.

E. *Objective 2: Minimization of Hardness Reduction Factor (HRF)*

$$f_2(x) = HRF = 1.5\left\{\frac{222.727\times HRC+14496.8}{800(99.965-HRC)}\right\}^2 \quad (2)$$

The Hardness Reduction Factor (HRF) is a crucial parameter in the durability and mechanical integrity of rolling element bearings, especially in high-performance aerospace applications. HRF quantifies the decline in material hardness due to prolonged operational stresses, temperature fluctuations, and surface degradation. Minimizing HRF ensures that 60NiTi bearings retain their structural resilience under extreme conditions, thereby preventing premature failure and performance degradation in spacecraft systems. Bearings in spacecraft mechanisms are subjected to high-speed rotations, vacuum exposure, and thermal cycling, all of which contribute to material softening over time. A significant reduction in hardness can:

- Accelerate wear and surface fatigue, leading to early failure.
- Reduce load-carrying capacity, compromising the overall system's efficiency.
- Increase plastic deformation risks, making the bearing more susceptible to impact damage.

Minimizing HRF is particularly critical for 60NiTi bearings, as they operate in environments where in-service material degradation cannot be easily mitigated through maintenance. By optimizing HRF, this study aims to extend the operational lifespan of these bearings while ensuring mechanical stability throughout their deployment.

III. Optimization Algorithm

Optimization of aerospace-grade bearings requires robust multi-objective evolutionary algorithms that can effectively balance conflicting design goals, such as maximizing the LMF and minimizing the HRF. This study evaluates three optimization algorithms—Traditional NSGA-II, MOSMA, and the proposed Dynamic NSGA-II—to determine their effectiveness in achieving an optimal design for 60NiTi bearings used in spacecraft applications.

A. *Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II)*

The Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) is one of the most widely used multi-objective optimization techniques. It operates based on the principles of natural selection and employs a Pareto-based ranking mechanism to evolve solutions toward the optimal trade-off between multiple objectives. NSGA-II incorporates several key features that make it a powerful multi-objective optimization algorithm. Fast non-dominated sorting classifies solutions into different Pareto fronts based on dominance relations, enabling efficient identification of high-quality solutions. The crowding distance mechanism preserves solution diversity, preventing premature convergence by maintaining a well-distributed Pareto front. Additionally, the elitism strategy ensures that the best solutions from both the current and previous generations are retained, improving search efficiency. However, static NSGA-II has limitations in bearing optimization, primarily due to its fixed crossover and mutation rates, which reduce adaptability and may lead to premature convergence or inefficient search behaviour. Furthermore, its computational cost can be high, particularly for complex engineering problems requiring extensive evaluations. The algorithm also struggles with dynamic fitness landscapes, such as those encountered in material property optimizations, limiting its effectiveness in highly variable design scenarios.

B. *Multi-Objective Slime Mould Algorithm (MOSMA)*

The Multi-Objective Slime Mould Algorithm (MOSMA), inspired by the adaptive foraging behaviour of slime mould, has emerged as a promising alternative for solving multi-objective optimization problems. Unlike NSGA-II, which relies on genetic operations, MOSMA employs swarm intelligence principles to dynamically adjust the search process. MOSMA incorporates several advanced mechanisms that enhance its optimization capabilities. It employs an adaptive exploration-exploitation balance, inspired by the oscillatory movement of slime mould, allowing the algorithm to dynamically switch between local and global search, thereby improving solution diversity. Its memory-based decision-making

enables the algorithm to learn from past experiences, refining its search strategy for intelligent convergence toward optimal solutions. Additionally, MOSMA efficiently handles constraints, making it particularly well-suited for bearing design optimization, where material property constraints play a crucial role in determining feasible and high-performance solutions.

C. Proposed Dynamic NSGA-II with Adaptive Crossover and Mutation Rates

To overcome the limitations of traditional NSGA-II and MOSMA, this study introduces a Dynamic NSGA-II framework that adaptively assigns crossover and mutation probabilities based on the evolutionary state of the optimization process. The proposed Dynamic NSGA-II improves optimization efficiency through adaptive genetic operators, dynamically adjusting crossover and mutation rates based on population diversity and convergence patterns to prevent premature stagnation. Furthermore, the enhanced Pareto dominance mechanism refines the ranking process by emphasizing solution diversity while maintaining high quality, ensuring more effective trade-offs in multi-objective optimization. This adaptive approach is especially advantageous for complex engineering problems, as it balances exploration and exploitation, resulting in more reliable and robust optimization outcomes. The dynamic function used for computing the probabilities of crossover and mutation processes have been shown in Eq. (3) and (4) respectively.

$$p_{crossover} = 0.5 + 0.05 * (\frac{current\ iternation}{maximum\ iteration}) \quad (3)$$

$$p_{mutation} = 0.015 + 0.005 * (\frac{current\ iternation}{maximum\ iteration}) \quad (4)$$

IV. RESULTS AND DISCUSSION

The effectiveness of the proposed Dynamic NSGA-II is evaluated by comparing its performance with Static NSGA-II and Multi-Objective Slime Mould Algorithm (MOSMA) in optimizing 60NiTi bearing design for aerospace applications. The comparative analysis reveals that Dynamic NSGA-II outperforms both Static NSGA-II and MOSMA in terms of solution quality, convergence rate, and computational efficiency. Unlike Static NSGA-II, which suffers from premature convergence due to fixed crossover and mutation rates, the adaptive nature of Dynamic NSGA-II ensures faster convergence by effectively balancing exploration and exploitation. Similarly, while MOSMA exhibits strong global search capabilities, its oscillatory search mechanism sometimes leads to suboptimal local solutions. In terms of computational efficiency, Dynamic NSGA-II achieves the fastest execution time of 42.9412 s, compared to 82.8791 s for Static NSGA-II and 48.5032 s for MOSMA, making it a computationally superior choice. The study also highlights the maximization of Life Modification Factor (LMF) and minimization of Hardness Reduction Factor (HRF) as key objectives. Dynamic NSGA-II achieves higher LMF values, ensuring enhanced durability and wear resistance of the bearings, while effectively minimizing HRF to maintain mechanical integrity. The hardness range of 58-64 HRC has been considered to ensure that the optimized bearing design meets the required aerospace performance standards [7]. The Pareto fronts obtained from the optimization process have been depicted in Figures 1-3, illustrating the superiority of Dynamic NSGA-II in generating diverse and well-distributed solutions.

.

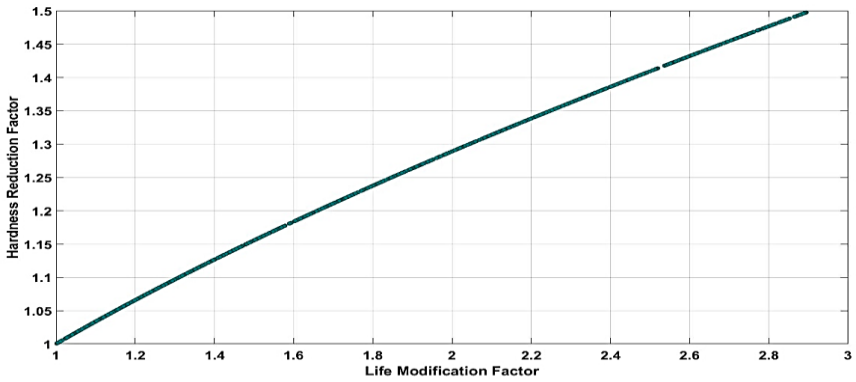


Fig. 1 Pareto Front Obtained by NSGA II

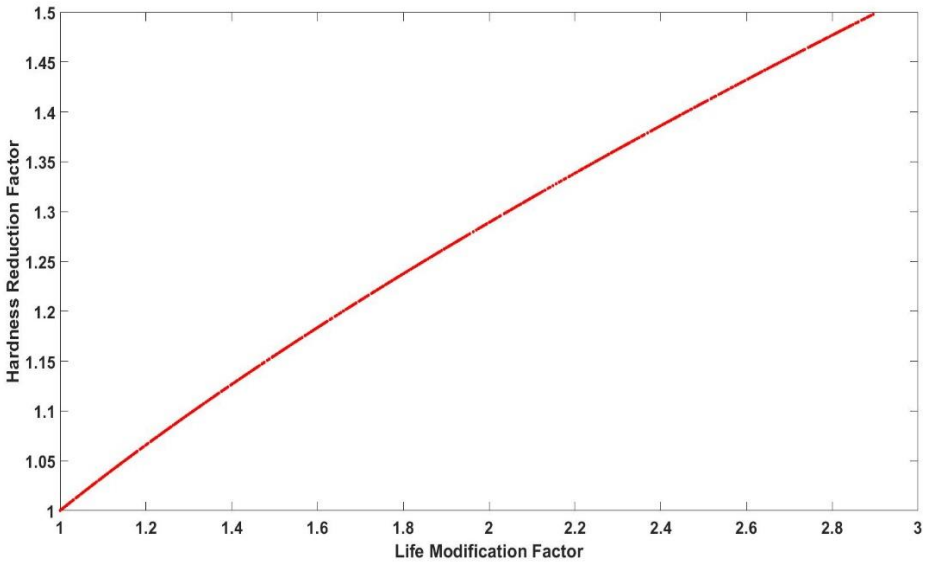


Fig. 2 Pareto Front Obtained by MOSMA

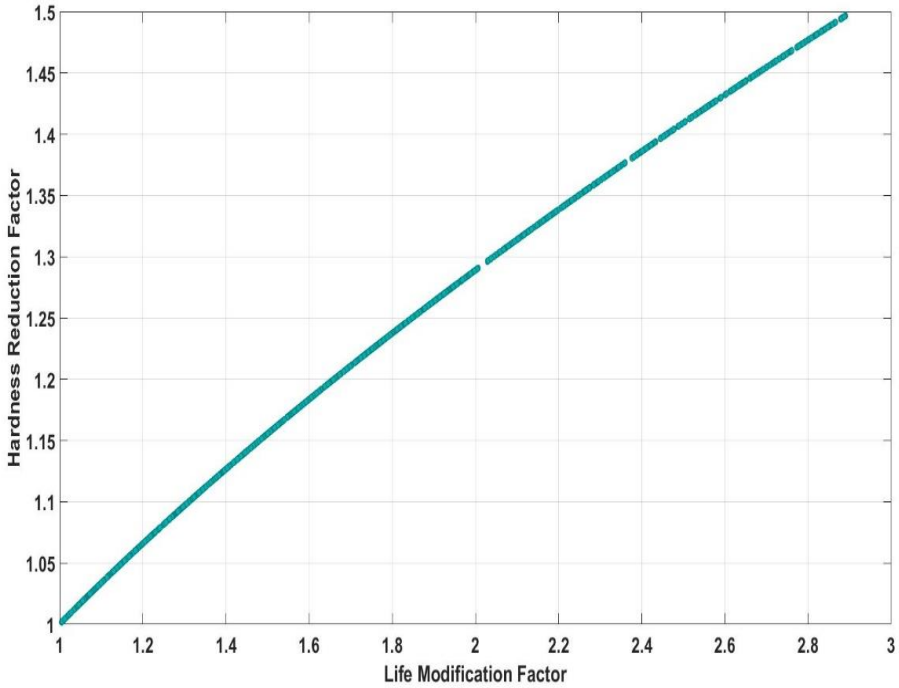


Fig. 2 Pareto Front Obtained by Proposed Dynamic NSGA II

Table 1. Comparison of Objectives

	NSGA II	**MOSMA**	**Proposed Dynamic NSGA II**
Maximum LMF	2.88	2.86	2.89
Minimum HRF	1	1	1

Additionally, Table 1 presents a comprehensive comparison of the results, highlighting the efficiency and effectiveness of the proposed approach in optimizing aerospace-grade bearing design.

V. CONCLUSION

The findings establish Dynamic NSGA-II as a robust optimization framework, capable of improving bearing design for aerospace applications by offering enhanced mechanical reliability, faster computational performance, and better scalability.

ACKNOWLEDGMENT

The authors express their sincere gratitude to Jadavpur University for its invaluable support in facilitating this research. The institution's resources, research infrastructure, and academic environment have played a crucial role in the successful completion of this work.

REFERENCES

[1] N. Kumar and R. K. Satapathy, "Bearings in aerospace, application, distress, and life: a review," Journal of Failure Analysis and Prevention, vol. 23, no. 3, pp. 915-947, 2023.

[2] K. Deb, S. Agrawal, A. Pratap and T. Meyarivan, "A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II," IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. 6, no. 2, pp. 182-197, 2002.

[3] A. Hassanat, K. Almohammadi, E. Alkafaween, E. Abunawas, A. Hammouri and V. B. S. Prasath, "Choosing Mutation and Crossover Ratios for Genetic Algorithms—A Review with a New Dynamic Approach," Information, vol. 10, no. 12, p. 390, 2019.

[4] M. Premkumar, P. Jangir, R. Sowmya, H. H. Alhelou, A. A. Heidari and H. Chen, "MOSMA: Multi-Objective Slime Mould Algorithm Based on Elitist Non-Dominated Sorting," IEEE Access, vol. 9, p. 3229–3248, 2021.

[5] P. Bhattacharjee, R. K. Jana and S. Bhattacharya, "Expanding the Yearly Profit of Wind Farm Using Genetic Algorithm with Variable Allocation Method of Possibilities for Crossover and Mutation Procedures," ADBU Journal of Engineering Technology, vol. 11, no. 2, p. 0110203118, 2022.

[6] T. Harris, J. H. Rumbarger and C. P. Butterfield, "Wind Turbine Design Guideline DG03: Yaw and Pitch Rolling Bearing Life," 2009.

[7] C. DellaCorte and L. E. Moore III, "Launch load resistant spacecraft mechanism bearings made from NiTi superelastic intermetallic materials," in The 42nd Aerospace Mechanism Symposium, 2014.

S. Gupta, R. Tiwari and S. B. Nair, "Multi-objective design optimisation of rolling bearings using genetic algorithms," Mechanism and Machine Theory, vol. 42, no. 10, p. 1418–1443, 2007.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

The Method of Graph Amalgamations

Mustafa Demir*

*Department of Mathematics, Kastamonu University, Turkey

*(mustafademir@kastamonu.edu.tr) Email of the corresponding author

Abstract – In this paper, the method graph amalgamations is explained and used to reprove a well-known result in literature to show how powerful technique it is. Then a new result is proved by using graph amalgamations.

Keywords – Hamiltonian paths, the method of graph amalgamation, detachments.

I. INTRODUCTION

Throughout this study, all graphs are finite, undirected and usually have loops and parallel edges. For all $v \in V(G)$, $d_G(v)$ demotes the degree of the vertex v in G which is the number of the edges adjacent with v in G (particularly a loop contributes 2 to the degree of its incident vertex). A k-edge-coloring of a graph G is a function assigning the edges of G into a color in the set of colors $\{1, \dots, k\}$. For each color j in such an edge coloring of G, the j^{th} color class is denoted by $G(j)$ which is the spanning subgraph of G induced by all the edges colored with j. A k-edge-coloring of G is said to

- equitable if $| d_{G(i)}(v) - d_{G(j)}(v) | \leq 1$ for all $v \in V(G)$ and $1 \leq i < j \leq k$, and
- evenly equitable if $d_{G(i)}(v)$ is even and $| d_{G(i)}(v) - d_{G(j)}(v) | \in \{0, 2\}$ for all $v \in V(G)$ and $1 \leq i < j \leq k$.

A decomposition of a graph G into edge-disjoint Hamiltonian cycles (a cycle containing every vertex of G exactly once) is called a Hamiltonian decomposition of G. It could be convenient to consider a Hamiltonian decomposition of G as an edge coloring of G by assuming the elements of the decomposition as the color class of the edge-colored G. Such a decomposition is an intense study in graph theory for many years. Edouard Lucas (1841-1891) published four large volumes in the area of recreational mathematics. In the second volume [2], he discussed the probl*é*me de ronde which asked the following question in the
original form:

> In a conference of $2n + 1$ people attending, is it possible to arrange them around a single table n successive nights so that nobody is seated next to the same person on either side more than once?

If 2n + 1 people in the conference are represented by the vertices of the complete graph K2n+1, then each arrangement of them around a table corresponds to a Hamiltonian cycle in K2n+1 since every vertex of K2n+1 has 2n neighbors and the probl.me de ronde is asking for each person to have 2n different people seated next to her or him on either side over the conference. Then the graph theoretical version of the probl*é*me de ronde asks the following question:

> Can the complete graph K_{2n+1} be decomposed into n edge-disjoint Hamiltonian cycles?

In 1890s, Lucas [2] gave a solution to the problém de ronde in the concept of a graph theory by attributing Walecki that the complete graph K_n has a Hamiltonian decomposition (or a Hamiltonian decomposition with a 1-factor leave) if and only if n is odd (or even, respectively). His proof is simply based on a rotation of a specific Hamiltonian cycle of K_n on a clockwise direction until all edges are used once or left with a 1-factor of K_n (see Fig. 1).

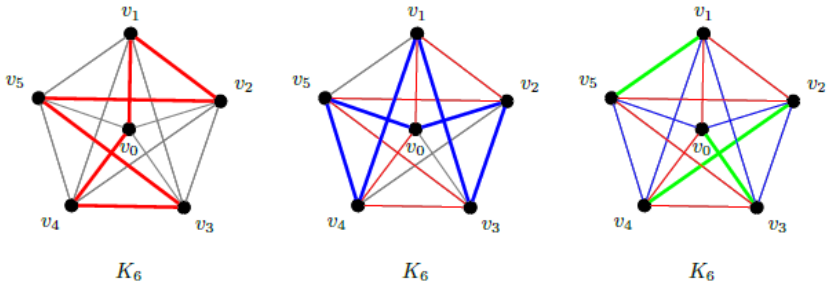


Fig. 1 Walecki's construction for Hamiltonian cycles

II. Materials and Method

A graph H is called an amalgamation of another graph G if there exist a surjective function $f: V(G) \to V(H)$ associated with a bijective function $g: E(G) \to E(H)$ such that

i. For each $e = \{u, v\} \in E(G)$ with $u \neq v, g(e) = \{f(u), f(v)\}$ is an edge (a loop if $f(u) = f(v)$) in H, and

ii. For each loop $\ell = \{u, u\} \in E(G), g(\ell) = \{f(u), f(u)\}$ is a loop on $f(u)$ in H.

The graph H is called an f-amalgamation of G and the graph G is said to be a detachment of H. Notice that the set $F = \{f^{-1}(u): u \in V(H)\}$ is a partition of $V(G)$. The vertices in $f^{-1}(u)$ are said to be disentangled from u. Intuitively the amalgamation function f identifies the vertices in each element of F with a single vertex of H while the bijection g turns the edges and loops in G into the edges (possibly loops) and loops in H, respectively. So, notice that any edge incident with a vertex in G becomes incident with the corresponding new vertex in the amalgamated graph H, and any edge whose endpoints are identified becomes a loop on the new vertex in H. Clearly there is a one-to-one correspondence between the edges of the graphs G and H. Hence an edge-coloring of one of these graphs induces an edge-coloring on the other graph; so an amalgamation of an edge-colored graph is an edge-colored graph (see Fig. 2).

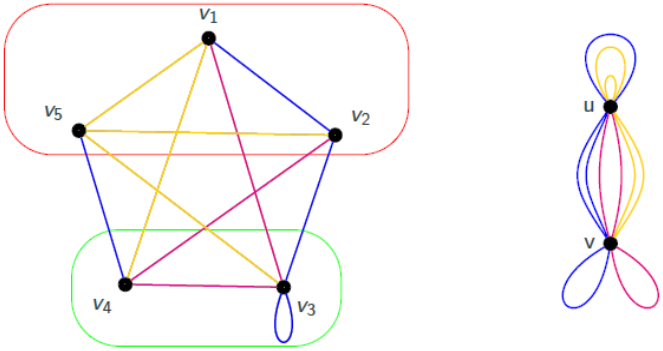


Fig. 2 An Amalgamation of an edge-colored graph

Theorem 1. (Bahmanian and Rodger [1]). Let G be a k-edge-colored graph and let ψ be a function from $V(G)$ into N such that for each $u \in V(G)$,

(1) $\psi(u) = 1$ implies $\ell_G(u) = 0$,
(2) $d_{G(j)}(u)/\psi(u)$ is an even integer for all $1 \leq j \leq k$,
(3) $\binom{\psi(u)}{2}$ divides $\ell_G(u)$,
(4) $\psi(u)\psi(v)$ divides $m_G(u, v)$ for each $v \in V(G)\{u\}$, and

(5) $G(j)$ is connected for $1 \leq j \leq k$.

Then there exists a ψ-detachment H of G in which each $u \in V(G)$ is disentangled into

vertices $u_1, \ldots, u_{\psi(u)}$ such that for all $u \in G$,

(i) $m_H(u_i, u_i') = \ell_G(u)/\binom{\psi(u)}{2}$ for all $1 \leq i < i' \leq \psi(u)$ if $\psi(u) \geq 2$,
(ii) $m_H(u_i, v_i') = m_G(u, v)/\psi(u)\psi(v)$ for $v \in V(G) - u, 1 \leq i \leq \psi(u)$, and $1 \leq i' \leq \psi(v)$,
(iii) $d_H(j)(u_i) = d_H(j)(u)/\psi(u)$ for $1 \leq i \leq \psi(u)$ and $1 \leq j \leq k$, and
(iv) each color class $H(j)$ is connected for $1 \leq j \leq k$.

III. RESULTS

Theorem 2. (Walecki [2]) λK_n can admit a Hamiltonian decomposition (or a Hamiltonian decomposition with a 1-factor leave, respectively) if and only if $\lambda(n-1)$ is even (or odd, respectively).

Proof. The necessity follows the fact that λK_n is regular of degree $\lambda(n-1)$. To prove the sufficiency, let H be a graph with only one vertex w together with $\lambda\binom{n}{2}$ loops. Now color the loops on w with $k = \left\lfloor \frac{\lambda(n-1)}{2} \right\rfloor$ colors so that $d_{H(j)}(w) = 2n$ for all $1 \leq j \leq k$ (and $d_{H(k+1)}(w) = n$ if $\lambda(n-1)$ is odd). Now apply Theorem 1 to the k-edge-colored graph H.

Theorem 3. A fan graph $F_{m,n} = \overline{K_m} + P_n$ can be decomposed into edge-disjoint Hamiltonian paths if and only if $m = n - 1$ for all odd integers $n \geq 3$.

Proof.

The necessity is obvious by numerical calculations. Let H be a graph with vertices u and v such that there u is joined to v by mn edges and there are $n-1$ loops on v. Now notice that H is an even graph so it has an evenly equitable edge coloring with $k = (n+1)/2$ colors. Now apply Theorem 1 to the k-edge-colored graph H.

IV. CONCLUSION

The proof of the historical result stated in Theorem 2 has very long and heavily constructional proves while we here prove this theorem by using the method of graph amalgamation shortly and effortlessly. Also, we share a new result again by using this technique on the graph $F_{m,n} = \overline{K_m} + P_n$ whose structure is highly different from a multicomplete graph λK_n. As a conclusion, we can say that this novel method is highly powerful in decomposition problems in graph theory literature.

ACKNOWLEDGMENT

The heading of the Acknowledgment section and the References section must not be numbered.

REFERENCES

[1] Bahmanian, M. A. and Rodger, C. A. (2011). Multiply balanced edge colorings of multigraphs. J. Graph Theory, 70, 297 – 317.
[2] Lucas, E. (1883) Récréations mathématiques, Gauthier-Villars, Paris.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Transformers-Based Deep Learning for SMS Spam Detection Using ALBERT and SpanBERT Models

Asim Abid [1], Muhammad Arsalan [1], Ejaz Ahmed [1*], Muzamil Ahmed [1], and Malik Muhammad Ali Shahid [1]

[1]*Department of Computer Science, Namal University Mianwali, Pakistan*

[*]*ejaz27263@gmail.com*

Abstract – The Short Message Service (SMS) remains a critical medium of communication despite the arrival of newer messaging platforms; nevertheless, the pervasive dissemination of spam messages remains an endemic problem for users across the world. This paper introduces a discerning method to detect SMS spam with ensemble-based models coupled with deep embedding and transformer models to address the subtlety of natural language processing and linguistic ambiguity. We performed a thorough analysis on a data set that was typified by imbalance with 5,575 messages obtained from Kaggle, using exhaustive preprocessing techniques involving cleaning of text, stop word removal, and lemmatization to improve quality of input and reduce noise. Our experimental results demonstrate outstanding performance for different configurations of the model: the Random Forest coupled with TF-IDF achieved 98% accuracy with a 99% F1 score, highlighting the continued relevance of conventional machine learning methods when accordingly optimized. The ALBERT transformer model achieved 99.73% accuracy after 15 epochs of training, testifying to the efficacy of contextual embeddings in this classification task. The better performance demonstrated by conventional and novel models supports our hybrid approach to spam detection. The research conclusively proves that blend of machine learning techniques with innovative deep learning architectures and advanced preprocessing techniques yields an efficient system to address the endemic problem of SMS spam, potentially improving user experience and security on billions of daily text messages worldwide.

Keywords – SMS Spam Classification; Natural Language Processing; Ensemble Learning; TF-IDF; Sentence Transformers; Mobile Security

I. INTRODUCTION

Spam refers to unsolicited electronic messages[1] sent by spammers with the intent of causing psychological or financial harm to victims. It appears in a variety of forms, including web spam, review spam, short message service (SMS) spam[2], and email spam. Website spam confuses search engines, resulting in incorrect ranking of websites. In survey spam, spammers manipulate reviews by providing false positive (FP) feedback. SMS spam sent via text message not only annoys the senders but can also cost the service provider money. Email spam [3]is generally junking advertisements or content sent by individuals who do not have a valid relationship with the recipient[4]. SMS spam is distributed in a variety of ways, including infected devices, hacked servers, phishing schemes, and unauthorized collection of users' phone numbers. Various researchers have used text classification methods on datasets like Kaggle and UCI through Random Forest and Random Tree classifiers effectively, but the challenges include small datasets, with low accuracy, complex structure difficult to interpret and feature extraction[5] is not accurate. Therefore, there's still a crucial need to identify practical approaches for classifying SMS efficiently[6]. As the aim of this research is to better classify SMS spam, NLP methods[7] , ensemble-based methods and transformer-based models are used to overcome the existing limitations and improve

the detection accuracy. The limitations discussed in this paper have been addressed through the implementation of a new approach that combines ensemble-based methods-random forest and AdaBoost-and transformer-based[8] models-Span BERT and ALBERT for the task of SMS spam classification[9]. With a focus on these methodologies[10][11], we try to develop a model that will be efficient in distinguishing spam messages from the valid ones, even in cases where there are diverse datasets and limited resources. Besides, we have conducted extensive validation on a Kaggle dataset with 5,575 SMS messages to further validate the efficiency and reliability of the proposed models. The key contributions of this study are:

- Application of diverse NLP preprocessing techniques to refine the unstructured textual data.
- Feature extraction methods are employed in order to transform raw data into numerical features that can be processed while preserving the original information.
- Proposal of a deep learning and transformers based architecture to detect spam SMS.
- Carried out extensive evaluation to assess the effectiveness of proposed architecture with state of art methods.

The rest of the paper is organized as follows: Section 2 presents the relevant work, including discussion, Advantages and limitations of existing methods in SMS spam detection. Section 3 explains the proposed. Section 4 shows the results, comparing performances for models. Finally, Section 5 summarize the conclusion of finding and directions for future research.

II. RELATED WORK

In a study[12], researchers suggested a text classification method to detect SMS spams. They used different systematic techniques based on machine learning algorithms to classify SMS messages such as spam or ham. The dataset used for this study was obtained from kaggle.com, which included 611 samples from both spam and ham classes. Researchers evaluated several classification techniques using the Weka tool and found that random forest would classify and improve other models. Research [13], especially in Pakistan, discovered the issue of spam and scams messages in the novel Urdu, where the scam often involves fraudulent activities or attempts. The study proposed the use of machine learning algorithms, especially for spam detection, Support Vector Machine (SVM), Naïve Bayes (NB) and decision trees (J48). A dataset of 1050 messages was manually collected from volunteers instead of using a publicly available dataset, when no one was present at that time. The study [14] highlighted the potential prejudice in the dataset and worries about the understanding of capturing all forms of fraudulent messages. Nevertheless, research produced encouraging results, which suggested a significant impact on reducing user risk for SMS fraud in novel Urdu. Another study [15] used an SVM-material-based approach to classify SMS messages such as spam or ham. A dataset of 8107 pre-developed Romanized Urdu SMS messages was created using an Android app, which used 7296 training and 811 testing messages, receiving 82.6% accuracy. A study [16]suggested a mobile-based machine learning approach for real-time spam detection while addressing the growing problem of SMS spam. Four key features were extracted from messages: message size, presence of monograms, diagrams, and message class. Using a dataset of 4600 real SMS messages, the study evaluated Naïve Bayes, Multilayer Perceptron, and C4.5 Decision Tree classifiers, with Naïve Bayes achieving approximately 80% accuracy. Another study[17], developed a spam filtration technique using the term frequency-inverse document frequency (TF-IDF) and Random Forest (RF) algorithm for functional extraction. The dataset included 4989 English SMS messages from UCI Machine Learning Repository. The study deal with data imbalance using further screen measurements and found that RF with TF -IDF gained an accuracy of 0.98 and F1- measurement of 0.97. A comprehensive analysis [18] the paper examines detection of SMS spams in different geographical areas, and evaluated several machines learning techniques, including Naive Bayes, SVM, decision tree, logistic region and random forests. Most of the approach depend on the message material for the extraction of functions.

III. PROPOSED RESEARCH METHODOLOGY

The process includes text pre-processing (cleaning, lemmatization, stop word removal) and feature extraction using TF-IDF and Sentence Transformers. Deep learning models (SpanBERT, ALBERT) and ensemble (Random Forest, AdaBoost) are trained, and performance is measured using accuracy, precision, recall, and F1-score.

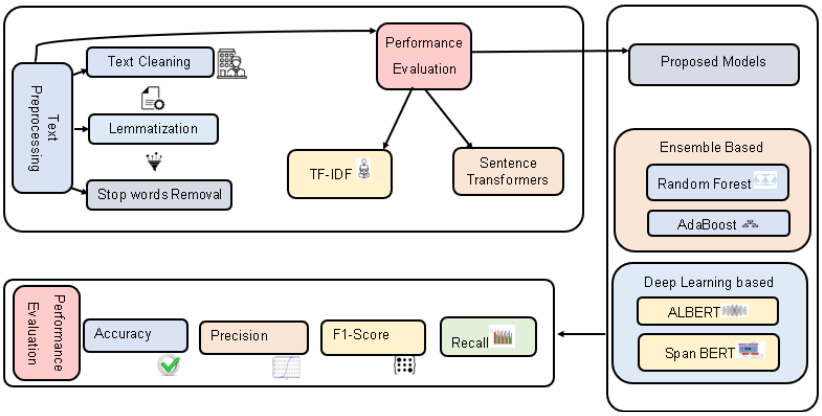


Fig. 1: Proposed Methodology

A. Text Processing

Text preprocessing is vital for the refinement and analysis of text data, converting raw unstructured text into actionable insights. The first step involves data cleaning which mainly consists of removing the non-textual component and converting text to lowercase for uniformity. Stop words are worth little meaning, such as 'and' or 'the', and are removed during preprocessing for noise reduction and further purification into meaningful terms. Lemmatization reduces words to their basic size (lemma) form using context and grammar, unlike stemming.

B. Feature Engineering

Feature engineering involves creating or transforming features to increase machine-learning model performance. Typical tasks related to feature engineering include scaling, encoding, and using methods like tokenization and TF-IDF. TF-IDF(Term Frequency-Inverse Document Frequency) is a measure in NLP that evaluates a phrase's significance in a document relative to a corpus.

$$TF\ (t,d)\ =\ \frac{f\ (t,d)}{total_words_in_document(d)} \quad (1)$$

Where, TF is a time period t in a document d.

$$IDF(t)\ =\ log\ (\frac{N}{doc_freq(t)}) \quad (2)$$

$$TF-IDF(t) = TF(t)\ +\ IDF(t) \quad (3)$$

This equation is used to calculate the Inverse Document Frequency (IDF) of a term t. Here, N represents

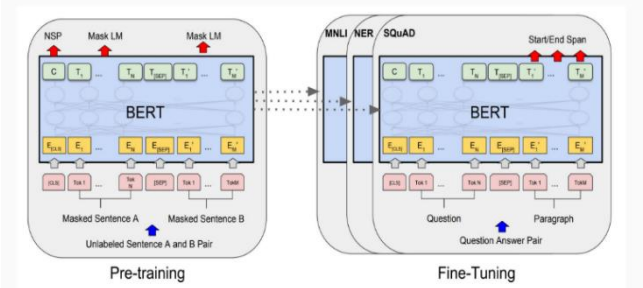


Fig. 2: ALBERT Architecture: Pre-training and Fine-Tuning

the total number of documents in the corpus, while doc_freq(t) denotes the number of documents that contain the term t.

Sentence Transformer is an NLP model that encodes sentences into dense numerical vectors, capturing their semantic meaning. Unlike word embedding's, it focuses on whole sentences using transformer architectures like BERT, variants of BERT i.e. ALBERT, span BERT.

$$Cosine\ Similarity(c1, c2) = \frac{c1 \cdot c2}{\|c1\|\|c2\|} \quad (4)$$

The equation (4) finds the cosine angle between two quantities: c1 and c2, and c1 and c2 in terms of sentence embeddings. In the numerator is the dot product of the two, meaning their directional alignment, while the denominator normalizes the result against the magnitudes of the two respectively. A cosine similarity value closer to 1 indicates that the sentences are similar in meaning, while a value closer to 0 suggests they are dissimilar.

C. Proposed Methodology

The proposed methodology integrates a wide variety of both machine learning and deep learning techniques such as sentence transformers and TF-IDF. Random Forest is an ensemble learning methodology that builds many trees during the training process. Each tree is trained on a random subset of the data and uses a random selection of features to make a decision. Because of this, the model is prevented from focusing too much on specific patterns in the training data, leading to overfitting in prediction.

$$\hat{y} = argmax_c \sum(T_i(x) == c) \quad (5)$$

The equation shows the prediction mechanism of a random forest model. Here, (y) is the predicted class obtained by maximizing the sum of votes across all trees (T_i), where (i(x) == c) indicates that the (i)-th tree predicts class (c). The model aggregates these votes to determine the final class (y) for the input (x). AdaBoost, brief for Adaptive Boosting, is an ensemble learning technique used in machine learning for improving the performance of weak classifiers. The final model is:

$$,F_T(x) = \sum_{t=1}^{T} f_t(x) \quad (6)$$

aggregates weak classifiers, each assigned a coefficient a_t to minimize training error:

$$E_t = \sum_i E[F_{t-1}(x_i) + a_t h(x_i)] \quad (7)$$

Here the misclassified instances are focused, which enhances the accuracy and robustness in classification tasks. The ALBERT (A Lite BERT) model enhances SMS spam classification by offering an efficient but powerful alternative to traditional BERT models. ALBERT employs techniques like factorized embedding parameterization, lowering memory usage and training overhead while keeping performance.

$$P_i = \frac{k_i}{\sum_j k_j} \quad (8)$$

The above equation shows the probability P_i of a special class i (spam or ham) according to the ALBERT model in the case of SMS classification. Here k_i denotes the score or output for the class i while $\sum_f k_f$ is the sum of scores across all possible classes. Span BERT is a variant of the BERT model specifically designed to enhance the representation of contiguous text spans, rather than individual tokens or whole sentences.

$$L(x_i) = L_{MLM}(x_i) + L_{SBO}(x_i) = -\log P(x_i|X_i) - \log P(x_i|Y_i) \quad (9)$$

$L(x_i)$: The overall loss for the input x_i, combining two loss components. $L_{MLM}(x_i)$: The loss from the masked language model (MLM), capturing how well the model predicts the masked parts of the input x_i given the contextX_i. $L_{SBO}(x_i)$: The loss from the span-based objective (SBO), which assesses the model's ability to predict x_i based on additional contextual information Y_i. $P\ (x_i|X_i)$: The probability of the input x_i given its context X_i in the MLM framework. $P\ (x_i|Y_i)$: The probability of the input x_i given an alternative context Y_i in the SBO framework.

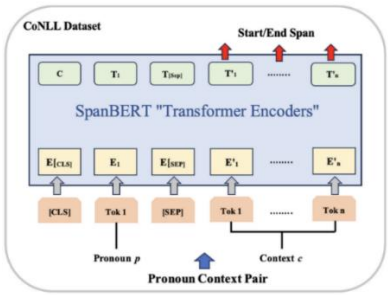


Fig. 3: SpanBERT Architecture for Contextual Understanding

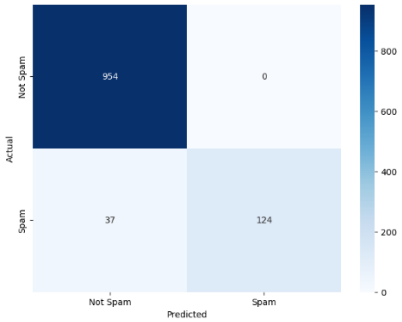
IV. RESULTS AND DISCUSSION

The results of the proposed framework for SMS Spam Classification show how different encoding methods affect the model's performance. With Sentence Transformer encoding, the AdaBoost model performs better than Random Forest, achieving 97% accuracy, 98% precision, 0.98% recall, and a 98% F1-score. In contrast with the Random Forest model with the same encoding has a little under performance, with 96% accuracy, 96% precision, 1% recall, and a 98% F1-score. Meanwhile, TF-IDF encoding works best for the Random Forest model, providing the highest performance with 98% accuracy, 98% precision, 1% recall, and a 99% F1-score. Conversely, AdaBoost with TF-IDF encoding performs moderately inadequate, achieving 95% accuracy, 95% precision, 0.97% recall, and a 97% F1-score. TF-IDF encoding keeps at it best with the Random Forest model, giving the highest F1-score of 99%. On the other hand, Sentence Transformer encoding is suitable for AdaBoost better, providing strong performance across all metrics.

Table 1: Results of Ensemble Based Models with Sentence Transformer and TF-IDF over SMS Spam Classification Dataset

Model	**Encoding Methods**	**Accuracy %**	**Precision**		**Recall**		**F1 Score**	
			Spam 1	**Ham 0**	**Spam 1**	**Ham 0**	**Spam 1**	**Ham 0**
AdaBoost	Sentence Transform	93%	90%	98%	89%	98%	90%	98%
	TFIDF	95%	96%	95%	66%	1%	78%	97%
Random Forest	Sentence Transform	97%	100%	96%	77%	1%	87%	98%
	TFIDF	98%	1%	98%	86%	1%	92%	99%

A. *Confusion Matrices:*



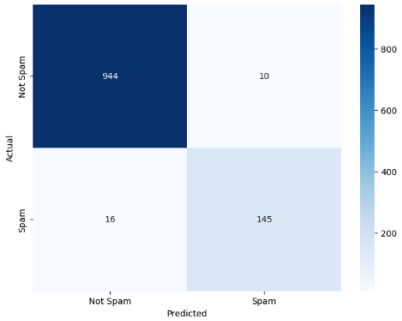


Fig. 4: Confusion Matrix for Random Forest

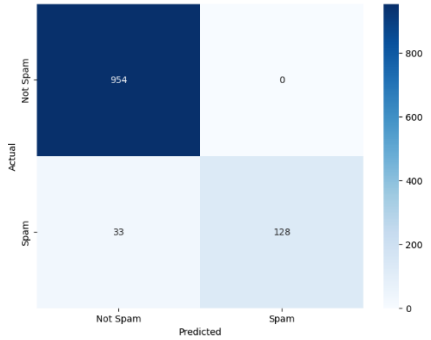


Fig 6: Confusion Matrix for Random Forest

Fig. 5: Confusion Matrix for AdaBoost

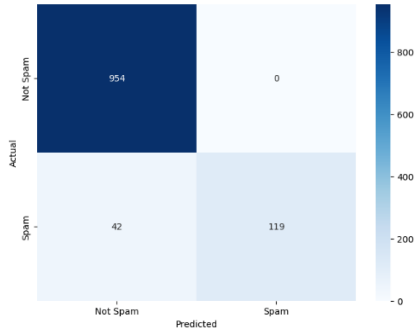


Fig. 7: Confusion Matrix for AdaBoost

B. *Bar Chart:*

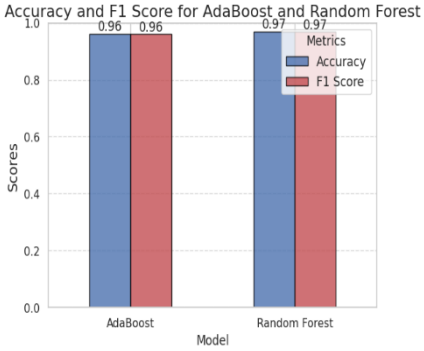


Fig. 8: Bar Chart of Accuracy and F1-Score for AdaBoost and Random Forest

Table 2: Results of Albert over SMS Spam Classification

Model	**Epochs #**	**Accuracy %**	**Precision %**	**Recall %**	**F1-Score %**
Albert	1 5 10 15 20	99.28 99.28 99.55 99.73 99.73	99.27 99.28 99.55 99.73 99.73	99.28 99.38 99.55 99.73 99.73	99.28 99.27 99.55 99.73 99.73

According to Table 2, with the TF-IDF encoding-based transformer model achieves 99.28% peak accuracy at 1 epoch. In contrast, the ALBERT model outperforms with a 99.55% accuracy at 10 epochs along with 99.55% precision, recall as well as F1-Score. Continuing training to 15 epochs, ALBERT further improves to an accuracy of 99.73%, maintaining the same precision, recall, and F1-Score.

C. *Confusion matrices:*

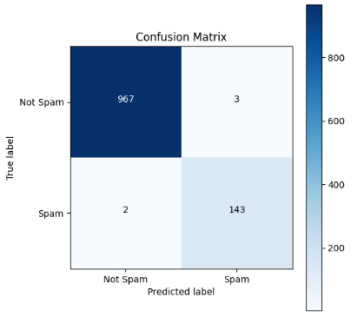


Fig. 9: Confusion Matrix for ALBERT

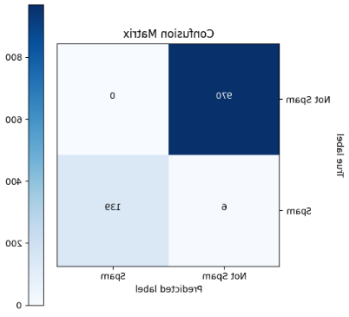


Fig. 10: Confusion Matrix for Span BERT

Table 3: Results of Span BERT over SMS Spam Classification

Model	Epochs#	Accuracy %	Precision %	Recall %	F1-Score %
Span BERT	1	98.47%	98.50%	98.47%	98.43%
	5	99.46%	99.46%	99.46%	99.45%
	10	98.11%	98.29%	98.11%	98.16%
	15	99.19%	99.20%	99.12%	99.18%
	20	99.46%	99.46%	99.46%	99.45%

According to Table 3, The transformer Model achieves the highest accuracy of 98.47% at 1 epoch, with precision, recall and F1 score values closely aligned. The model continues to improve through the training up to 5 epochs, when its accuracy rises to 99.46% along with precision and recall values. On the other hand, the Span BERT model, shows an accuracy of 98.11% at 10 epochs, but excels at 15 epochs, gaining an accuracy of 99.19% and sustains a robust result of 99.46% accuracy at the 20th epoch, showing stable and reliable results across the epochs.

V. Conclusion & Future work

This study explored the effectiveness of combining ensemble-based learning models (Random Forest and AdaBoost) with deep mastering methods (ALBERT and Span BERT) for SMS unsolicited mail classification. By using superior text preprocessing techniques and feature engineering methods, together with TF-IDF and Sentence Transformer embeddings, we carried out exceptional performance metrics. The Random Forest model paired with TF-IDF showed the quality results, with an accuracy of 98% and F1-Score of 99%. Meanwhile, the deep learning-based ALBERT model excelled with a peak accuracy of 99.73% at 15 epochs, showcasing its capability to handle complex styles in SMS textual content efficaciously. Future work may focus on increasing the dataset via incorporating large and extra numerous collections of SMS messages, inclusive of multilingual and region-unique samples, to increase the generalizability of the models.

Investigating hybrid models that integrate ensemble-based techniques with neural structure search (NAS) or transfer learning will boost overall performance. Enhancing adversarial robustness by incorporating adversarial training techniques is also critical to protect the models from potential attacks. Furthermore, enforcing explainable AI (XAI) frameworks to provide insights into model choices will improve transparency. Evaluating the performance of the models against evolved spam patterns over a long-term basis can ensure current potency against emerging threats.

References

[1] R. L. J.-J. of I. Science and undefined 1989, "Minimizing information overload: the ranking of electronic messages," *journals.sagepub.com*, vol. 15, no. 3, pp. 179–189, 1989, doi: 10.1177/016555158901500306.

[2] J. Brown, B. Shipman, R. V.- Computer, and undefined 2007, "SMS: The short message service," *ieeexplore.ieee.org*, Accessed: Apr. 28, 2025. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4404822/

[3] A. Bhowmick, S. H.-A. in Electronics, C. and, and undefined 2017, "E-mail spam filtering: a review of techniques and trends," *Springer*, vol. 443, pp. 583–590, 2018, doi: 10.1007/978-981-10-4765-7_61.

[4] E. Dada, J. Bassi, H. Chiroma, S. A.- Heliyon, and undefined 2019, "Machine learning for email spam filtering: review, approaches and open research problems," *cell.com*, Accessed: Apr. 28, 2025. [Online]. Available: https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(18)35340-4

[5] J. Nawal, G. Arshad, M. Ahmed, M. Shahid, and H. Khan, "Medical Intent Classification Using Ensemble and Deep Learning Models," *researchgate.netJ Nawal, G Arshad, M Ahmed, MMA Shahid, HU Khanresearchgate.net*, Accessed: Apr. 28, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Ijist-Jr/publication/389322102_Medical_Intent_Classification_Using_Ensemble_and_Deep_Learning_Models/links/67be873c96e7fb48b9cde40e/Medical-Intent-Classification-Using-Ensemble-and-Deep-Learning-Models.pdf

[6] R. Shaw, H. B.-H. informatics journal, and undefined 2012, "Short message service (SMS) text messaging as an intervention medium for weight loss: a literature review," *journals.sagepub.com*, vol. 18, no. 4, pp. 235–250, Dec. 2012, doi: 10.1177/1460458212442422.

[7] M. Ahmed, H. Khan, T. Iqbal, F. K. Alarfaj, A. Alomair, and N. Almusallam, "On solving textual ambiguities and semantic vagueness in MRC based question answering using generative pre-trained transformers," *PeerJ Comput Sci*, vol. 9, p. e1422, Jul. 2023, doi: 10.7717/PEERJ-CS.1422/SUPP-13.

[8] T. Guzella, W. C.-E. S. with Applications, and undefined 2009, "A review of machine learning approaches to spam filtering," *Elsevier*, Accessed: Apr. 28, 2025. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095741740900181X

[9] M. Ahmed, H. U. Khan, and E. U. Munir, "Conversational AI: An Explication of Few-Shot Learning Problem in Transformers-Based Chatbot Systems," *IEEE Trans Comput Soc Syst*, vol. 11, no. 2, pp. 1888–1906, Apr. 2024, doi: 10.1109/TCSS.2023.3281492.

[10] G. C.-F. and T. in Information and undefined 2008, "Email spam filtering: A systematic review," *nowpublishers.com*, doi: 10.1561/1500000006.

[11] S. Delany, M. Buckley, D. G.-E. S. with Applications, and undefined 2012, "SMS spam filtering: Methods and data," *Elsevier*, Accessed: Apr. 28, 2025. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417412002977

[12] T. A.-P. of the C. name and undefined 2020, "A study of sms spam using machine learning," *researchgate.netT AsgherProceedings of the Conference name, 2020•researchgate.net*, Accessed: Apr. 26, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Tayba-Asgher/publication/345311834_A_Study_of_SMS_Spam_using_Machine_Learning/links/5fa2d226a6fdcc0624125680/A-Study-of-SMS-Spam-using-Machine-Learning.pdf

[13] D. Suleiman, G. Al-Naymat, M. I.-I. Journal, and undefined 2020, "Deep SMS spam detection using H2O platform," *researchgate.netD Suleiman, G Al-Naymat, M ItriqInternational Journal, 2020•researchgate.net*, Accessed: Apr. 26, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Dima-Suleiman/publication/345312255_Deep_SMS_Spam_Detection_using_H2O_Platform/links/5fa2e01892851cc286939a68/Deep-SMS-Spam-Detection-using-H2O-Platform.pdf

[14] "Detection of Roman Urdu fraud/spam SMS in Pakistan... - Google Scholar." Accessed: Apr. 26, 2025. [Online]. Available: https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Detection+of+Roman+Urdu+fraud%2Fspam+SMS+in+Pakistan+Using+Machine+Learning+authored+by+Muhammad+Ayaz1%2C+Sarwat+Nizamani2%2C+Aftab+Ahmed+Chandio3+and+Kirshan+Kumar+Luhana4&btnG=

[15] S. N.-J. of E. T. and Innovative and undefined 2018, "Mobile SMS Spam Detection using Machine Learning Techniques," *researchgate.netS NagreJournal of Emerging Technologies and Innovative Research, 2018•researchgate.net*, Accessed: Apr. 26, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Samadhan-Nagare/publication/371292744_Mobile_SMS_Spam_Detection_using_Machine_Learning_Techniques/links/647dadfbb3dfd73b7767dab9/Mobile-SMS-Spam-Detection-using-Machine-Learning-Techniques.pdf

[16] M. Khan, S. Ayub, M. Khan, … M. A.-P. J. of, and undefined 2019, "Machine learning for content-based detection of spam sms in local languages: a preliminary classification of romanized urdu messages," *search.proquest.comMS Khan, SI Ayub, MA Khan, M Afaq, F TilaPakistan Journal of Science, 2019•search.proquest.com*, Accessed: Apr. 26, 2025. [Online]. Available: https://search.proquest.com/openview/10d8759c0ecb0587af12866785d3a0af/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1616340

[17] "SMS Spam Detection Using Simple Message Content Features... - Google Scholar." Accessed: Apr. 26, 2025. [Online]. Available: https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=SMS+Spam+Detection+Using+Simple+Message+Content+Features+Dr.+Ghulam+Mujtaba1%2C+Majid+Yasin2&btnG=

[18] K. Hanif, H. G.-Irjmets. com, and undefined 2021, "Detection of Sms Spam and Filtering By Using Data Mining Methods: Literature Review," *academia.eduK Hanif, H GhousIrjmets. com, 2021•academia.edu*, Accessed: Apr. 26, 2025. [Online]. Available: https://www.academia.edu/download/97289305/1628083238.pdf

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Bakü'de Yetişen *Eupatorium maculatum* Bitkisinin Farklı Kısımlarının Antioksidan Kapasitesi

Salatin Bayramlı[1] ve Gülnur Arabacı [2*]

[1]*Kimya Bölüm / Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversite, Türkiye*
[2]*Kimya Bölüm / Fen Fakültesi, Sakarya Üniversite, Türkiye*

[*]*(garabaci@sakarya.edu.tr)*

Özet – Bu çalışmada, Bakü'de yetiştirilen *Eupatorium maculatum* bitkisinin yaprak ve çiçek kısımlarının antioksidan aktivitesinin, toplam fenol ve flavonoid içeriğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bitkinin antioksidan potansiyelini belirlemek için yaprak ve çiçek kısımları etanol ile ekstrakte edilmiştir. Bu ekstraktların antioksidan gücünü ve biyolojik aktivitesini değerlendirmek için çeşitli analitik ve spektrofotometrik yöntemler tercih edilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında bitkinin fenol ve flavonoid içeriği belirlenmiştir. Fenol içeriğinin belirlenmesinde Folin-Ciocalteu reaktifi, flavonoid için ise alüminyum nitrat kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda bitkinin tüm kısımlarının önemli miktarda fenolik ve flavonoid bileşikler içerdiği, bunun da antioksidan özelliğin varlığına işaret ettiği ortaya çıkmıştır. Antioksidan aktivitenin daha detaylı değerlendirilmesi için DPPH ve CUPRAC testleri kullanılmıştır. Sonuçlara göre, *Eupatorium maculatum* bitkisinin yaprak ve çiçek kısımlarının antioksidan aktiviteye sahip olduğu, hatta bitkinin farklı kısımlarının antioksidan aktiviteleri karşılaştırıldığında farklılıklar gözlenmiştir. Özellikle çiçek etanol ekstraktının yaprak kısmına göre toplam fenol içeriğinin daha yüksek olduğu ve bu ekstraktların DPPH ve CUPRAC testleri karşılaştırılsığında da çiçek kısmının daha yüksek antioksidan kapasşte sergilediği tespit edilmiştir. Bu çalışma, Bakü'de yetiştirilen *Eupatorium maculatum* bitkisinin hem yaprak hem de çiçek kısımları ile doğal bir antioksidan kaynağı olarak büyük bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu özellikler bitkinin farmakolojik ve biyomedikal uygulamalarda kullanım olasılığını genişletiyor. *Eupatorium maculatum* bitkisinin hem yaprak hemde çiçek kısımlarının biyoaktif bileşikler açısından zengin olduğu ve yüksek antioksidan özellikleriyle sağlık alanında çeşitli uygulamalara sahip olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler – Eupatorium maculatum, Antioksidan aktivite, Fenolik madde, DPPH, CUPRAC

I. GİRİŞ

Modern çağda oksidatif stres ve buna bağlı oluşan biyokimyasal değişimler insan sağlığı açısından ciddi sorunlara yol açmaktadır. Oksidatif stres, vücuttaki serbest radikaller ile reaktif oksijen türleri (ROS) arasındaki dengesizlik sonucu hücrelere ve dokulara zarar verir. Bitkilerde antioksidan aktivite sağlayan başlıca biyoaktif maddeler fenolik bileşikler ve flavonoidlerdir. Bu bileşikler serbest radikalleri etkisiz hale getirme özelliklerinin yanı sıra antiinflamatuar, antimikrobiyal ve antikarsinojenik etkilere de sahiptir[1]. Özellikle yerel bitki türlerinin kimyasal bileşiminin ve biyolojik aktivitesinin araştırılması, doğal antioksidan kaynaklarının belirlenmesi, tıbbi ve farmakolojik kullanımlarının genişletilmesi önem taşımaktadır[2].

Eupatorium maculatum (benekli *Eupatorium*), Asteraceae familyasına ait çok yıllık otsu bir bitkidir. Bu bitki esas olarak Kuzey Amerika'ya özgüdür, ancak Kafkasya bölgesi ve Bakü de dahil olmak üzere çeşitli bölgelerde de bulunur. Nemli ve bataklık alanlarda gelişmeyi sever ve doğada çoğunlukla nehir kıyılarında, bataklıklarda ve nemli çayırlarda yetişir. Modern bilimsel araştırmalar, bu bitkinin çeşitli fenolik ve flavonoid bileşikler açısından zengin olduğunu ve bu bileşiklerin ona antioksidan ve

farmakolojik etki sağladığını göstermektedir [3]. Özellikle fenolik ve flavonoid içeriğinden dolayı antioksidan, antiinflamatuar ve antimikrobiyal özellikler göstermektedir [6].

Eupatorium maculatum yapraklarındaki biyoaktif maddeler iltihaplı süreçleri azaltır ve bu özellik geleneksel tıpta artrit ve diğer iltihaplı hastalıkların tedavisinde kullanılır. Yaprak özleri bazı bakteri ve mantar türlerine karşı antimikrobiyal etkiye sahiptir. Özellikle *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* gibi mikroorganizmalara karşı etkilidir [7]. *Eupatorium maculatum* yaprakları içeriğindeki fenol ve flavonoidler nedeniyle güçlü antioksidan özelliğe sahiptir. Bu bitkinin yaprakları geleneksel ve modern tıpta yaygın olarak kullanılmakta olup oksidatif strese karşı koruyucu, iltihap giderici ve antimikrobiyal etkiye sahiptir [8].

Eupatorium maculatum bitkisinin çiçekleri yüksek fenol ve flavonoid içeriğine sahip olduğundan, güçlü antioksidan, iltihap giderici ve antimikrobiyal özelliklere sahip bir bitkidir. Hem geleneksel tıpta hem de modern farmakolojide kullanılan çiçekler biyoaktif bileşenler açısından zengindir [9]. Antioksidant aktivlik çiçeklerin yüksek fenol ve flavonoid içeriği onları güçlü bir antioksidan kaynağı haline getiriyor. DPPH ve CUPRAC testleri çiçek özlerinin serbest radikalleri etkisiz hale getirme özelliğine sahip olduğunu göstermektedir. Yapılan araştırmalar, çiçek özlerinin iltihapları azaltmaya yardımcı olduğunu, özellikle romatizma ve artrit gibi hastalıklarda etkili olabileceğini göstermektedir [10].

Çiçeklerin içeriğindeki biyoaktif maddeler karaciğer hücrelerini oksidatif hasardan korur ve detoksifikasyon süreçlerini destekler. Bazı araştırmalar çiçek özlerinin sakinleştirici ve stres giderici etkileri olduğunu gösteriyor. Çiçek özlerinin yüksek fenol ve flavonoid içeriği nedeniyle güçlü antioksidan etkiye sahip olduğu bilimsel çalışmalarla ortaya konulmuştur [11].

Geleneksel tıpta *Eupatorium* türleri iltihap giderici, idrar söktürücü, bağışıklık sistemini uyarıcı ve ateş düşürücü özelliklerinden dolayı kullanılmaktadır. Geleneksel tıpta *Eupatorium* türleri iltihap giderici, idrar söktürücü, bağışıklık sistemini uyarıcı ve ateş düşürücü özelliklerinden dolayı kullanılmaktadır. Modern bilimsel araştırmalar, bu bitkinin çeşitli fenolik ve flavonoid bileşikler açısından zengin olduğunu ve bu bileşiklerin ona antioksidan ve farmakolojik etki sağladığını göstermektedir [3].

Bu çalışmanın temel amacı Bakü'de yetiştirilen *Eupatorium maculatum* bitkisinin farklı kısımlarının etanol özütlerinin antioksidan aktivitelerini değerlendirmek ve toplam fenol ve flavonoid içeriklerini belirlemektir. Çalışmada bitkinin yaprak ve çiçek kısımlarının etanol özütleri hazırlanmış ve bu özütlerin antioksidan aktiviteleri DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil) ve CUPRAC (Bakır İndirgeyici Antioksidan Kapasitesi) analiz yöntemleri kullanılarak, toplam fenol içeriği için Folin-Ciocalteu yöntemi ve toplam flavonoid içeriği için ise alüminyum nitrat yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bitki Kaynağı

Eupatorium maculatum bitkinin yaprakları ve çiçekleri Azerbaycan, Bakü'den toplanmıştır.

Metod

1. Bitki özlerinin hazırlanması

Eupatorium maculatum bitkinin yaprakları ve çiçekleri yıkanmış ve ortalama 50ºC sıcaklıktaki fırında kurutulmuş ve toz haline getirilmiştir. Kurutulmuş bitki örnekleri, bir çalkalayıcıda oda sıcaklığında 24 saat boyunca etanol çözücüsü ile muamele edilmiştir. Ekstraksiyondan sonra, filtre kağıdı kullanılarak süzme işlemi gerçekleştirilmiş ve süzüntü toplanarak çözücü uzaklaştırılmıştır. Elde edilen katılar tartılıp stok çözeltisi, kullanılan konsantrasyonlarda etanolde çözülerek hazırlanmıştır.

2. Antioksidan Aktivite Tayini

E. maculatum bitki yaprağının ve çiçeğinin etanol özütlerinin antioksidan özellikleri DPPH ve CUPRAC yöntemleri kullanılarak araştırıldı. Ayrıca, özütlerin antioksidan özelliklerini desteklemek amacıyla özütlerin toplam fenolik ve flavonoid içerikleri de belirlendi.

A. DPPH Serbest Radikal Giderim Aktivitesi

Bitki yapraklarının etanol özütlerinin ve standart olarak askorbik asidin DPPH (1, 1-difenil-2-pikrilhidrizil) radikal aktiviteleri Brandt-Williams ve arkadaşları tarafından kullanılan yönteme göre belirlenmiştir [13]. 25 mg DPPH'yi 10 mL etanolde çözerek bir DPPH çözeltisi hazırlandı ve çözelti 4°C'de karanlıkta tutuldu. Bu çözeltiye çeşitli konsantrasyonlarda (100-500 µg/mL arasında) bitki yaprağı özütleri eklendi ve oda koşullarında 30 dakika tutuldu. Daha sonra absorbans değerleri bir spektrofotometrede 517 nm dalga boyunda ölçüldü.

Standart olarak askorbik asit kullanıldı. Deneyler üç kez tekrarlandı. Azalan absorbans değeri, DPPH çözeltisinin ölçüsü olan serbest radikal temizleme aktivitesini gösterir. DPPH serbest radikalinin kapasitesi aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplandı,

DPPH Radikal Temizleme Kapasitesi (% İnhibisyon) = $[(A_0 - A_1) / A_0]$ x 100

A_0 = Kontrol absorbansı
A_1 = Numune absorbansı

B. Bakır İyonları İndirgeme Tayini (CUPRAC)

CUPRAC yönteminin antioksidan testi, Apak ve arkadaşları tarafından kullanılan prosedür kullanılarak bitki özütlerine uygulanmıştır [14]. Bir test tüpüne aşağıdaki çözeltiler eklendi: Her bir bakır(II) çözeltisinden 1 ml, neocuprin çözeltisi ve amonyum asetat tamponu ve özütün 30, 50, 80, 100 ve 150 ml'si eklendi ve vorteksle karıştırıldı. Daha sonra çözeltiler oda sıcaklığında 30 dakika tutuldu. Tamamlanan reaksiyon karışımları 450 nm dalga boyunda okundu. Pozitif standart olarak troloks kullanıldı. Deneyler tüm konsantrasyonlar için 3 tekrar halinde gerçekleştirildi.

C. Toplam Fenolik Bileşik Madde Miktarı

Bitki özütlerinin toplam fenolik bileşik içeriği Folin-Ciocalteus reaktifi ile belirlenmiştir. 0,5 ml özüt, 1 ml Folin-Ciocalteu reaktifi ve %20 sudaki 3 ml sodyum karbonat çözeltisi test tüpüne eklendi ve vorteks yardımıyla karıştırıldı. Karışım oda sıcaklığında 2 saat 30 dakika bekletildi ve sonuçlar 750 nm'de ölçülerek gallik asit eşdeğeri (GAE) olarak hesaplanmıştır [15]. Deneyler üç kez tekrarlandı.

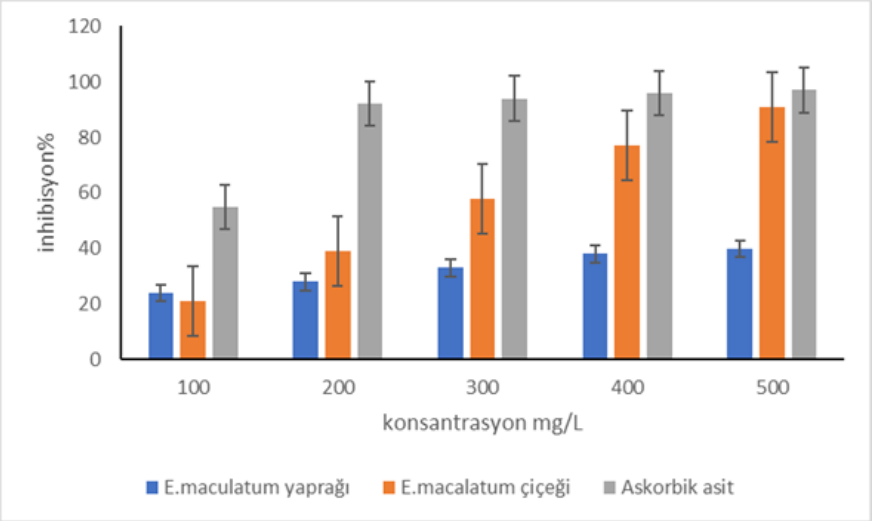
D. Toplam Flavonoid Bileşik Madde Miktarı

Toplam flavonoid içeriğinin belirlenmesi için her bitki özütünden 0,5 ml alındı, 0,1 ml sodyum asetat eklenmiş ve 1 dakika sonra 0,1 ml %10 $Al(NO_3)_3$ eklenerek çalkalanmıştır. Daha sonra hacimler etanol ile 5 ml'ye tamamlanmıştır. 50 dakika oda sıcaklığında bekletilen karışımların absorbans değerleri 450 nm dalga boyunda ölçülüp elde edilen sonuçlar kuarsetin eşdeğeri (QE) olarak hesaplanmıştır [16]. Deneyler üç kez tekrarlandı.

III. BULGULAR

A. *DPPH Yöntemi*

DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) serbest radikal temizleme testi, maddelerin antioksidan aktivitesini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan güvenilir ve hassas bir analiz yöntemidir. Bu yöntemde antioksidanlar DPPH radikalleriyle reaksiyona girerek onları nötralize eder ve mor rengin solmasına neden olur. Renk açılma derecesi antioksidan aktivite düzeyini yansıtmaktadır [13]. *Eupatorium maculatum* bitkisinin yaprak ve çiçek özütlerinin çeşitli konsantrasyonlarda (100-500 µg/mL) DPPH serbest radikallerini temizleme yeteneği karşılaştırılmıştır. Aynı koşullar altında pozitif kontrol grubu olarak askorbik asit kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar hem yaprak hem de çiçek özütlerinin antioksidan aktivitesinin konsantrasyon arttıkça arttığını göstermektedir. Özellikle çiçek özütü % 91 inhibisyonla yaprak özütüne (% 40 inhibiyon) karşı daha yüksek bir DPPH radikal giderim kapasitesi göstererek standart olan askorbik aside yakın bir etki sergilemiştir (Şekil 1).

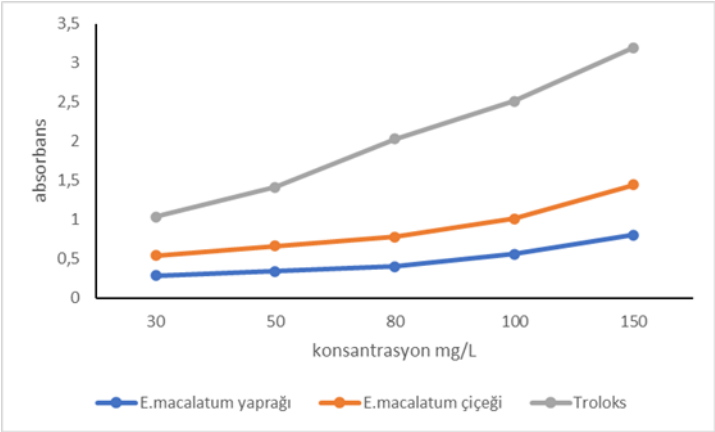


Şekil 1. *E. macalatum* bitkisinin yaprak ve çiçeğinin etanol özütlerinin DPPH serbest radikal kapasitesi

B. CUPRAC Yöntemi

CUPRAC (Bakır İndirgeyici Antioksidan Kapasitesi) yöntemi, maddelerin antioksidan potansiyelini ölçmek için kullanılan bir spektrofotometrik analiz yöntemidir. Bu yöntemde bakır(II) iyonları (Cu^{2+}), antioksidanlar aracılığıyla bakır(I) iyonlarına (Cu^{+}) indirgenir ve ortaya çıkan rengin yoğunluğu ölçülür. Renk değişimi antioksidan maddenin elektron verici özelliğini ve serbest radikal hasarını azaltma yeteneğini göstermektedir [14]. *Eupatorium maculatum* bitkisinin yaprak ve çiçek özütlerinin çeşitli konsantrasyonlarda (30-150 µg/mL) CUPRAC testinde antioksidan kapasitesi değerlendirilmiştir. Pozitif kontrol grubu olarak Trolox (suda çözünen bir E vitamini analoğu) kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre hem yaprak hem de çiçek ekstraktlarının konsantrasyonu arttıkça CUPRAC indirgeme kapasitesinin artması ile antioksidan aktivite de artmıştır. *E. maculatum* çiçek özütünün yaprağa göre daha yüksek indirgeme kapasitesi gösterdiği belirlenmiştir. Trolox standardı her iki özütten de daha güçlü antioksidan aktivite göstermiştir (Şekil 2).



Şekil 2. *E. macalatum* bitkisinin yaprak ve çiçeğinin etanol özütlerinin CUPRAC bakır iyonlarının indirgeme kapasitesi

C. Toplam Fenol ve Flavonoid İçeriği

Toplam fenol ve flavonoid içeriği bir bitkinin antioksidan potansiyelini değerlendirmede kullanılan temel göstergelerden biridir. Fenolik bileşikler ve flavonoidler, bitkilerde bulunan, serbest radikalleri etkisiz hale getirmeye ve hücre hasarını önlemeye yardımcı olan biyolojik olarak aktif maddelerdir. Bu özellikler bitkilerin sağlık üzerine olumlu etkilerini sağlayan başlıca mekanizmalardan biridir [15]. Bu çalışmada, *Eupatorium maculatum* bitkisinin yaprak ve çiçek ekstraktlarının toplam fenol ve flavonoid içerikleri ölçülmüş ve sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Sonuçlara göre: *E. Maculatum* yaprağının toplam fenolik içeriği 8,34 mg/g GAE (Galik Asit Eşdeğeri) ve flavonoid içeriği 21,65 mg/g QE (Kuersetin

Eşdeğeri) olarak bulunmuştur. *E. Maculatum* çiçeğinin toplam fenol seviyesi çok daha yüksek olup, 59,7 mg/g GAE'dir, ancak flavonoid içeriği daha düşük olup, 15,50 mg/g QE olarak belirlenmiştir. Bu bulgulara göre, *E. maculatum* çiçeği ve yaprakları yüksek fenolik içeriğe sahiptir, ancak yapraklar çiçeklerden daha fazla flavonoid içerdiği tespit edilmiştir. Yüksek fenol içeriği, bitkinin potansiyel antioksidan ve antiinflamatuar özelliklerini destekleyen önemli bir gösterge olarak bilinmektedir.

Bitki	Toplam Fenol(mg/GAE/g)	Toplam Flavonoid(mg/QE/g)
Eupatorium maculatum yaprağı	8,34	21,65
Eupatorium maculatum çiçeği	59,7	15,50

Tablo 1. *E. macalatum* bitkisinin yaprak ve çiçeğinin etanol özütlerinin toplam fenol ve toplam flavanoid madde miktarı

IV. TARTIŞMA

Bitkiler, yetiştirilme alanları ve koşulları ile bünyelerindeki farklı kısımlarının biyolojik özellikleri ve yapısı bakımından farklılık gösteren doğal ürünlerdir. Son zamanlarda, bilinen birçok hastalıkta ve bağışıklık sisteminin desteklenmesinde antioksidan içerikler bakımından zengin bitki çayları, sebzeler ve meyvelerle beslenmede ön plana çıkmıştır [17]. Bu çalışmanın sonuçlarına göre etanol ile özütlenen *Eupatorium maculatum* bitkisinin çiçek ve yaprak kısımları karşılaştırıldığında DPPH serbest radikal giderimi % 91 ile çiçek özütünün daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çiçek özütü CUPRAC indirgeme testinde de yapraktan daha yüksek aktivite sergilemiştir. Toplam fenolik madde miktarı ile karşılaştırıldığın çiçek özütü 59,7 mg/ GAE g ile yaprak özütünden (8,34 mg/ GAE g) daha yüksek içeriğe sahip olduğu bulunmuştur. Buna karşın yüksek flavonoid içeriği (21.65 mg/g QE) yapraklarda daha fazla gözlenmiştir. Bu durum yaprakların flavonoidler açısından daha zengin olduğunu, ancak çiçeklerin fenolik içerik açısından daha üstün olduğunu göstermektedir. Ancak çiçekteki toplam fenolik madde miktarının yaprağa kıyasla çok yüksek olması onun genel olarak DPPH ve CUPRAC testlerinin de yüksek çıkmasına neden olmuş olabilir ve genel sonuçlara göre *Eupatorium maculatum* bitkisinin çiçek özütü yaparak kısmına göre daha yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğu belirlenmiştir. Daha önceki çalışmamız kapsamında *Eupatorium maculatum* bitkisinin yaprak kısmının antioksidan değerleri *Pinus Eldarica* ve *Ficus benghalensis* bitkilernin yaprak kısım özütlerinin antioksidan değerleri ile kıyaslanmış ve *Eupatorium maculatum* yaprak özütünün diğerlerinden daha yüksek antioksidan özellik taşıdığı belirlenmiştir [18]. Literatürde farklı *Eupatorium* türlerinin farklı çözücülerle özütlenerek antioksidan değerleri incelenmiş ve iyi antioksidan özelliklere sahip oldukları belirlenmiştir [19]. Bunlardan, fenolik karışımlar ve uçucu yağlar içeren *E.cannabinum*'un antioksidan özelliği DPPH radikal giderim kapasitesi incelemesinde ve elektrokimyasal potansiyel tarama tekniği kullanıldığında pozitif sonuçlar gösterdiği belirlenmiştir [20]. Başka çalışmada *Alstonia boonei* ve *Eupatorium odoratum* yapraklarının sulu ve etanol özütlerinin in vitro antioksidan aktivitesi ve fenolik içeriği araştırılmıştır. *E. odoratum* ekstraktlarının fenolik ve flavonoid içeriklerinin antioksidan kapasitesinin *A. boonei* ekstraktlarından daha yüksek olduğu belirlenmiştir [21].

Eupatorium lindleyanum DC ayrıca etanol ve diğer çözücülerle özütlenerek toplam fenolik madde miktarı ile antioksidan değerleri DPPH, FRAP ve indirgeme kapasitesi incelenmiş ve etanol ile elde edilen özütün toplam fenolik madde miktarı 25,35 (mg of GAE/g) olarak belirlenirken, % DPPH radikal giderim kapasitesi ise 133.33 µg/mL konsantrasyon için %29,25 olarak belirlenmiştir [22]. Bu çalışmada *Eupatorium maculatum* için elde edilen toplam fenolik madde miktarı ve DPPH sonuçlarının literatürdeki verilerle benzerlik içerisinde olduğu tespit edilmiştir.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, *Eupatorium maculatum* bitkisinin yaprak ve çiçek kısımlarının etanol özütlerinin antioksidan potansiyeli, toplam fenolik ve flavonoid içerikleri değerlendirilmiştir. DPPH ve CUPRAC yöntemleri kullanılarak yapılan testler, *Eupatorium maculatum* bitkisinin yaprak ve çiçekleri serbest radikalleri etkisiz hale getirme özelliğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Özellikle çiçek özütü DPPH testinde daha yüksek aktivite göstermiştir. CUPRAC testinde hem yaprak hem de çiçek ekstraktlarının

konsantrasyonları arttıkça antioksidan aktivitenin arttığı gözlenmiştir. Toplam fenolik madde içeriği açısından da çiçek özütünün yüksek oranda fenik madde içerdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, *E. maculatum* bitkisinin hem yaprak hem de çiçek kısımları ile yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğunu göstermektedir. Bu özelliği ile *Eupatorium maculatum* bitkisi yüksek olasılıkla potansiyel ilaçlarda, doğal takviyelerde ve antioksidan tedavilerinde kullanılabileceği önerilebilir.

KAYNAKLAR

[1] Akinmoladun, Afolabi T., & Oboh, G. (2019). Antioxidant properties of Eupatorium maculatum L. extracts and its bioactive compounds. Food Science and Biotechnology, 28(6), 1595-1605.

[2] Alok, K., Mishra, S., & Prasad, S. (2020). In vitro antioxidant and antibacterial activities of Eupatorium maculatum extracts. Journal of Medicinal Plants, 18(3), 13-22.

[3] Anand, T., Khandelwal, A., & Sharma, P. (2018). Phytochemical evaluation and antioxidant activity of Eupatorium maculatum. Phytotherapy Research, 32(4), 529-536.

[4] Atalay, R., & Yildirim, Z. (2017). Evaluation of the antioxidant and antimicrobial properties of Eupatorium maculatum flower extracts. Food and Chemical Toxicology, 105, 105-110.

[5] Bae, H., & Park, H. (2019). Effects of Eupatorium maculatum extract on oxidative stress and inflammation in human cell lines. Antioxidants, 8(12), 618.

[6] Brown, J., & Smith, J. (2017). Comparative analysis of the flavonoid content and antioxidant activity in Eupatorium maculatum leaves and flowers. Journal of Natural Products, 80(2), 372-378.

[7] Chen, X., Wang, Y., & Wu, M. (2021). Evaluation of the antioxidant properties of Eupatorium maculatum using DPPH, CUPRAC, and ABTS assays. Antioxidant Science, 11(6), 81-89.

[8] Choi, M., & Lee, B. (2018). The role of phenolic compounds in the antioxidant activities of Eupatorium maculatum. Food Research International, 112, 141-148.

[9] Gök, S., & Çelik, E. (2020). Investigating the bioactive compounds and antioxidant activity of Eupatorium maculatum flower extracts. Herbology Journal, 29(2), 68-75.

[10] Gupta, S., & Yadav, S. (2022). Chemical constituents and antioxidant activity of Eupatorium maculatum leaves. Pharmaceutical Biology, 60(5), 225-234.

[11] He, S., Wang, L., & Li, X. (2020). Antioxidant potential and anti-inflammatory effects of Eupatorium maculatum extracts in vitro. Plant Physiology and Biochemistry, 157, 85-94.

[12] Jones, M., & Adams, G. (2019). The antioxidant activity of Eupatorium maculatum in diabetic rats: A biochemical study. Journal of Ethnopharmacology, 244, 112178.

[13] Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT - Food Science and Technology, 28(1), 25-30.

[14] Apak R., Guclu, K., Demirata B., Ozyurek M., Celik S.E., Betasoglu B., et al. (2007). Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assay applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. Molecules. 12(7):1496-547

[15] Kim D.O., Jeong SW, Lee CY. (2003). Antioxidant capacity of phenolics phytochemicals from various cultivars of plums. Food Chem. 81:321–6.

[16] Park Y-S., Jung S-T., Kang S-G., Heo B.K., Arancibia-Avila P., Toledo F., et al. (2008). Antioxidants and proteins in ethylene-treated kiwifruits. Food Chem.;107:640–8.

[17] Williamson, G., Manach, C. (2005). Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. II. Review of 93 intervention studies. Am. J. Clin. Nutr. 81: 243–255.

[18] Bayramli, S., Arabaci G., (2025). Investigation of Antioxidant Activities of Different Plants Grown in Baku. Int. J. Curr. Sci. Res. Rev. 8(3);1017-21.

[19] Biswas, A., Bhattacharya, S., Mahapatra, S.D., Debnath, M.D., Biswas, M.(2012) The Antioxidant Effects of *Eupatorium triplinerve*, *Hygrophila triflora* and *Pterocarpus marsupium*—A Comparative Study. Eur. J. Appl. Sci., 4, 136–139.

[20] Baptista, R.C., Horita, C.N., Sant'Ana, A.S. (2020). Natural products with preservative properties for enhancing the microbiological safety and extending the shelf-life of seafood: A review. Food Res. Int. 127, 108762

[21] Omoregie, E.S., Oriakhi, K., Oikeh, E.I., Okugbo, O.T., Akpobire, D. (2014). Comparative study of phenolic content and antioxidant activity of leaf extracts of *Alstonia boonei* and *Eupatorium odoratum*. Niger. J. Basic Appl. Sci. 22, 91–97.

[22] Yan, G., Ji, L., Luo, Y., Hu, Y. (2011). Antioxidant activities of extracts and fractions from *Eupatorium lindleyanum* DC. Molecules, 16, 5998–6009.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

ICSIS

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

The Effect of Magnesite Usage on Bitumen Modification: A Literature Review

Ali Mert BURAYA[1], Sebnem KARAHANCER [1*]

[1]*Department of Civil Engineering / Faculty of Technology, Isparta University of Applied Sciences, Turkey*

[*]*(sebnemsargin@isparta.edu.tr)*

Abstract – Bitumen is a widely used binder material in road construction due to its excellent adhesive and waterproofing properties. However, under continuous exposure to heavy traffic loads and varying environmental conditions, its performance tends to deteriorate over time. Common issues such as rutting, fatigue cracking, and thermal cracking significantly reduce the lifespan and quality of asphalt pavements. As a result, there is a growing need for innovative additives that can enhance the mechanical, chemical, and rheological properties of bitumen. This study focuses on investigating the effects of magnesite, a naturally occurring mineral, on bitumen modification processes. Through an extensive literature review, the advantages of using magnesite in asphalt mixtures have been analyzed, particularly in terms of improving durability, temperature susceptibility, and environmental compatibility. Findings from both national and international studies suggest that magnesite-modified asphalt exhibits superior performance characteristics, including enhanced stiffness, improved temperature resistance, and better resistance to permanent deformation. Moreover, magnesite presents an economical and sustainable solution, offering significant environmental benefits by reducing the carbon footprint associated with traditional binder production and modification. Its abundance in nature and minimal processing requirements make it an attractive alternative material. The incorporation of magnesite in bitumen technologies represents a promising and innovative approach that supports both the enhancement of pavement performance and the advancement of sustainable infrastructure development.

Keywords – Bitumen Modification, Magnesite, Additive Materials, Sustainability, Rheological Properties

I. INTRODUCTION

Transportation infrastructure plays a fundamental role in the economic and social development of modern societies. The durability, longevity, and environmental sustainability of road pavements are among the main focal points of engineering studies. Asphalt mixtures used today face significant performance issues due to traffic loads, climatic conditions, and environmental factors. In this context, various modification materials are employed to improve asphalt performance and enhance the long-term cost-effectiveness of road pavements. Magnesite, a naturally occurring mineral, has a wide range of applications across various industrial sectors. Due to its high thermal resistance, environmental compatibility, and chemical properties, it stands out as a potential additive material for asphalt binder modification. Asphalt mixtures modified with magnesite can offer several advantages, such as improved rheological properties, enhanced crack resistance, and increased abrasion resistance. Additionally, this type of modification can be considered an economically sustainable approach.

Bitumen is one of the most widely used binder materials in road construction worldwide. However, the production and use of bitumen raise significant concerns in terms of economic costs and environmental impacts. Issues such as deformation at high temperatures and cracking at low temperatures limit the performance of bitumen. In this regard, the use of innovative additives is critically important to improve

the rheological and mechanical properties of bitumen. Magnesite has the potential to offer both economic advantages and performance improvements as an environmentally friendly and sustainable alternative. Bituminous binder modification aims to enhance pavement performance by improving the characteristics of the binder material. The primary objective is to ensure that flexible pavements possess sufficient rigidity at high ambient temperatures to resist permanent deformation while maintaining adequate flexibility at low temperatures to resist cracking and fractures. Thus, resistance against stripping caused by surface water infiltration through fatigue cracks due to heavy traffic loads is improved, desired skid resistance is ensured on the pavement surface, and driving safety is enhanced. The modification process is carried out by adding various additives into the bitumen or bituminous mixture at specific ratios and conditions suitable for the intended purpose. In bituminous binder modification studies, polymer additives are generally used. Among these, the most commonly used polymer is styrene-butadiene-styrene (SBS), an elastomeric block copolymer that enhances the flexibility of the bituminous binder [1].

In Türkiye, the General Directorate of Highways (KGM) implemented the SBS-based polymer-modified bitumen binder specification for wearing courses in roads under its responsibility in 2005 [2]. Ghile (2006) proposed two types of nanoclay modifications in his study: nanofill and cloisite. Nanoclays were used at 3% and 6% ratios. Initially, microscopic and X-ray analysis tests were performed on the nanoclays. Subsequently, the effects of nanoclays on binder characteristics were studied by determining the rheological properties of unaged and aged bitumens using a dynamic shear rheometer. Furthermore, to observe the impact of modification on mixtures, indirect tensile strength tests, fatigue resistance tests, dynamic creep tests, and elastic modulus experiments were conducted. Cloisite improved hardness and rutting resistance, while nanofill enhanced both short- and long-term aging resistance. However, it was observed that nanoclay modification had a negative effect on fatigue resistance performance, particularly at low temperatures [3].

Xuan (2007) prepared bitumen/layered silicate nanocomposites by melt mixing using regular layered silicate and organically modified layered silicate. Physical properties, dynamic rheological properties, and stability characteristics were investigated. Viscosity, penetration, and softening point values were evaluated before and after aging, and the microstructures and dispersion states were analyzed. The addition of layered silicates led to improvements in softening point, viscosity, and storage stability. Moreover, modified bituminous binders exhibited higher complex modulus and lower phase angle values. Compared to regular layered silicates, organically modified layered silicates demonstrated more significant improvements in softening point and rutting resistance [4]. Baochang et al. (2009) investigated the effects of a styrene-butadiene-rubber/montmorillonite (SBR/MMT) nanocomposite on asphalt properties and characteristics. The dispersion of the SBR/MMT composite in asphalt was examined using X-ray diffraction. As a result of the study, increases were observed in the softening point and viscosity values, and a decrease was observed in the penetration value. The modified bituminous binder exhibited a high complex modulus and a low phase angle. Improvements in viscoelastic properties and enhanced rutting resistance at high temperatures were achieved [5].

Golestani et al. (2012) studied the use of two different types of SBS polymers, linear and branched structures, with organic montmorillonite. For the linear structure, 3%, 4%, 5%, and 6% by weight of bitumen were used; for the branched structure, 3.5%, 4.5%, and 5.5% were used. According to XRD results, the linear SBS exhibited a dispersed structure, while the branched SBS showed an intercalated layered structure. With the addition of nanoclay to polymer-modified bitumens, the softening point and viscosity values increased, while the penetration value decreased. Ductility and elastic recovery improved, and storage stability showed notable enhancement [2]. El-Shafie et al. (2013) investigated the effects of macro and organically modified nanoclays on the physical and mechanical properties of bituminous binders. Different proportions ranging from 2% to 8% were added to the bituminous binder. The properties of the modified binders were characterized using kinematic viscosity, softening point, and penetration values and compared with unmodified bitumen. Higher softening point values and approximately 25% reduction in penetration were achieved compared to the base binder. Kinematic viscosity increased by an average of

222% at 135°C and by an average of 145% at 150°C. Tensile strength was tested as a function of the clay type and content. It was observed that the tensile strength of nanoclay-modified binders was superior to those of macroclay-modified and unmodified binders [6]. Hamzah et al. (2006) examined the rheological properties of pure 80/100 penetration grade bitumen and crumb rubber modified bitumen using a Dynamic Shear Rheometer (DSR). They also investigated the stiffness moduli of hot mix asphalt samples prepared with these binders. The asphalt specimens were prepared using a kneading compactor. Through this approach, the relationship between the complex modulus of bitumen and the stiffness of the mixture was determined. The results indicated that the addition of ground vehicle tires increased the G*/sinδ value of the original bitumen, thereby offering longer fatigue life. Moreover, crumb rubber-modified mixtures exhibited 24% higher Marshall stability, 56% higher creep stiffness, and lower temperature sensitivity compared to unmodified mixtures [7].

II. MATERIALS AND METHOD

A. Definition and Importance of Bitumen and Bitumen Modification

Bitumen is a non-volatile, adhesive, and water-resistant material obtained either from natural asphalt (lake or rock asphalt) or from the distillation of crude oil. Bitumen, being one of the oldest known engineering materials, has been used for a very long time as an adhesive, waterproofing agent, protective coating, impermeability additive, and binder in road pavement structures due to its unique properties. Bitumen is a high-viscosity, colloidal material whose viscosity is temperature-sensitive; it softens when heated and becomes almost completely solid at room temperature or when cooled. Moreover, it is largely or completely soluble in solvents such as trichloroethylene/tetrachloroethylene and toluene [8]. Chemical composition of bitumen is presented in Table 1.

Table 1. Chemical Composition of Bitumen [9]

Components	**Percentage (%)**
Carbon	82-88
Hydrogen	8-11
Nitrogen	0-1
Sulfur	1-6
Oxigen	0-1.5
Trace amounts of metals (oxides, salts, or organic compounds containing metals)	

Bituminous materials are used as binders in flexible pavements due to their resistance to environmental effects, their ability to form a strong bond with aggregates within the mixture, and their high impermeability characteristics. Bituminous binders are viscoelastic materials that provide flexibility to the pavement when mixed with aggregates. In addition to these properties, they are highly resistant to acid, alkali, and salt reactions. Although bitumen is a solid or semi-solid material at normal temperatures, it can be converted into a liquid state by applying thermal treatment, adding solvents, or emulsifying with water [10].

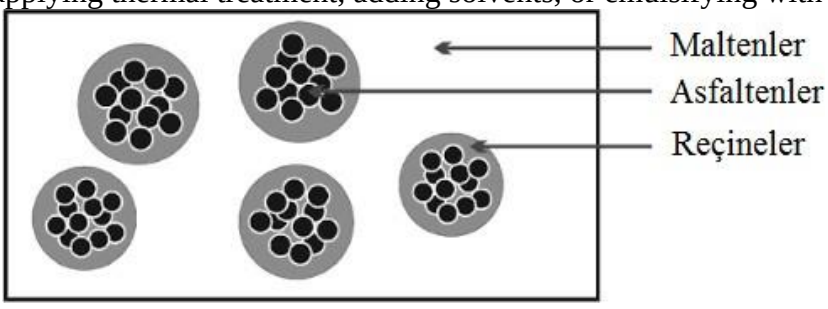


Figure 1. Structure of Bitumen

Bitumen is classified into two main components based on its solubility in n-heptane: asphaltenes and maltenes. Maltenes are further divided into subgroups known as saturates, aromatics, and resins (Figure 1) [10].

Bituminous materials are classified into two main groups: asphalt and tar (Figure 2).

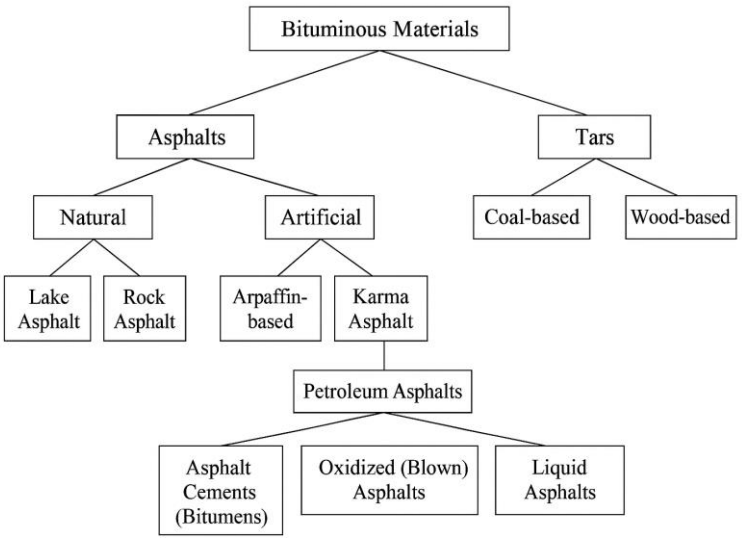


Figure 2. Classification of Bituminous Materials [11]

In flexible pavement applications, the process of adding various additives to bituminous binders or mixtures at specific ratios and conditions to enhance their performance and prevent deformation is referred to as modification [12]. Due to its rheological structure, bitumen exhibits viscoelastic behavior. This characteristic allows it to resist permanent deformation and cracking, making it highly effective in improving pavement performance parameters. Accordingly, bitumen behaves elastically under high loading rates (i.e., fast-moving traffic), while it shows viscous behavior under low loading rates (i.e., slow-moving traffic). At medium loading rates, it displays both elastic and viscous behavior simultaneously [13].

The objective of the modification process is to produce flexible pavements with superior stability and performance, extended service life, and reduced need for maintenance and repair. The intended purposes of using modified bitumen and mixtures can be summarized as follows:

- To obtain softer mixtures for low temperatures and reduce cracking,
- To produce stiffer mixtures for high temperatures and minimize rutting,
- To enhance the abrasion resistance of the mixture and reduce aggregate stripping,
- To improve workability and compactability,
- To increase the strength and stability of the mixture,
- To reduce low-temperature cracking in pavements,
- To improve the fatigue resistance of the mixture,
- To form a thicker bituminous binder film over aggregates [11].

Recent studies on bituminous binders have shown that adding certain additives compatible with the bitumen structure has positively influenced the rheological behavior of the binder. These additives have improved the properties of bitumen and enhanced its overall performance. Various types of additives are used in the modification of bituminous binders. Table 2 presents the types of additives and the effects observed as a result of their incorporation.

Table 2. Classification of Additive Materials Used in Modification [14]

Type		**Samples**	**Effect on Binder**
Filler		Mineral filler, Lime, Portland cement, Fly ash, Carbon black, Sulfur	Hardening
Extender		Sulfur, Lignin (wood extract)	Hardening
Rubber (Elastomer) Natural latex, Synthetic latex, Block copolymer, Processed rubber	**Polymers**	Styrene-Butadiene-Styrene (SBS), Styrene-Butadiene-Rubber (SBR), Natural rubber, Reclaimed rubber, Waste tire rubber	-

Plastic (Plastomer)		Polyethylene, Polypropylene, Ethylene-Vinyl-Acetate (EVA), Polyvinyl Chloride (PVC)	Hardening
Composite		Blends of rubber and plastic polymers	-
Fiber		Natural: Asbestos, Rock wool Artificial: Polypropylene, Polyester, Fiberglass	Hardening
Oxidant		Manganese salt	Hardening
Antioxidant		Lead compounds, Carbon, Calcium salt	Softening
Hydrocarbon		Re-recycling and rejuvenation oils, Natural asphalts	Softening or hardening
Anti-stripping Agent		Amines, Lime	Softening

With the increasing use of modified bitumen and mixtures, recent studies have shown that among all types of additives, polymer additives have become particularly prominent. The use of polymer-type modifying additives aims to improve the temperature sensitivity and physical properties of bituminous binders at both high and low temperatures, thereby enhancing the final performance of the mixtures produced with the modified binders [15].

B. General Properties and Applications of Magnesite

Magnesite is a mineral with the chemical formula $MgCO_3$, theoretically composed of 52.3% CO_2, 47.7% MgO, and trace amounts of Fe_2O_3. It has a hardness ranging between 3.4 and 4.5 on the Mohs scale and a specific gravity of 2.9–3.1. Its color varies from white, yellow, gray, to brown. In nature, magnesite occurs in two forms: cryptocrystalline (gel-like or amorphous) and **crystalline** (coarse crystalline). It is a hard and complex mineral. Although cryptocrystalline magnesite is generally found in a pure form, it may sometimes contain minor amounts of iron, lime, alumina, and a small amount of free silica. The quality of the ore increases or decreases depending on the proportions of these compounds.

The largest consumption of magnesium occurs in the form of magnesium compounds (such as MgO, $MgCl_2$, $Mg(OH)_2$, and $MgSO_4$). Among these, MgO (Sintered Magnesite), which accounts for approximately 80% of total global consumption, holds a leading position. Due to its high melting point, MgO is a crucial input for the refractory materials industry. The primary source of magnesia and other magnesia compounds is magnesite. Magnesite, being a magnesium carbonate mineral, is one of the naturally abundant compounds in nature. However, finding magnesite with properties suitable for various industrial applications in nature is relatively difficult. Even a slight deviation (less or more than 0.1%) in the amount of foreign elements within magnesite can determine whether it is economically viable to process the mineral with today's technology [16].

Sintered magnesite is produced by sintering magnesite at around 1750°C. Globally, about 75% of sintered magnesite is produced directly from magnesite ore. Almost the entire production of sintered magnesite is consumed in the refractory industry as a basic refractory brick material or monolithic material.

The applications of magnesite are listed below:

- In the agricultural industry, as a fine-grain additive for animal feed,
- In the fertilizer industry, coarse-grain materials used as dust-free pasteurizing agents,
- In the construction industry, for insulation blocks, suspension floors, and lightweight structural elements,
- In the pharmaceutical and medical industries,
- In the general chemical industry, as a raw material for the production of magnesium compounds,
- In the rubber and plastic industries, as a stabilizing and vulcanizing agent,
- In automotive lubricating oils, as an additive to neutralize acids in high-speed engines,

- In the uranium industry, as an absorbent and catalyst in the carbonate circuits used for uranium oxide extraction from uranium ores.

III. Results

Magnesite, as a natural mineral, offers significant sustainability potential in the field of asphalt modification. This potential can be evaluated under the following main categories:

A. *Environmental Benefits*

- **Low Carbon Footprint:** Since magnesite can be extracted directly from mines and requires minimal processing, it results in lower energy consumption and carbon emissions during production compared to other additives.
- **Efficient Use of Natural Resources:** Magnesite reserves are widely distributed across the world and are considered a low-risk resource in terms of depletion. This provides an important advantage for sustainable infrastructure projects.
- **Waste Management:** The use of magnesite can contribute to the development of environmentally friendly pavements by reducing the environmental impact of other additives used in asphalt production.

B. *Economic Sustainability*

- **Low-Cost Production:** Magnesite is less expensive compared to existing modification materials, offering an economical solution particularly for large-scale road projects.
- **Long-Lasting Pavements:** The addition of magnesite enhances the crack resistance and deformation resistance of asphalt, thereby reducing maintenance costs over time. This results in both economic and environmental savings in the long term.

C. *Social Benefits*

- **Durability of Infrastructure:** Asphalt modified with magnesite can provide a more durable and long-lasting road infrastructure, improving traffic safety and enhancing user comfort.
- **Contribution to Local Economies:** Extraction of magnesite from local mines can create employment opportunities and support local economies.

D. *Magnesite and Circular Economy*

The use of magnesite in asphalt modification can promote the principles of a circular economy. For example:

- **Recycling of Waste Materials:** Asphalt mixtures modified with magnesite can facilitate the recycling of road pavements.
- **Material Efficiency:** By improving the performance of asphalt, magnesite additives can achieve the same durability with less material usage.

E. *Climate Change and Climate Resilience*

Asphalt modified with magnesite becomes more resistant to extreme temperature fluctuations. This enhances the service life of pavements exposed to increased thermal stress due to climate change, contributing to the development of climate-resilient infrastructure projects.

F. *Identified Gaps and Deficiencies in the Literature*

- **Limited Research on the Role of Magnesite in Asphalt Modification:** While the effects of additives such as polymers, nanosilica, and montmorillonite have been extensively studied, research focusing on the impact of magnesite on the properties of asphalt binders remains limited. More experimental data are needed, particularly regarding magnesite's contributions to rheological, mechanical, and thermal properties.
- **Insufficient Studies on the Use of Local Resources:** In countries like Türkiye, which have abundant magnesite reserves, there is a lack of comprehensive studies evaluating the effective use

of this resource for asphalt modification. Detailed analyses regarding the economic and environmental benefits of local resource utilization are missing.

- **Lack of Long-Term Performance and Field Application Studies:** Most existing studies are limited to laboratory scales. There is a need for systematic studies assessing the long-term field performance of asphalt modified with magnesite under real-world conditions.
- **Insufficient Analysis of Environmental Impacts and Carbon Footprint:** Although general assessments on the environmental impacts of asphalt modification and additives exist, there is a lack of detailed research specifically addressing the potential carbon footprint impacts of magnesite use.
- **Economic Feasibility and Cost Analysis Deficiencies:** Comprehensive economic analyses evaluating the cost-effectiveness of magnesite-modified asphalt are scarce. This lack of information hinders the broader understanding of the large-scale applicability of magnesite.
- **Limited Data on Crack and Deformation Resistance Contributions:** There is a limited amount of data regarding the specific effects of magnesite on crack resistance and deformation resistance in asphalt. This is particularly critical for pavements exposed to heavy traffic loads.

IV. DISCUSSION

This study presents a theoretical approach to the potential use of magnesite mineral in asphalt protectives and provides various evaluations based on information obtained from the existing literature. The findings indicate that magnesite has significant potential to enhance asphalt additives and contribute to sustainability. The literature suggests that many materials can improve the mechanical properties of asphalt, particularly enhancing resistance to deformation at high temperatures and reducing cracking at low temperatures. This not only extends the service life of pavements but also reduces maintenance and repair costs. Economic criticality must also be considered. The procurement of local resources offers a cost-effective and environmentally friendly alternative by supporting economic sustainability and reducing the carbon footprint. However, the existing information on the effects of magnesite on asphalt binders is mainly limited to laboratory studies, and more comprehensive investigations into field applications are needed. Therefore, emphasis should be placed on conducting field tests to evaluate magnesite-modified asphalt under various climatic and traffic conditions. Additionally, determining the optimal proportions of magnesite in asphalt mixtures would help achieve more effective results both economically and in terms of performance. In terms of environmental impacts, more detailed analyses of contributions to carbon emissions and energy consumption are necessary to clearly demonstrate the sustainability benefits of this additive.

Future research should also include comparative analyses between magnesite and other additives. Specifically, determining in which aspects magnesite outperforms widely used additives such as polymers and nanosilica would help broaden its application areas. Furthermore, promoting international collaborations could allow the applicability of magnesite-modified asphalt to be tested in different regions. Such studies would contribute not only to the scientific literature but also to the global asphalt industry. In conclusion, magnesite-modified asphalt represents an innovation with substantial potential both technically and economically. However, to fully realize this potential, more extensive data, field applications, and comprehensive analyses are necessary. This study aims to lay a significant foundation for identifying the role of magnesite in asphalt modification and to serve as a guide for future research.

V. CONCLUSION

The exploration of magnesite as an alternative additive for asphalt modification represents a promising step toward sustainable and cost-effective infrastructure solutions. Unlike conventional polymeric or synthetic additives, magnesite offers advantages such as environmental compatibility, widespread natural availability, low processing requirements, and economic feasibility. This study highlighted that magnesite can enhance the mechanical, rheological, and durability properties of asphalt mixtures, potentially extending pavement service life while reducing maintenance costs and environmental impact. Nevertheless,

fully unlocking the potential of magnesite requires further in-depth research. Laboratory findings need to be validated through long-term field performance studies under diverse climatic and traffic conditions. Additionally, comprehensive environmental and economic analyses must be conducted to assess magnesite's full sustainability footprint compared to traditional additives.

Future research should also focus on optimizing the blending ratios, exploring synergistic effects with other modification materials, and promoting standardized guidelines for magnesite use in road construction. International collaborations and cross-regional pilot projects would be particularly beneficial for accelerating the adoption of magnesite-modified asphalt technologies globally. Overall, magnesite emerges not only as a technically viable but also as a strategically sustainable material that could reshape the future landscape of asphalt pavement technology.

ACKNOWLEDGMENT

This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

REFERENCES

[1] Becker, Y., Méndez, M. P. ve Rodríguez, Y. (2001). Polymer modified asphalt. Vision Technologica, 9 (1), 39-50.
[2] Golestani, B., Nejad, F. M. ve Galooyak, S. S. (2012). Performance evaluation of linear and nonlinear nanocomposite modified asphalts. Consturction and Building Materials, 35, 197-203.
[3] Ghile, D. B. (2006). Effects of nanoclay modification on rheology of bitumen and on performance of asphalt mixtures. Yüksek Lisans Tezi, Delft University of Technology, Delft.
[4] Xuan, Z. (2007). Preparation and properties of asphalt/layered silicate nanocomposites. Yüksek Lisans Tezi, Wuhan University of Technology, Çin.
[5] Baochang, Z., Man, X., Dewen, Z., Huixuan, Z. ve Baoyan, Z. (2009). The effect of styrene–butadiene–rubber/montmorillonite modification on the characteristics and properties of asphalt. Construction and Building Materials, 23, 3112-3117.
[6] El-Shafie, M., Ibrahim, I. M. ve Abd El Rahman, A. M. M. (2012). The addition effects of macro and nano clay on the performance of asphalt binder. Egyptian Journal of Petroleum, 21, 149-154.
[7] Hamzah, M.O., Mohamed, A.A. and Ismail, H., 2006. Laboratory Investigation of the Properties of a Newly Developed Crumb Rubber Modified (Cr1) Asphalt Mixtures, Emirates Journal for Engineering Research, 11(2), 67-72.
[8] Lesueur, D. "The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification," Advances in colloid and interface science, 145, 42-82, 2009.
[9] Tunç, A. (2007). Yol malzemeleri ve uygulamaları (2. Baskı). Ankara: Nobel Dağıtım.
[10] Whiteoak, D. ve Read J. M. (2003). The shell bitumen handbook (5. Baskı). London: Thomas Telford Services Ltd.
[11] Orhan, F. (2012). Bitümlü karışımlar laboratuarı çalışmaları. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları.
[12] Malkoç, G. (2002). Yol üst yapılarında kullanılan modifiye asfaltlar ve modifiye bitüm şartnamesi. Ankara: KGM Teknik Araştırma Dairesi Y ayınları.
[13] Hunter, R. N. (Ed.). (1994). Bituminous mixtures in road construction. London: Thomas Telford.
[14] Ilıcalı, M. (2001). Asfalt kaplamalar (1. Baskı). İstanbul: İstanbul Asfalt Sanayi ve Ticaret A.Ş. Yayınları.
[15] Jahromi, S. G. ve Khodaii, A. (2009). Effects of nanoclay on rheological properties of bitumen binder. Construction and Building Materials, 23, 2894-2904.
[16] Yıldız, R., ve ERDOĞAN, N., 1995, Manyezit ve Bazik Refrakter Malzeme Teknolojisi, Kütahya.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Advances in CFD Modeling and Hybrid Design Approaches of Gas-Liquid Separation

Azamat Nurpeisuly[*1], Merdin Danismaz [2]

[1,2]*Department of Mechanical Engineering, Kırşehir Ahi Evran University, Türkiye*

[*]*(azamat.nurpeisov.spe@gmail.com)*

Abstract – This review synthesizes findings from various studies focused on the optimization of gas-liquid separators, emphasizing the application of CFD and experimental methodologies. The examination reveals that CFD models, particularly those utilizing Euler-Lagrange and Euler-Euler techniques within ANSYS Fluent, play a crucial role in simulating flow dynamics and enhancing separator efficiencies. The studies collectively present a range of efficiencies achieved under different operational conditions, highlighting significant variations due to factors such as inlet diameter, pressure, and liquid volume fraction (LVF). Notably, the research underscores the importance of geometrical configurations, where adjustments to baffle design and separator dimensions can lead to substantial performance improvements. Additionally, hybrid designs that integrate centrifugal and gravitational separation methods have demonstrated promising results in handling a wide range of gas void fractions. The findings advocate for continuous exploration of innovative solutions and the necessity for experimental validation to ensure the practical application of theoretical insights. Ultimately, this review contributes valuable knowledge for engineers and researchers aiming to enhance the design and operation of gas-liquid separators in various industrial contexts.

Keywords – Gas-liquid separation, separator performance, hybrid designs, operational efficiency, CFD

I. INTRODUCTION

The optimization of gas-liquid separators has gained significant attention in recent years, driven by the need for improved efficiency and performance in various industrial applications. A variety of studies have focused on both experimental investigations and numerical simulations using Computational Fluid Dynamics (CFD) to enhance the design and operation of these systems. Asaadian et al. [1] conducted an experimental investigation to explore the effects of geometrical changes on a gas-liquid cylindrical cyclone separator. Their findings indicated that optimizing baffle design can lead to notable improvements in separator performance. Similarly, Bymaster et al. [2] performed a high-pressure experimental study on gas-liquid separator performance with natural gas streams, emphasizing the impact of operational pressures on separation efficiency. In the realm of numerical simulation, Chang et al. [3] focused on the structural optimization of liquid-gas cylindrical cyclone separators through CFD techniques, illustrating how computational methods can effectively predict flow patterns and performance outcomes. Duangrudee et al. [4] also contributed to the field by simulating flow velocity profiles in stepped spillways, showcasing the versatility of CFD in addressing complex fluid dynamics. Escue and Cui [5] compared various turbulence models in simulating swirling flows, which is essential for accurately capturing the behavior of multiphase mixtures within separators. This comparison is crucial as the choice of turbulence model can significantly influence simulation outcomes. Additionally, Hernandez-Martinez et al. [6] proposed a method for sizing horizontal gas-liquid separators that handle unstable multiphase streams, demonstrating the importance of adapting design criteria to specific flow conditions.

Pourahmadi Laleh et al. [7] presented a CFD-based study of an oilfield separator, emphasizing the value of realistic simulations in enhancing separator design. Seyed et al. [8] investigated the impact of inlet channel numbers on flow patterns, performance, and erosion in gas-particle cyclones, highlighting the importance of inlet geometry in separator effectiveness. Zeng et al. [9] conducted an experimental study on a new gas-liquid separator designed for a wide range of gas void fractions, providing insights into handling diverse flow conditions. Recent contributions also include works on CFD modeling and optimization. For instance, Joshy et al. [10] performed CFD analysis on a three-phase oil separator, further expanding the understanding of separator efficiency. Mahmood [11] explored both experimental and computational investigations in a vertical flash tank separator, providing a comprehensive view of gravity separation techniques. Finally, Olaleye et al. [12] offered a CFD modeling analysis of a vertical gas-liquid separator, reinforcing the role of computational methods in modern separator design.

Gas-liquid separation processes are crucial in various industries, including oil and gas production, chemical manufacturing, and wastewater treatment. Recent advancements emphasize the significance of integrating CFD with experimental methods to optimize these processes. Research indicates that the efficiency of gas-liquid separators is influenced by flow patterns, phase interactions, and operational conditions, making detailed investigations essential. According to Smith and Chen [13], "The efficiency of gas-liquid separators is influenced by numerous factors including flow patterns, phase interactions, and operational conditions, which necessitate detailed investigations using both experimental and computational methods". Modern CFD models now incorporate advanced turbulence modeling and fluid properties, enabling more accurate predictions of phase behavior and separation performance. Kumar et al. [14] state that “recent advancements in CFD models incorporate turbulence modeling and fluid properties, allowing for more accurate predictions of phase behavior and separation performance”. However, the reliability of these simulations often relies on experimental validation, which provides insights into the complex mechanisms at play. Johnson and Patel [15] emphasize that “integrating CFD with experimental results enhances the accuracy of the simulations while offering a deeper understanding of underlying mechanisms”. Successful research has demonstrated that this integration can improve accuracy and optimize operational conditions. For instance, one study reported that “combining CFD simulations with experiments on a gas-liquid separator enabled the identification of optimal operating conditions, resulting in a 15% increase in separation efficiency” [16]. Despite these advancements, challenges such as discrepancies between CFD predictions and real-world observations continue to exist. Zhang et al. [17] note that “the complex nature of phase interactions and the wide range of operating conditions often lead to discrepancies between CFD predictions and experimental observations” (p. 66), highlighting the need for further model refinement.

Future research may focus on integrating emerging techniques, such as machine learning, to develop adaptable models that enhance predictive capabilities. As Garcia and Thomason [18] point out, “emerging techniques such as machine learning can be integrated with CFD to develop robust models that adapt to varying conditions and enhance predictive accuracy”. Overall, the collaboration between computational and experimental methods is essential for driving innovation in gas-liquid separation technologies, paving the way for more efficient industrial applications.

This review article aims to elucidate the critical advancements in gas-liquid separation processes, underscoring the growing importance of integrating CFD with experimental methodologies to enhance the efficiency and performance of separators across various industries, including oil and gas production, chemical manufacturing, and wastewater treatment. As these sectors face increasing demands for efficiency and operational effectiveness, understanding the factors influencing gas-liquid separation, such as flow patterns, phase interactions, and operational conditions, becomes essential. This review synthesizes recent research findings that demonstrate how modern CFD models, complemented by experimental validation, can provide valuable insights into the complex behavior of multiphase interactions. Moreover, the integration of emerging technologies, such as machine learning, holds promise for developing adaptive models that enhance predictive capabilities. By addressing current challenges and highlighting the necessity of collaboration between computational and experimental methods, this review aims to contribute to the

ongoing innovation in gas-liquid separation technologies, ultimately paving the way for more efficient industrial applications.

II. Materials and Method

A gas-oil-water separator is primarily designed to efficiently separate and remove free gas, oil, and water phases from multiphase flow streams in various industrial applications, such as upstream oil production and processing facilities. The core purpose of these separators is to ensure the safe and reliable operation of downstream equipment by achieving effective phase separation, thereby reducing the risk of operational disruptions, corrosion, and environmental impact. The design of gas-oil-water separators relies on fundamental principles derived from fluid mechanics and phase separation theory, with key calculation equations including the separator's residence time, separation velocity, and droplet size distribution, which influence its efficiency. Common systematics involve gravity-based separation, where differences in density drive the phases to different regions within the vessel, often optimized using baffle plates, stages of coalescence, and specialized internals.

A. A systematic Approach

A gas-liquid separator is a device designed to effectively separate the mixture of gas and liquid that is often encountered in various industrial processes. The system generally consists of several key components: the inlet section, where the combined flow of gases and liquids enters the separator; the separator vessel itself, which utilizes methods such as baffle plates, rotational motion, or density differences to facilitate phase separation; and the outlet sections, where the separated liquid and gas are discharged through separate outlets to optimize process efficiency. Enhanced designs may incorporate various baffle configurations and chambers to direct and streamline the flow, with centrifugal or rotational separation techniques also employed to improve separation performance. Modern CFD modelling plays a vital role in accurately simulating these flow dynamics and phase interactions, enabling the optimization of the device's design and operational parameters. Through detailed CFD analyses, performance improvements can be identified, leading to increased separation efficiency and more effective system operation.

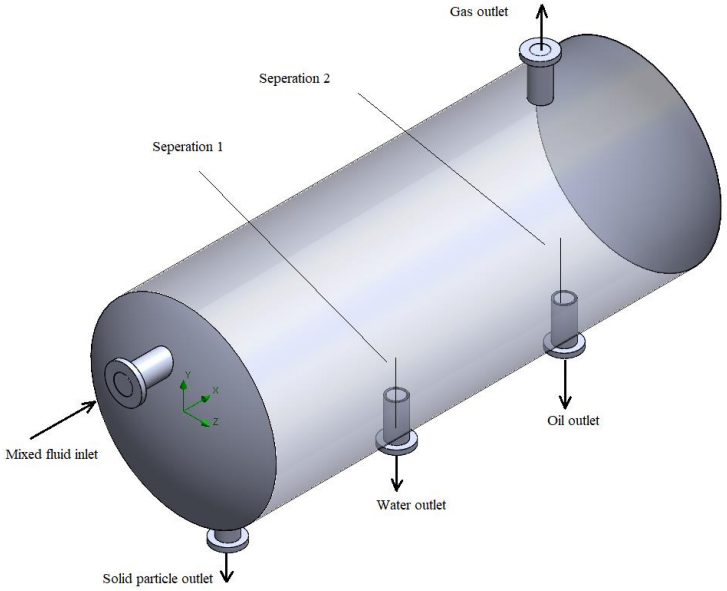


Figure 1. A schematic view of gas-oil-water separator

B. Governing Equations

Table 1 summarizes essential equations used in gas-liquid separation processes, highlighting key principles of fluid dynamics and operational efficiency. Beginning with the Continuity Equation, which emphasizes mass conservation, and followed by the Navier-Stokes Equations that describe fluid motion through velocity, pressure, and viscosity, these equations are fundamental for modelling multiphase flow behaviour. For practical applications, the Darcy-Weisbach and Hazen-Williams Equations are critical for assessing pressure drops in piping systems, aiding in the optimization of separator designs. Additionally,

the Theoretical Efficiency of Separators equation assesses separation effectiveness based on concentration differences, while the Liquid Volume Fraction (LVF) is vital for multiphase calculations. Together, these equations form a robust mathematical framework that not only enhances understanding of gas-liquid separation but also informs the development of advanced separation technologies across various industries.

Table 1. Governing Equations

Equation	Description	Equation	Symbols
Continuity Equation	Expresses the conservation of mass for a fluid system.	$\partial t/\partial \rho+\nabla\cdot(\rho\mathbf{u})=0$	ρ = fluid density, t = time, u = fluid velocity vector
Navier-Stokes Equations	Describes the motion of fluid substances and fundamental fluid dynamics.	$\partial u/\partial t+\mathbf{u}\cdot\nabla\mathbf{u}=-1/\rho \nabla P+v\nabla^2\mathbf{u}+g$	P = pressure, v = kinematic viscosity, g = gravity
Darcy-Weisbach Equation	Calculates pressure drop due to friction in a circular pipe.	$\Delta P=f\,(L/D)\,(\rho u^2/2)$	ΔP = pressure drop, f = Darcy friction factor, L = length of the pipe, D = diameter of the pipe
Hazen-Williams Equation	Used for calculating pressure drop in water flow.	$h_f=0.002083\,(L/C^{1.852})\,(Q^{1.852}/D^{4.8655})$	hf = head loss due to friction, C = Hazen-Williams coefficient, Q = flow rate (m^3/s)
Theoretical Efficiency of Separators	Models the efficiency of separators based on concentration differences.	$\eta=[(C_{in}-C_{out})/C_{in}]\times 100$	η = efficiency, Cin = concentration of inlet stream, $Cout$ = concentration of outlet stream
Liquid Volume Fraction (LVF)	A critical parameter in multiphase flow calculations.	$LVF= V_l/(V_l+V_g)$	V_l = volume of liquid, V_g = volume of gas
Pressure Drop Across a Separator	Approximates the pressure drop across a separator.	$\Delta P=K\rho Q^2$	K = resistance coefficient

III. RESULTS

Table 2 organizes the information clearly, allowing for easy comparison and understanding of each study's objectives, methods, key figures, and results. The summarized table effectively compiles significant insights from a series of articles focused on gas-liquid separation technology. By systematically categorizing each study's objectives, methodologies, key findings, and outcomes, the table facilitates a comparative analysis of the different approaches employed across various research efforts. Notably, most studies leverage CFD techniques, such as the Euler-Lagrange and Euler-Euler models, to enhance the understanding of separator performance under varying conditions. This diversity in methodologies underscores the growing reliance on computational modelling alongside experimental validation, as seen in multiple studies that report efficiency metrics and recommend design modifications based on detailed analyses of geometrical and fluid dynamic factors. Furthermore, the varying degrees of efficiency achieved, ranging from as high as 99.9% under optimal conditions to significant drops under specific volume fractions, highlight the complex interplay between operational parameters. The findings encourage further exploration of innovative strategies, including hybrid designs that integrate centrifugal and gravitational forces, reflecting the industry's trend towards optimizing separation processes in challenging conditions, such as those encountered in high-pressure environments. Collectively, the insights derived from these

studies not only contribute to the advancement of theoretical knowledge but also offer practical guidelines for the design and optimization of separators tailored to specific operational requirements.

Table 2. A summary of the articles, methods, and results

Article Title	Objective/Purpose	Methods	Key Figures	Results
"Computational Fluid Dynamics-Based Study of an Oilfield Separator-Part I"	Develop a realistic CFD model for a three-phase separator.	Combination of Euler-Lagrange (DPM) and Euler-Euler (VOF) models in ANSYS Fluent.	98% efficiency under baseline conditions, decreasing to 70.4% with increasing water flow.	Highlighted the critical importance of droplet dynamics and baffle geometry in optimizing separator performance.
"A Method to Size Gas-Liquid Horizontal Separators Handling Nonstable Multiphase Streams"	Calculate specifications for horizontal separators designed for unstable flows.	Dynamic modeling + modified Svrcek-Monnery method.	Proposed a 52% increase in separator volume without accounting for flow pulsations.	Recommended a drainage coefficient of 1.2 based on the average flow rate for improved performance.
"Numerical Simulation on Structure Optimisation of Liquid-Gas Cylindrical Cyclone Separator"	Optimize the geometry of a cyclone separator.	Implemented the Reynolds Stress Model (RSM) for simulation.	Attained 86.15% efficiency with dimensions of 440 mm in length and 100 mm in diameter.	Indicated that a rectangular inlet and reduced gas outlet diameter significantly enhance efficiency.
"High-Pressure Gas-Liquid Separation: An Experimental Study on Separator Performance of Natural Gas Streams at Elevated Pressures"	Analyze separator efficiency at pressures up to 2600 psi.	Conducted experiments using various hydrocarbons.	Identified a 20-30% decrease in efficiency with increasing pressure.	Emphasized the need for corrections to K-factors when operating at high pressures.
"Experimental Investigation over Effect of Geometrical Changes on GLCC Separator"	Investigate the impact of geometry on separator performance.	Laboratory tests by varying diameters and lengths.	A 12.7 mm reduction in inlet diameter resulted in a 15-20% increase in efficiency.	Established that an optimal liquid level should be maintained at 1-3 times the diameter from the bottom of the column.
"CFD Modelling Analysis of a Vertical Gas-Liquid Separator"	Assess the impact of liquid volume fraction (LVF) on separator efficiency.	Eulerian mixture modeling in ANSYS Fluent.	Achieved 99.9% efficiency at LVF $\leq$ 0.2, dropping to 11.63% at LVF = 0.3.	Recommended increasing the diameter of the fluid outlet to mitigate efficiency losses.
"Computational Fluid Dynamics Analysis and Optimisation of Three-Phase Oil Separator"	Optimize a three-phase separator with internal elements.	Combined VOF modeling with the standard k-ε approach.	Reached 99.1% efficiency when incorporating three baffles.	Demonstrated that coalescers effectively reduced water entrainment by 95%.
"Experimental Study on a New Gas-Liquid Separator for a Wide Range of Gas Void Fraction"	Test the performance of a hybrid separator combining centrifugal and gravitational methods.	Conducted experiments using air and water.	Maintained efficiency greater than 95% at liquid levels ranging from 0.25 to 1.2 meters.	Highlighted that bubble column modeling errors can be as large as 33%.

IV. DISCUSSION

The review in Table 3 highlights distinct similarities and differences within the domain of gas-liquid separators, particularly in modelling methods, performance factors, and innovative solutions. Notably, the predominant use of CFD models implemented through ANSYS Fluent, utilizing various techniques such as VOF, DPM, and RSM, indicates the recognition of CFD as a standard solution in the field. However, the limited number of studies validating CFD models with laboratory data presents a significant opportunity to enhance the reliability of the results. Essential performance factors, including geometry, pressure, and phase volume fractions, emerge as critical elements affecting separator efficiency. Notably, findings suggest that a reduced inlet diameter can enhance performance, while operating at high pressures tends to diminish efficiency. The explicit identification of these factors provides substantial contributions to practical engineering applications. In addition to recognizing established methods, the integration of hybrid designs and CFD models emerges as a promising avenue for future research. The combination of centrifugal and gravitational forces in design signifies a significant advancement, particularly in developing next-generation separators. The application of hybrid CFD models facilitates a deeper understanding of both micro and macro flow dynamics, thereby optimizing design efficiency. Proposed design strategies aim to address challenges encountered in real-world applications, such as increasing separator diameter under high pressure and employing dynamic modelling to adapt to pulsing flows. However, the efficacy and feasibility of these recommendations necessitate further experimental validation. Furthermore, successful validation of CFD models against experimental data reinforces the need for K-factor corrections and geometry optimization, emphasizing standardization and reliability in engineering practice. As trends evolve towards compactness, adaptability, and technology integration, the potential for active control systems to improve separator performance becomes increasingly evident. Ultimately, ongoing research in this field holds the promise of developing innovative solutions to tackle existing challenges, thereby fostering advancements in the gas-liquid separation industry.

Table 3. A summarized analytical review

Category	Similarities and Differences
Modeling Methods	Many articles utilized various CFD models (VOF, DPM, RSM, Eulerian Mixture), with ANSYS Fluent being the most commonly used software.
	Four studies used laboratory data to validate CFD models, achieving errors of ≤12%.
Key Performance Factors	Geometry: Reduced inlet diameters, rectangular configurations, and suitable Length-to-Diameter (L/D) ratios (1.5-6.0) are essential for optimizing centrifugal separators.
	Pressure: A 20-30% reduction in efficiency is observed for operations above 1500 psi, necessitating adaptations to standard methodologies.
	Phase Volume Fractions: LVF > 0.2 can lead to baffle flooding, resulting in decreased efficiency.
Innovative Solutions	Hybrid Designs: The integration of centrifugal and gravitational forces, as seen in the "Experimental Study on a New Gas-Liquid Separator," represents a promising development.
	Hybrid CFD Models: Effective utilization of hybrid models combining DPM and VOF for enhanced analysis of micro and macro flows, exemplified in the study on oilfield separators.
Design Recommendations	For High Pressures: Increase separator diameter to reduce gas velocity; implement compact cyclones with drained screens.
	For Unstable Flows: Combine vertical and horizontal separators; employ dynamic modeling to adapt to pulsating flows.
	Geometry Optimization: Minimize inlet diameter while increasing cyclone zone length; avoid excessive elongation of outlet spigots that can impede performance.

	For Three-Phase Systems: Use a combination of baffles, coalescers, and dampers to enhance separation efficiency.
Validation and Practical Application	CFD Models: Validation achieved through comparisons with experimental data, resulting in errors of ≤5-12%.
	Experiments: Confirmed the necessity for K-factor corrections as per Sounders and Brown [1934] and emphasized geometry optimization.
	Case Studies: Vertical separators with cyclone inlets are recommended for offshore applications.
Trends and Prospects	Compactness: Focus on minimizing the physical size of separators for offshore use.
	Adaptability: Development of separators capable of efficiently handling a wide range of gas fractions (5-90%).
	Technology Integration: Introduction of active control systems for monitoring liquid levels and providing pressure feedback.

V. CONCLUSION

This review highlights the critical advancements in gas-liquid separator optimization through the integration of CFD and experimental methodologies. The diverse modeling techniques, particularly the Euler-Lagrange and Euler-Euler approaches in ANSYS Fluent, have significantly enhanced our capacity to simulate complex flow dynamics and improve separator performance. The examination of various operational conditions has revealed that factors such as inlet diameter, pressure, and liquid volume fraction (LVF) can lead to substantial variations in separator efficiencies. Importantly, the findings demonstrate that careful attention to geometrical configurations, such as baffle design and separator dimension, can yield significant performance improvements. Furthermore, the exploration of hybrid designs that combine centrifugal and gravitational separation methods presents a promising avenue for effectively addressing a broader spectrum of gas void fractions in diverse applications. The necessity for ongoing research and experimental validation is paramount to ensure that theoretical insights translate into practical, efficient solutions in real-world settings. As industries continue to evolve, the insights gathered from this review will be invaluable for engineers and researchers striving to enhance gas-liquid separator design and operation. By emphasizing innovation and a holistic approach, we can better tackle the challenges posed by gas-liquid separation processes, ultimately leading to more efficient and effective industrial applications.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to acknowledge that there are no acknowledgments for this study.

REFERENCES

[1] Asaadian, H., Soulgani, B.S., Gomari, S.R., Soulgani, B.S., 2018. Experimental investigation over effect of geometrical changes on gas/liquid cylindrical cyclone GLCC separator. In: International Petroleum Exhibition & Conference. Society Petroleum Engineers, Abu Dhabi, pp. 1–14.

[2] Bymaster, A., Olson, M., Grave, E., Svedeman, S., Viana, F., Mikkelsen, R., Akdim, R., 2011. High-pressure gas-liquid separation: an experimental study on separator performance of natural gas streams at elevated pressure. In: Offshore Technology Conference. Offshore Technology Conference, Houston, pp. 1–12.

[3] Chang, P., Hu, T., Wang, L., Chang, S., Wang, T., Wang, Y., 2016. Numerical simulation on structure optimization of liquid-gas cylindrical cyclone separator. Int. J. Chem. Eng. 1–10.

[4] Duangrudee, K., Chinnarasri, C., Y Julien, P., 2012. Numerical simulation of flow velocity profiles along a stepped spillway. Journal of Process Mechanical Engineering 1–10.

[5] Escue, A., Cui, J., 2010. Comparison of turbulence models in simulating swirling pipe flows. Appl. Math. Model. 2840–2849.

[6] Hernandez-Martinez, J.L., Martinez-Ortiz, V., 2014. A method to size gas-liquid horizontal separators handling nonstable multiphase streams. In: SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference. SPE International, Maracaibo, pp. 1–11.

[7] Pourahmadi Laleh, A., Svrcek, W.Y., Monnery, W., 2012. Computational fluid dynamics-based study of an oilfield separator-Part 1: a realistic simulation. Oil and Gas Facilities 1–12.
[8] Seyed, M.V., Parvaz, F., Kamali, M., Jebeli, H.J., 2018. Numerical investigation of the impact of inlet channel numbers on the flow pattern, performance, and erosion of gas-particle cyclone. Iran. J. Oil Gas Sci. Technol. 20.
[9] Zeng, X., Fan, G., Xu, J., Liu, A., Xu, Y., Yan, C., 2020. Experimental study on a new gas-liquid separator for a wide range of gas void fraction. J. Pre-proof 1–18.
[10] Abhijith Joshy, Adithya B, Anfal M A, Anirudh Nambiar. CFD Analysis and Optimization of Three Phase Oil Separator.
[11] Raid Ahmed Mahmood, 2018. Experimental and computational investigation of gravity separation in a vertical flash tank separator.
[12] Oluwaseun E. Olaleye, Brunela Van Ombele, Xiaoxiao Li, Olushola A. Adeshina. CFD modeling analysis of a vertical gas-liquid separator. Journal of Petroleum Science and Engineering 216, 2022.
[13] Smith, J., & Chen, L. (2021). Efficiency factors in gas-liquid separators. Journal of Separation Processes, 34(2), 150-157.
[14] Kumar, R., Patel, A., & Lee, J. (2022). Advancements in CFD modeling for gas-liquid separation. Chemical Engineering Journal, 45(1), 95-104.
[15] Johnson, T., & Patel, S. (2023). Integrating CFD and experimental results in gas-liquid separation systems. Separation Science and Technology, 58(1), 40-50.
[16] Lee, H., & Wong, K. (2023). Optimization of gas-liquid separator performance through CFD and experimental integration. International Journal of Chemical Engineering, 29(3), 126-134.
[17] Zhang, F., Liu, Y., & Chen, X. (2023). Discrepancies in CFD predictions versus experimental observations in gas-liquid systems. Fluid Dynamics Research, 55(6), 65-75.
[18] Garcia, M., & Thomason, R. (2024). Emerging techniques for adaptive CFD modeling in separation processes. Journal of Applied Fluid Mechanics, 15(5), 199-210.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Kurutma Prosesinde Oksijenin Kullanılabilme Potansiyelinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Emre Aşkın Elibol[1*]

[1]*Makine Mühendisliği Bölümü, Giresun Üniversitesi, Türkiye*

[*]*(emre.elibol@giresun.edu.tr)*

Özet – Hava akımları endüstriyel uygulamalarda soğutma, ısıtma ve kurutma gibi amaca yönelik sayısız proseste yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu uygulamalardan insan sağlığını koruma ve nüfus artışı kaynaklı yüksek tüketim hızının karşılanabilmesi açılarından belki de en önemlisi gıda kurutma prosesidir. Kurutma prosesi ise çok sayıda hava akım dizilerinden oluşan ve bu akımı herhangi bir giriş sıcaklığı ve hızında uygulandığı bir işlemdir. Kurutma fırınlarının sabit geometrik yapıları düşünüldüğünde etkili bir kurutma süreci için hava akım nozul geometrilerinin değiştirilmesi hem zaman alıcı hem de oldukça maliyetlidir. Bunun yerine akım sıcaklığı ve/veya hızının kontrol edilerek uygulanması daha pratiktir. Etkili bir gıda kurutma sürecinin önündeki engellerden bir tanesi de akımda çalışma akışkanı olarak hava gibi düşük termo-fiziksel özelliklere sahip bir akışkanın kullanılmasıdır. Bu çalışmada insan sağlığı da göz önüne alınarak havadan görece bazı termo-fiziksel özellikleri daha yüksek olan bir akışkan olan oksijen (O_2)'in gıda kurutma prosesinde kullanılabilme potansiyelinden yola çıkarak farklı akım giriş sıcaklıklarında (40℃-100℃) gıda ile temas halinde olan yüzeydeki sıcaklığın, ısı taşınım katsayısının ve Nusselt sayısının yerel değerleri hem hava hem de O_2 için sayısal olarak incelenmiştir. Akım giriş hızı Reynolds sayısı 10 000 olacak şekilde sabit tutulmuştur. 40℃ giriş sıcaklığı için yerel $T_{yüzey}$ sıcaklığı hava yerine O_2 kullanılmasıyla %0.0017 ve 100℃ giriş sıcaklığı için ise %0.0108 azalmıştır. Akım giriş sıcaklığının 40℃ olması durumunda hava yerine O_2 kullanılmasıyla yerel ısı taşınım katsayısı (h) %3.48 artarken akım giriş sıcaklığının 100℃ olması durumundaki aynı artış %3.41'dir. Bu sonuçlar herhangi bir gıda kurutma prosesinde akımda çalışma akışkanı olarak O_2'nin havaya bir alternatif olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler – Kurutma prosesi, türbülanslı akış, hava akımı, ısı transferi, hesaplamalı akışkanlar dinamiği.

I. GİRİŞ

Hava akımları endüstride soğutma, ısıtma ve kurutma gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır. Özellikle gıda ve alçıpan kurutma uygulamalarında hava akımının fırına giriş sıcaklığı, hızı ve uygulandığı yükseklik oldukça önemlidir. Kurutma fırınlarında genellikle bir veya daha çok hava akım dizileri bulunmaktadır. Dolayısıyla tek bir hava akımı yerine bu hava akımlarını diziler şeklinde ele almak gerekmektedir. Literatürde tek bir hava akımını ele alan bir çok araştırmanın derlemesini yapan çalışmalar bulunmaktadır [1-7]. Ancak bu derlemelerden elde edilen bilgiler gerçek endüstriyel uygulamalar için yetersiz kalmaktadır. Bunun başlıca nedeni ise uygulamada birden fazla hava akımı dizilerinin kullanılmasıdır.

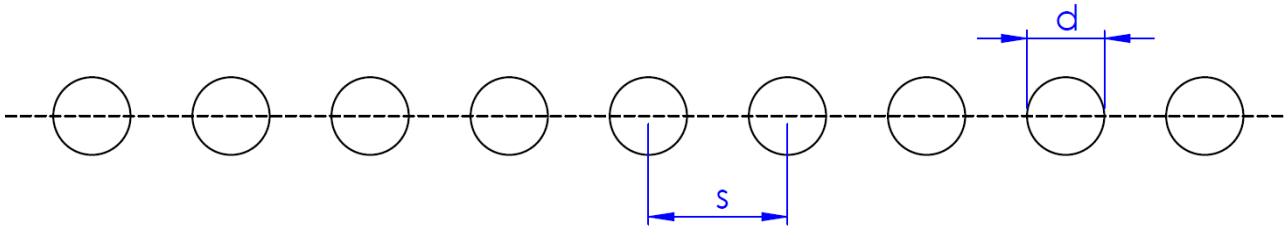
Şimdiye kadar hava akımını sağlayan nozulların uzunluğu, çapı ve eğim açısı gibi geometrik parametlerini inceleyen bir çok çalışma mevcuttur [8-13]. Bahsi geçen geometrik parametrelerin optimizasyonu ile ilgili yapılan sayısız çalışmadaki bilgi karışıklığı araştırmacıların hangi geometrik parametrenin hangi uygulamada daha etkili olacağı konusunda karar vermelerini zorlaştırmaktadır. Dahası her özel uygulama için kurutma fırınının içinde bulunan hava akım dizilerinin geometrik ölçülerini değiştirmek oldukça zahmetli ve zaman alıcıdır. Bu nedenle geometrik optimizasyon

çalışmalarından ziyade seçilen herhangi bir geometride hava hızının ve/veya sıcaklığının incelenmesi daha makuldür. Özel bir uygulama olan gıda kurutma sürecinde hava akımı hızı ve sıcaklığı kurutulacak olan gıda maddesinin yanmasına/yanmamasına ve kuruma süresine büyük ölçüde etki eder. Bunu dikkate alan bazı literatür çalışmalarında hava akımı sıcaklığının etkileri Reynolds sayısının; 5 000-25 000 aralığında [14], 60 000 olması durumunda [15] ve 6 000-20 000 aralığında [16] incelenmiştir. Goodro ve ark. [15] hava akımı sıcaklığının artmasıyla ısı taşınım katsayısının azaldığını; Martin [14] Nusselt sayısının hava akım sıcaklığının görece az bir şekilde etkilendiğini belirtmişlerdir. Gıda kurutma prosesinde insan yaşamı ve sağlığı birincil öncelik olduğu için gıda ile temas eden çalışma akışkanı olarak hava kullanılmaktadır. Havanın düşük termo-fiziksel özellikleri ise ısı transfer mekanizmasını sınırlandırmaktadır. Yukarıda değinilen literatür çalışmalarının çoğunda çalışma akışkanı olarak hava; bazılarında ise su kullanılmıştır. Suyun kurutma prosesinde kullanılamayacağı düşünüldüğünde gıda kurutma endüstrisi çalışma akışkanı olarak hava kullanma zorunluluğundadır. Bu noktada insan sağlığına zararlı olmayan ve bazı termo-fiziksel özellikleri havadan bir miktar daha yüksek olan saf oksijenin gıda kurutma proseslerinde kullanılabilme potansiyelinin yazarın bildiği kadarıyla daha önce araştırılmaması literatürdeki bir eksiklik olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, bir adet akım dizisinden oluşan kurutma fırınında çalışma akışkanı olarak hem havanın hem de oksijen (O_2)'nin Reynolds sayısının 10 000 olması durumunda 40-100°C giriş sıcaklığı aralığı için ısı transfer karakteristikleri sayısal olarak incelenmiş ve bu bağlamda hava ile O_2 arasında bir kıyaslama yapılmıştır.

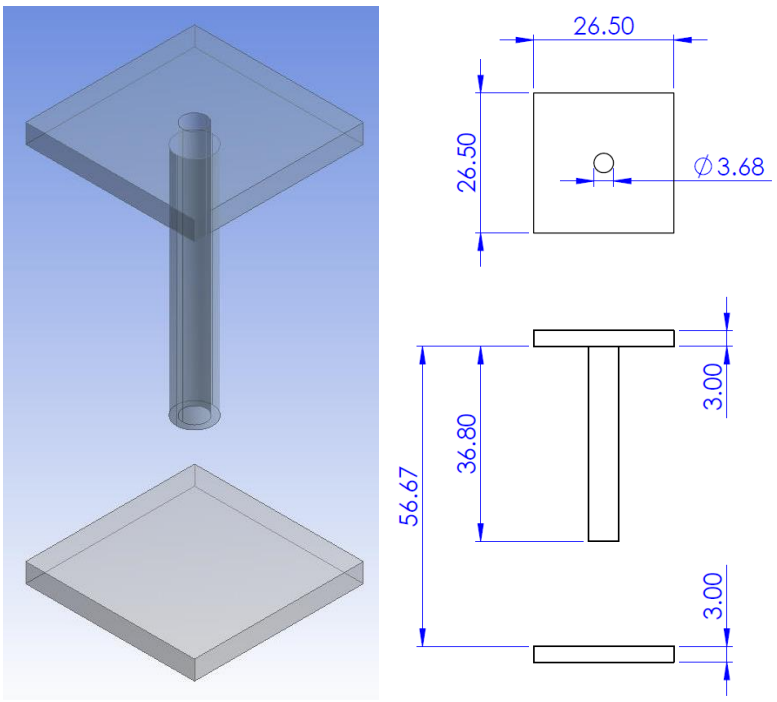
II. MATERYAL VE YÖNTEM

Ele alınan kurutma fırınında bulunan bir adet akım dizisinin iki-boyutlu yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir. Burada d akımın geçtiği nozul çapı ve s ise nozullar arası mesafedir.



Şekil 1. Bir adet akım dizisi.

Şekil 1'de gösterilen bir adet akım dizisi uygun sınır şartlarıyla basitleştirilerek bu dizideki tek bir nozul akımı ele alınmıştır. Buna göre bu sayısal çalışmada incelenen geometrinin üç boyutlu görünümü ve geometrideki katı hacimlerin ölçüleri mm cinsinden Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Sayısal çalışmada incelenen geometri ve ölçüleri.

Alt duvar sıcaklığı T_{duvar} = 298.15 K (25°C) sıcaklığında sabit tutulurken akım giriş sıcaklığı ($T_{akım}$) 40°C, 45°C, 50°C ve 100°C olarak ele alınmıştır. Hava ile O_2'nin kıyaslanabilmesi için en düşük sıcaklık olan 40°C ve en yüksek sıcaklık olan 100°C için türbülanslı akışı sağlayacak bir sabit Reynolds sayısında (10 000) simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar gıda maddesini temsil eden akımın vurduğu yüzeyin sıcaklığı ($T_{yüzey}$), ısı taşınım katsayısı (h) ve Nusselt sayısı (Nu) cinsinden sunulmuştur.

A. Korunum Denklemleri

Sayısal çalışmada, akışkan Newtonsal, sıkıştırılamaz, kararlı, türbülanslı ve sabit özellikli olarak kabul edilmiş, yerçekimi etkileri dikkate alınmamıştır. Bu kabuller altında aşağıda sırasıyla süreklilik, momentum, enerji ve SST k-ω türbülans denklemleri sunulmuştur.

$$\nabla\cdot\left(\rho\vec{v}\right)=0 \tag{1}$$

$$\nabla\cdot\left(\rho\vec{v}\vec{v}\right)=-\nabla p+\mu\nabla^2\vec{v}+\vec{F} \tag{2}$$

$$\rho c_p\left(\vec{v}\cdot\nabla\right)=\nabla\cdot\left(k\nabla T\right) \tag{3}$$

$$\nabla\cdot\left(\rho k\vec{v}\right)=\nabla\cdot\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\nabla k\right]+P_k-\rho\beta^*k\omega+S_k \tag{4}$$

$$\nabla\cdot\left(\rho\omega\vec{v}\right)=\nabla\cdot\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\omega}\right)\nabla\omega\right]+\frac{\rho\gamma}{\nu_t}P_k-\rho\beta^*\omega^2+2\left(1-F_1\right)\frac{\rho\sigma_{\omega2}}{\omega}\frac{\partial k}{\partial x_j}\frac{\partial\omega}{\partial x_j}+S_\omega \tag{5}$$

Burada: "ρ" akışkan yoğunluğunu; "k" Eş. (3)'de ısı iletim katsayısını, Eş. (4)'de türbülans kinetik enerjisini; "ω" özgül türbülans yayınım oranını; "μ" dinamik viskoziteyi; "μ_t" eddy viskoziteyi; kaynak terimleri dışındaki diğer simgeler ise model sabitlerini temsil etmektedir.

Reynolds sayısı, ısı taşınım katsayısı ve Nusselt sayısı sırasıyla aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

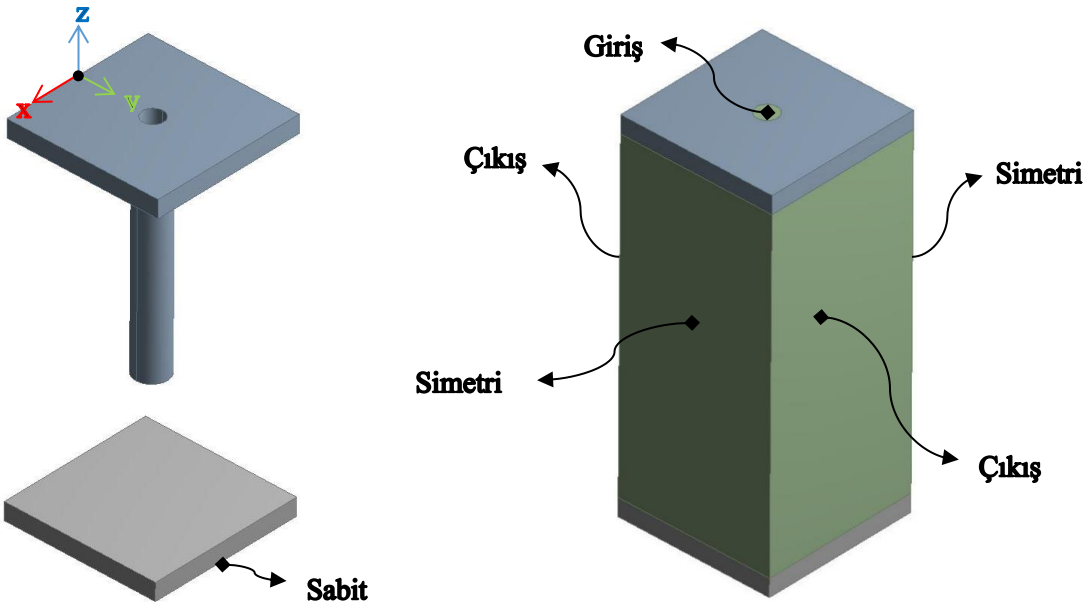
$$Re = \frac{4\dot{m}}{\pi d \mu} \tag{6}$$

$$h = \frac{\dot{q}}{T_{yüzey} - T_{akım}} = \frac{-k\,\partial T/\partial y}{T_{yüzey} - T_{akım}} \tag{7}$$

$$Nu = \frac{hd}{k} \tag{8}$$

B. Sınır Şartları

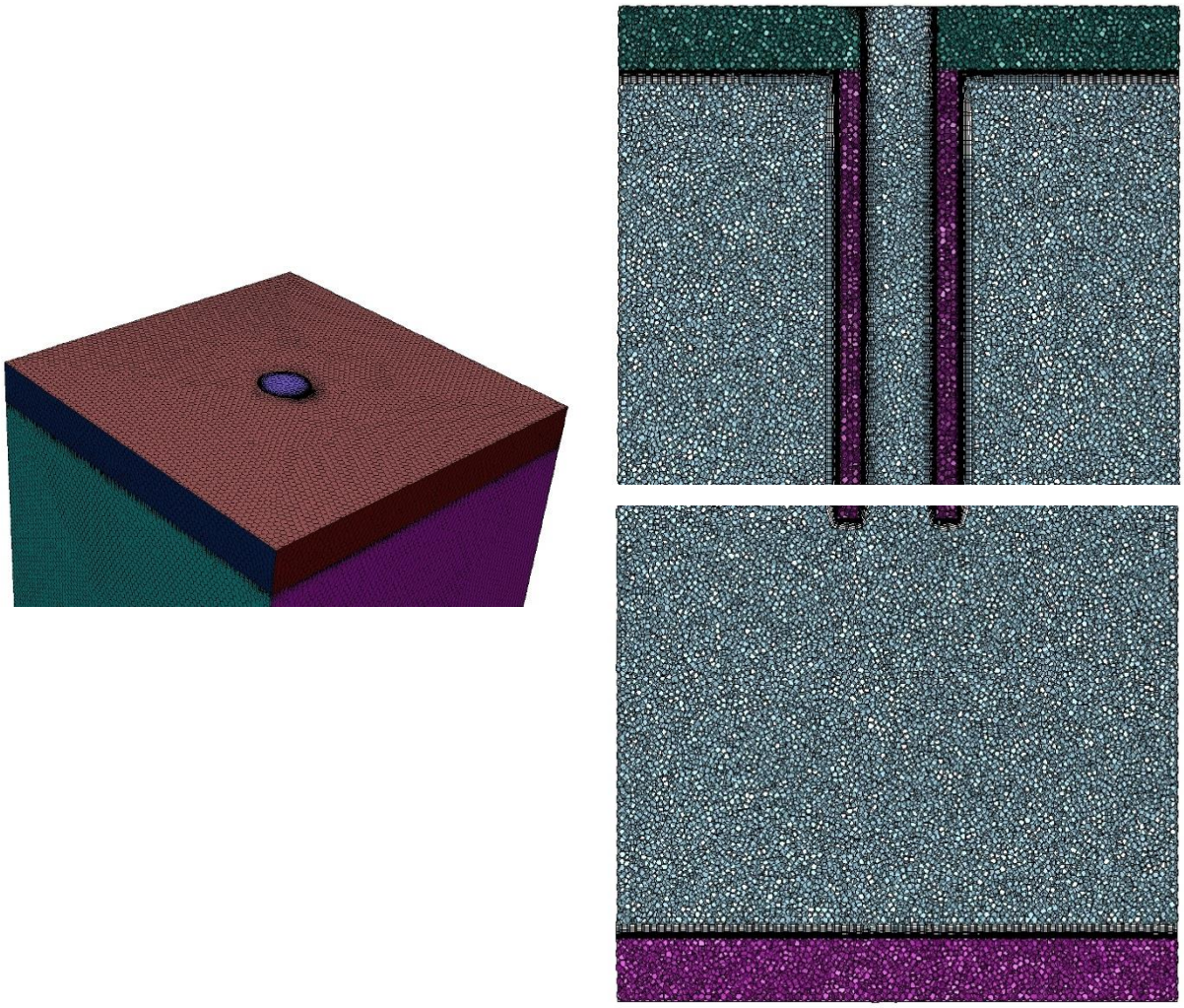
Sayısal çalışmada ele alınan çözüm alanı ve sınır şartları Şekil 3'de gösterilmiştir. Buna göre kurutma fırınındaki bir adet akım dizisini modelleyebilmek için çözüm alanında y-z düzleminin en uzak iki yüzeyine simetri sınır şartı; x-z düzleminin en uzak iki yüzeyde ise sıcaklık ve hız değişimleri ihmal edilmiştir. Alt duvarda sabit sıcaklık sınır şartı ve çözüm alanında x-y düzleminin tam ortasında ise akışkan sabit sıcaklıkta ve sabit hızdadır.



Şekil 3. Hesaplama alanı ve sınır şartları.

C. Sayısal Çözüm

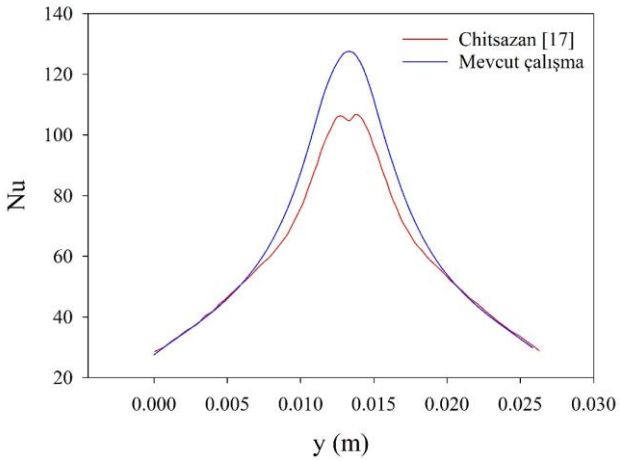
Problemin sayısal çözümü ANSYS Fluent hazır paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çözüm ağı ANSYS Fluent Meshing yazılımında çokyüzlü (polyhedra) şekilde oluşturulmuş ve katı-akışkan arayüzeylerinde ağ yapısı sıklaştırılmıştır. Örnek bir çözüm ağ yapısı Şekil 4'de gösterilmiştir. Çözümün hücre sayısından bağımsızlığı 2 857 212 eleman sayısında yakalanmıştır. Ayrıca, hücre kalitesi "skewness" ve "orthogonal quality" değerleri dikkate alınarak sağlanmıştır.



Şekil 4. Örnek bir çözüm ağ yapısı.

III. BULGULAR

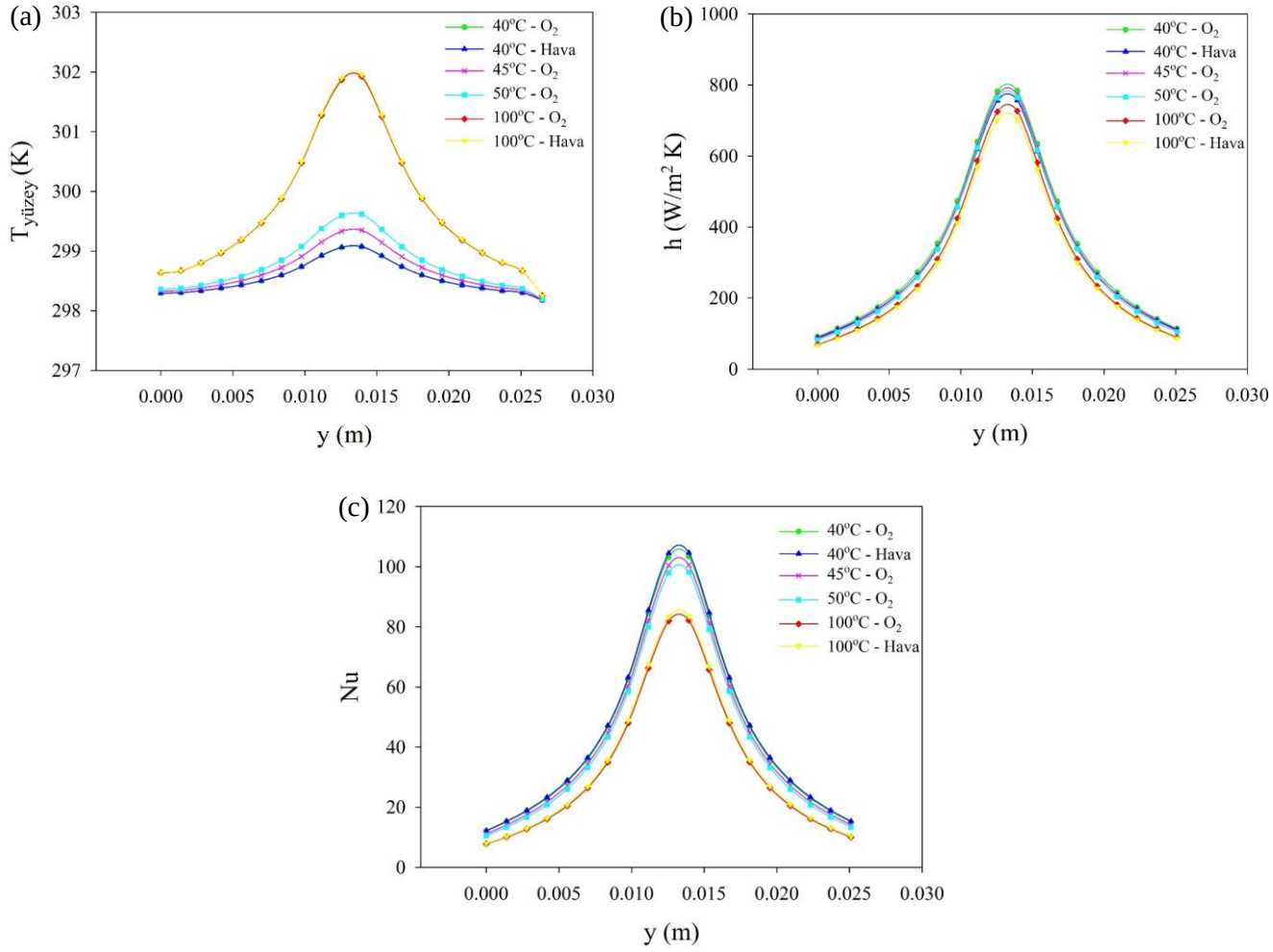
Yapılan simülasyonların sonuçlarının doğrulanması amacıyla bir literatür çalışması [17] ile Nusselt sayısı açısından kıyaslama yapılmış ve her iki çalışmanın sonuçları Şekil 5'de sunulmuştur. Bu şekil incelendiğinde, mevcut çalışmada ve literatür çalışmasında elde edilen elde edilen yerel Nusselt sayısıları birbirlerine oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. Mevcut çalışma ile literatür çalışmasının kıyaslanması.

Şekil 6'da 40℃-100℃ akım giriş sıcaklıklarında hem hava hem de O_2 için elde edilen gıda maddesinin bulunduğu yüzeydeki sıcaklığın, ısı taşınım katsayısının ve Nusselt sayısının yerel değerleri gösterilmektedir. Şekil 6 (a) incelendiğinde alt yüzeydeki x-y düzleminde y-ekseninin orta noktasındaki $T_{yüzey}$ sıcaklığı akım giriş sıcaklığının 40℃ olması durumunda hava için 299.075℃ iken O_2 için 299.070℃'dir. Akım giriş sıcaklığının 100℃ olması durumunda ise bu değerler hava ve O_2 için sırasıyla 301.958℃ ve 301.925℃'ye yükselmektedir. Görüldüğü üzere aynı akım giriş sıcaklığında hava ve O2 kullanılması durumlarında elde edilen $T_{yüzey}$ sıcaklıkları birbirlerine oldukça yakındır.

Şekil 6 (b) incelendiğinde giriş sıcaklığının 40℃ olması durumunda aynı düzlemdeki y = 0.0325 m'de elde edilen yerel ısı taşınım katsayısı (h) hava için 757.025 $W/m^2 \cdot K$ iken O_2 için 783.387 $W/m^2 \cdot K$'dir. Akım giriş sıcaklığı 100℃'ye yükseldiğinde bu değerler hava ve O_2 için sırasıyla 702.677 $W/m^2 \cdot K$ ve 726.648 $W/m^2 \cdot K$'ye düşmektedir. Şekil 6 (c)'de sunulan gıda maddesinin bulunduğu yüzey üzerinde (x-y düzlemi) y-ekseni boyunca elde edilen yerel Nusselt sayısının değişimi incelendiğinde 40℃ akım giriş sıcaklığında bu değerlerin orta noktada hava için 104.652 ve O_2 için ise 103.406 olduğu görülmektedir. y-ekseninin orta noktasındaki bu değerler akım giriş sıcaklığının 100℃'ye yükselmesiyle hava ve O_2 için sırasıyla 83.549 ve 82.178'e düşmektedir.



Şekil 6. Hava ve O_2'nin farklı giriş sıcaklıkları için (a) yüzey sıcaklığının değişimi, (b) yerel ısı taşınım katsayısının değişimi, (c) yerel Nusselt sayısının değişimi.

IV. TARTIŞMA

Elde edilen bulgular dikkate alındığında çalışma akışkanı çeşidi farketmeksizin artan akım giriş sıcaklığıyla gıda maddesinin hemen altında bulunan x-y düzlemindeki $T_{yüzey}$ sıcaklığı beklendiği gibi artmaktadır. $T_{yüzey}$ sıcaklığındaki bu eğilimin tam tersine yerel ısı taşınım katsayısı ve Nusselt sayısı ise akım giriş sıcaklığının artmasıyla azalmaktadır.

Aynı akım giriş sıcaklığında çalışma akışkanının hava ve O_2 olması durumları kıyaslandığında 40℃ giriş sıcaklığı için yerel $T_{yüzey}$ sıcaklığı hava yerine O_2 kullanılmasıyla %0.0017 azalırken 100℃ giriş sıcaklığı için aynı değer hava yerine O_2 kullanılmasıyla %0.0108 azalmıştır.

Akım giriş sıcaklığının 40℃ olması durumunda hava yerine O_2 kullanılmasıyla ise yerel ısı taşınım katsayısı (h) %3.48 artarken akım giriş sıcaklığının 100℃ olması durumundaki aynı artış %3.41'dir. Hava yerine O_2 kullanılması durumu için elde edilen yerel Nusselt sayısı 40℃ giriş sıcaklığında %1.20 ve 100℃ giriş sıcaklığında ise %1.64 azalmaktadır.

Kurutma fırınında gıda maddesi ile temas eden çalışma akışkanı hava yerine O_2 kullanılması aynı akım giriş sıcaklığı için değerlendirildiğinde yerel yüzey sıcaklığını ve yerel Nusselt sayısını ihmal edilebilecek düzeylerde azaltırken yerel ısı taşınım katsayısını görece daha fazla arttırmaktadır. Kurutma prosesinde daha yüksek bir ısı taşınım katsayısı (h) yüzeyden çalışma akışkanı arasında daha etkili bir ısı transfer mekanizması anlamına gelebilir ve bu da kurutma hızını arttırabilir. Ayrıca, gıda maddesinin temas halinde olduğu yüzey sıcaklığının azalması da ısıya fazla duyarlı gıdaların zarar görmesini engelleyebilir. Bu olası avantajlar aynı akım giriş sıcaklığı için hava yerine O_2 kullanılması durumunda yerel Nusselt sayısındaki oldukça küçük bir azalışa baskın çıkabilir.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada bir gıda kurutma fırınındaki bir adet akım dizisi ele alınarak türbülanslı akış koşulunda (Re = sabit = 10 000) hem hava hem de O_2'nin farklı akım giriş sıcaklıkları (40℃, 45℃, 50℃ ve 100℃) için olası bir kurutma prosesi sayısal olarak analiz edilmiştir. Gıda maddesi ile temas halinde olan yüzeyin alt kısmı sabit 298.15 K sıcaklığında tutularak sürekli gıda maddesi beslemeli bir fırın modeli kurgulanmıştır.

Simülasyon sonuçları gıda maddesi ile temas halinde olan yüzeydeki sıcaklığın ($T_{yüzey}$), ısı taşınım katsayısı (h)'nın ve Nusselt sayısı (Nu)'nın yerel değerleri açısından yorumlanmıştır. Buna göre, aynı akış giriş sıcaklığında hava yerine O_2 kullanılmasıyla y-ekseninin orta noktasındaki yerel $T_{yüzey}$ ve yerel Nusselt sayısı çok az miktarda azalırken, yerel ısı taşınım katsayısı ise nispeten daha fazla artış göstermiştir. Bu durum gıda kurutma prosesi dikkate alındığında ısıya fazla duyarlı bir gıda maddesinin yanmadan kurutulması gerektiği düşünüldüğünde $T_{yüzey}$ sıcaklığının azalması ve gıdanın kurutma hızının yüksek olması gerektiği düşünüldüğünde ise ısı taşınım katsayısı (h)'nın artması oldukça avantajlıdır.

Bu konuyla ilgili daha ileriki çalışmalarda çalışma akışkanının değişken özellikli olması durumu ile fazla sayıda akım dizilerinden oluşan bir kurutma fırını ele alınabilir.

KAYNAKLAR

1. Agrawal, C., *Flow Visualization of Air Jet Impingement on Convex Heated Surface-A Review.* J. Sci. Technol, 2017. **3**(8): p. 735741.
2. Dewan, A., R. Dutta, and B. Srinivasan, *Recent trends in computation of turbulent jet impingement heat transfer.* Heat Transfer Engineering, 2012. **33**(4-5): p. 447-460.
3. Kaushik, M., R. Kumar, and G. Humrutha, *Review of computational fluid dynamics studies on jets.* American Journal of Fluid Dynamics, 2015. **5**(3A): p. 1-11.
4. Nastase, I. and F. Bode. *Impinging jets–a short review on strategies for heat transfer enhancement*. in *E3S Web of Conferences*. 2018. EDP Sciences.
5. Ravindra, G., *Heat Transfer Enhancement by Using Nanofluid Jetimpingement.* International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology: p. 1-4.
6. Shukla, A.K. and A. Dewan, *Flow and thermal characteristics of jet impingement: comprehensive review.* Int. J. Heat Technol, 2017. **35**(1): p. 153-166.
7. Weigand, B. and S. Spring. *Multiple jet impingement– a review*. in *TURBINE-09. Proceedings of international symposium on heat transfer in gas turbine systems*. 2009. Begel House Inc.
8. Attalla, M., *Stagnation region heat transfer for circular jets impinging on a flat plate.* Experimental Heat Transfer, 2015. **28**(2): p. 139-155.
9. Bu, X., et al., *Experimental study of jet impingement heat transfer on a variable-curvature concave surface in a wing leading edge.* International Journal of Heat and Mass Transfer, 2015. **90**: p. 92-101.

10. Bu, X., et al., *Jet impingement heat transfer on a concave surface in a wing leading edge: Experimental study and correlation development.* Experimental Thermal and Fluid Science, 2016. **78**: p. 199-207.
11. Hossain, J., et al. *A Detailed Experimental and Numerical Investigation of Flow Physics in a Single Row Narrow Impingement Channel Using PIV, LES and RANS*. in *52nd AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference*. 2016.
12. Patil, V.S. and R. Vedula, *Local heat transfer for jet impingement onto a concave surface including injection nozzle length to diameter and curvature ratio effects.* Experimental Thermal and Fluid Science, 2018. **92**: p. 375-389.
13. Yang, B., et al., *Experimental and numerical investigation of heat transfer in an array of impingement jets on a concave surface.* Applied Thermal Engineering, 2017. **127**: p. 473-483.
14. Martin, E.L., *Experimental and numerical investigation of high temperature jet impingement for turbine cooling applications*. 2011.
15. Goodro, M., et al., *Effects of Mach number and Reynolds number on jet array impingement heat transfer.* International Journal of Heat and Mass Transfer, 2007. **50**(1-2): p. 367-380.
16. Florschuetz, L. and C. Su, *Effects of crossflow temperature on heat transfer within an array of impinging jets.* 1987.
17. Chitsazan, A., *Heat and Mass Transfer from Jet Impingement Flow for Drying Machines*, Master's Thesis, Leibniz University, 2022.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

What drives sales of construction companies? A macro-level analysis in a developing country

Eni Numani [*], Gisjana Tahiri [2]

[1]*Department of Finance, Faculty of Economy, University of Tirana, Albania*
[2]*Department of Finance, Faculty of Economy, University of Tirana, Albania*

[*]*(eninumani@feut.edu.al)*

Abstract **–** This paper aims to identify the key macroeconomic factors that influence the sales of construction companies in Albania. Albania is classified as an upper-middle-income country and has experienced a significant boost in construction over the last two decades. This sector is characterized by a rising number of construction permits, high levels of informality, rapid price growth, high sales, etc. The study uses secondary data over the period 2007-2022 to examine the impact that factors such as corruption, remittances, foreign direct investments, bank financing and GDP growth have on sales of construction companies. By employing a multiple regression model, the study reveals that foreign direct investments positively influence construction company sales. At the same time, corruption, real GDP growth and financing from financial institutions have a negative impact. Emigrant remittances turn out to be statistically insignificant. These results are very interesting and, in some cases, do not align with expectations based on the existing literature.

Keywords – Construction, sales, corruption, remittances, foreign direct investments, bank financing.

I. INTRODUCTION

The purpose of this paper is to investigate the determinants of sales in the construction sector in a developing country like Albania. This research is particularly relevant given the current boom in the sector, especially in residential construction. Over the past decade, there has been a significant rise in the number of building permits, particularly for residential projects, which have seen an average annual increase of 35% since 2015. Non-residential buildings, on the other hand, have experienced a more modest average annual growth of 17%, with a noticeable decline in recent years.

Tirana is the city with the highest number of building permits. In the past year, 42% of the national permits were in Tirana, followed by Durrës (25%) and Elbasan (10%). These statistics are expected, as these cities are the largest in Albania. However, the phenomenon that is accompanying the construction sector is that apartment prices, especially in the capital, Tirana, are very high compared to the average living standard. Prices have experienced a rapid increase in the last 5 years, and despite the increase in supply due to the increase in construction, there is no downward trend.

The real estate market has often been considered deregulated. In this context, the paper attempts to shed light and answer the question of which factors influence the sales of construction companies in Albania.

The paper is organized as follows: The next section summarizes the existing literature on the relation between macroeconomic factors and sales of construction companies. It is followed by the methodology

of the study, the analysis of results, and the discussion. The paper is closed with some suggestions for future research.

II. Literature Review

The sales of construction companies are the result of the combination and interrelation of a variety of internal and external factors [1]. Internal factors refer to the unique characteristics of construction companies, their management style, the technologies they use, etc. These factors have been addressed to a large extent in previous studies. However, it is also crucial to highlight the macroeconomic factors that shape the external environment in which these companies operate. The following literature focuses on identifying these factors based on recent studies and outlining the correlations that have been established.

Corruption and sales of construction companies

Developing countries often experience high levels of informality and corruption across various sectors, with the construction industry considered the most corrupt on a global scale [2], [3]. The construction sector's unique characteristics, including its involvement of multiple stakeholders such as construction companies, government entities, businesses, contractors, clients, etc., contribute to an environment marked by intense competition and a lack of ethical standards. Issues like money laundering further complicate this landscape [2], [4]. Corruption within the construction sector is manifested in various forms, including bribery, fraud, and subjective pricing, among others [3]. These illegal actions negatively affect competition within the sector and can bring unfair benefits to certain companies, leading to increased sales. Although profits may be higher in countries with high corruption, better performance is also observed by construction companies operating in a developed country with low levels of corruption [5].

On the other hand, other studies have reached a different conclusion about the effect of corruption on business activity. [6], including businesses from 140 developing countries in their study, concluded that corruption negatively affects the level of sales and the growth of firms' productivity. The study concludes that small and medium-sized businesses are most affected by corruption, and large businesses are less affected.

Hypothesis 1: Corruption negatively impacts the sales of construction companies.

GDP and sales of construction companies

Gross Domestic Product (GDP) plays a crucial role in influencing various sectors, including construction. [1] explored the effects of both internal and external factors on the profitability of construction firms through simulated impact scenarios. Their findings revealed an inverse relationship between GDP and the Return on Assets (ROA) and Return on Equity (ROE) of these companies across different scenarios. Specifically, they noted that a decline in GDP, combined with currency depreciation, reduced revenue costs, or increased inflation, tended to enhance companies' ROA and ROE. On the other hand, other authors ([7], [8]) have concluded that the relationship between economic growth and sales of construction companies is positive. According to the study conducted by them in Turkey, China, and the UK, respectively, it was found that economic growth affects the increase in investments in the construction sector, and consequently boosts the sales of construction companies.

In Albania, several studies have examined the connection between GDP and the construction sector. [9] found that GDP positively influences the profitability (ROA) of construction companies in the country, alongside interest rates. Their research also identified a negative correlation between inflation, exchange rates, and the profitability of 36 companies over the period from 2010 to 2020. Additionally, [10] observed a positive relationship between GDP and housing prices in Albania, both in the short and long term.

Hypothesis 2: *GDP growth positively impacts the sales of construction companies.*

FDI and sales of construction companies

Extensive literature supports the impact of FDI on macroeconomic indicators of developing countries, especially as a key factor in driving GDP growth. This also applies to the case of Albania and has been evidenced in a large number of studies ([11], [12], [13]). But studies linking FDI to the construction sector are fewer. [14] analyzed the contribution of FDI to the construction sector, identifying through primary data both opportunities, such as: knowledge spillovers, capital for new investment and resilience during financial crises and the main challenges related to this sector, such as: loss of ownership advantage and additional costs, crowding-out of national firms, etc. Through quantitative findings, they identified a positive impact of FDI flows on the development of the construction sector in developing countries. The effect of FDI in the short term may be different from its effect in the long term. In the study conducted by [15] it was found that not all private companies benefit from the increase in Foreign Direct Investments. Many companies need to invest more in innovation or need to cooperate with other companies to survive in the market. On the other hand, it was concluded that Foreign Direct Investments have a positive effect in the long term in the construction sector, mainly affecting the increase in the efficiency and productivity of companies.

Hypothesis 3: *FDIs positively impact the sales of construction companies.*

Lending and sales of construction companies

Historically, housing prices have been increasing year by year. For many individuals, purchasing a home is difficult to fully finance with their own funds or family savings. For this reason, the banking sector makes an important contribution to financing. [16] studied the effect on the construction sector of reforms undertaken in the banking sector in Nigeria. The results of their study showed that improving access to credit positively affects the construction sector.

One key factor in lending is interest rates. According to [10], the effect of mortgage rates on housing prices varies depending on the time frame. In the short term, these rates do not influence prices, but over the long term, an increase in lending costs can lead to a proportional rise in housing prices. Additionally, other research indicates that higher financing interest rates tend to reduce the Return on Assets (ROA) and Return on Equity (ROE) for construction companies [1].

Hypothesis 4: *Lending from financial institutions positively impacts the sales of construction companies.*

Remittances and sales of construction companies

Remittances are an important macroeconomic indicator, mainly for developing economies and those with a high level of emigration. Monetary funds sent by emigrants are an important source of financing for both families and businesses. Kosovo is one of the countries in the Balkan region that has experienced a steady increase in remittances [17]. The vast majority of them are used to support households. Regarding the invested funds of emigrants, over 40% are invested in the construction sector. The importance of remittances in the construction sector is also supported by the study conducted by [18]. Based on data for 38 years, the authors concluded that remittances are one of the most important factors affecting the demand of the construction sector.

Hypothesis 5: *Remittances positively impact the sales of construction companies.*

III. METHODOLOGY

The purpose of this paper is to investigate the determinants of sales in the construction sector in a developing country like Albania. The study employs a multiple regression model, which is widely used in similar studies to express the relationship of several independent variables to a dependent variable.

Variables of the study:

The study uses annual data from 2007 to 2022 with 16 observations in total, which are sufficient to be used in the multiple regression technique.

The variables included in the study are presented below:

Dependent Variable:

Sales of construction companies (SALE) – This variable shows the annual income declared by construction companies in Albania. Data is taken from the INSTAT database.

Independent variables:

Corruption (CORR) – This variable indicates the level of perceived corruption in a country and is expressed by the Corruption Perceptions Index score. Data is retrieved from the Transparency International database, which calculates an index score based on the assessment that experts and businesspeople make for a country's public sector. The score ranges from 0 (high corruption) to 100 (no corruption). Although the assessment can be considered subjective, this is the most commonly used indicator for expressing corruption.

GDP growth (GDP) – The study considers the real GDP growth, which refers to the GDP growth adjusted by inflation. This is a better indicator than nominal GDP growth because it shows the true growth of output, which does not come from an increase in the general price level. Data is retrieved from INSTAT database.

Foreign Direct Investments (FDI) – This variable indicates net FDI inflows in Albania. Data is taken from the World Bank database, according to which the indicator refers to the sum of equity capital, reinvestment of earnings, and other capital sources coming from other countries to the reporting country.

Crediting (CRED) – This variable refers to the overall level of private sector lending by commercial banks and other financial institutions as a percentage of GDP. There is no detailed and specific data for lending to the construction sector, therefore, this general indicator is used and data is retrieved from the World Bank database.

Remittances (REM) – Remittances are inflows from nonresident households and received by resident households. According to data provided by the World Bank, these remittances encompass both cash and in-kind contributions. Remittances are considered an important source of income in developing countries and are expected to influence investments and sales in the construction sector.

Multiple regression model:

Considering these variables, the general formula used in the multiple regression model is:

$$SALE_{i,t} = \beta_o + \beta_1 * CORR_{i,t} + \beta_2 * GDP_{i,t} + \beta_3 * FDI_{i,t} + \beta_4 * CRED_{i,t} + \beta_5 * REM_{i,t} + \varepsilon_{i,t}$$

where β_0 is the intercept, $\beta_1 - \beta_5$ are regression coefficients and ε_{it} is the error term.

Although the multiple regression model is widely used in the literature in other similar studies, it is necessary to perform tests to check its appropriateness. For this reason, the Ramsey Reset Test was used to determine whether this statistical method is appropriate or not. Also, a series of other tests were used to verify the reliability of the output of the regression model, such as:

- Jarque-Bera normality test: to check if residuals have a normal distribution;

- Breusch – Godfrey serial correlation LM test: to check if problems of autocorrelation exist;

- Breusch – Pagan – Godfrey heteroscedasticity test: to check if the model is homoscedastic or heteroscedastic;

- Variance Inflation Factor – to check the existence of multicollinearity in the regression analysis.

IV. Analysis of Results and Discussion

The initial step in the analysis involves presenting the descriptive statistics (Table 1), which offer an overview of the variables used in the study. Additionally, the trend analysis (Figure 1) illustrates the trends associated with each variable during the period 2007 - 2022.

Table 1. Summary of descriptive statistics

	SALE	*FDI*	*GDP*	*CORR*	*REM*	*CRED*
Mean	215,826.31	1,118,587.19	2.80	34.00	1,472.74	36.89
St. Error	14,344.95	46,224.43	0.68	0.76	44.63	0.86
Median	204,597.00	1,119,913.10	2.90	33.50	1,462.11	37.56
St. Deviation	57,379.80	184,897.74	2.53	2.83	167.00	3.21
Minimum	127,307.00	652,275.60	(3.50)	29.00	1,281.85	29.92
Maximum	340,669.00	1,441,381.89	7.50	39.00	1,865.60	41.01

Source: Author's calculations

Almost all variables have experienced high volatility throughout the period, except for the revenues of construction companies, which have generally had an increasing trend. Sales of these companies increased by 168% from 2007 to 2022. Even in the pandemic year 2020, the sales trend was increasing, while almost all other indicators decreased. This year, the financing level from financial institutions has also increased due to financial difficulties and the lack of liquidity faced by all businesses in the country.

FDIs and remittances have experienced significant fluctuations over recent years. The corruption index has reached an average value of 34/100 during this period, positioning Albania as a country with a high level of perceived corruption in public institutions. Despite the continuous efforts made to combat corruption, the best level of the index that our country has achieved was 39, which still reflects an unfavorable situation.

Regarding real GDP growth, the highest rate was reached in 2008, while the worst year was 2020 (-3.5%), where the pandemic caused the negative impact. Currently, Albania has an increasing trend in the real GDP growth rate, but it still needs time to recover fully to pre-pandemic levels, particularly due to significant price increases influenced by the ongoing conflict in Ukraine.

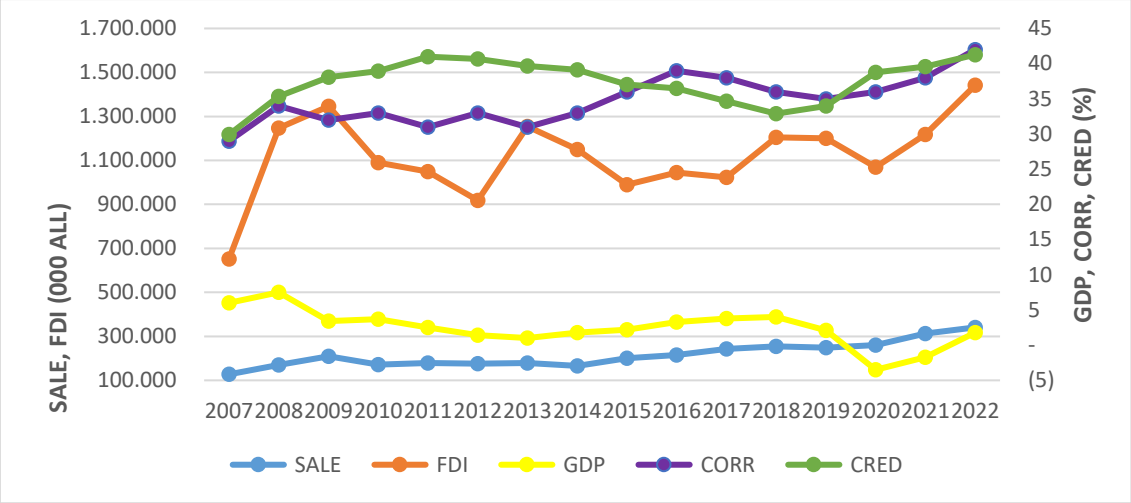


Figure 1. Trend chart of study variables (2007 – 2022)

Source: Author's calculations

Another important component of the analysis is the correlation between the variables. Based on the correlation matrix (Table 2), sales of construction companies have a positive relation with all the independent variables, except the GDP growth rate. The relation of the dependent variable with FDIs, corruption index, GDP growth rate is strong, but the size of the coefficients does not indicate problems between the variables.

Table 2. Correlation matrix

	SALE	*FDI*	*GDP*	*CORR*	*REM*	*CRED*
SALE	1.0000					
FDI	0.5822	1.0000				
GDP	(0.5064)	(0.1693)	1.0000			
CORR	0.8419	0.4228	(0.2755)	1.0000		
REM	0.2619	0.5304	0.2480	0.1333	1.0000	
CRED	0.2312	0.4344	(0.5671)	0.1584	0.1871	1.0000

Source: Author's calculations

As explained in the methodology section, the statistical analysis is carried out using multiple regression. The results are very interesting and, in some cases, do not align with expectations based on the existing literature. Thus, the only factor driving sales of construction companies based on the Albanian environment is FDI, while the factors that affect the decrease of the dependent variable are: corruption, real GDP growth and financing from financial institutions. Emigrant remittances turn out to be statistically insignificant.

Table 3. Results of the multiple regression analysis

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
CORR	0.0209	0.0043	4.9015	0.0006*
GDP	(0.0170)	0.0061	(2.7901)	0.0191*
FDI	0.0000	0.0000	2.4123	0.0365*
CRED	(0.0063)	0.0033	(1.8995)	0.0867**
REM	0.0001	0.0001	0.6374	0.5382
C	4.5625	0.1815	25.1330	-
R-squared	0.9290	Mean dependent var		5.2565
Adjusted R-squared	0.8935	S.D. dependent var		0.1298
S.E. of regression	0.0424	Akaike info criterion		(3.2047)

Sum squared resid	0.0180	Schwarz criterion	(2.9150)
Log likelihood	31.6379	Hannan-Quinn criter.	(3.1899)
F-statistic	26.1622	Durbin-Watson stat	1.9023
Prob(F-statistic)	0.0000		

* $p < 0.05$

**$p < 0.1$

Source: Author's calculations in Eviews

Table 3 summarizes the overall results of the multiple regression model. However, it is important to consider whether this model possesses the necessary diagnostic parameters to draw valid conclusions regarding the relationship between the independent and dependent variables. Before discussing the results, it is necessary to evaluate the overall characteristics of the model and the diagnostic tests. Thus, the model has a high R^2 (adjusted) of 89% and is statistically significant, since Prob (F-statistic) < 0.05. Also, based on the Ramsey Reset test (Table 4), it is confirmed that the linear form of the model is appropriate, allowing us to utilize the model's output for drawing reliable conclusions.

Table 4. Results of Ramsey Reset Test

	Value	Df	Probability
t-statistic	0.436770	9	0.6726
F-statistic	0.190768	(1, 9)	0.6726
Likelihood ratio	0.335600	1	0.5624

Source: Author's calculations in Eviews

Moreover, the results of the diagnostic tests fully confirm that the model is reliable and can be used to predict the sales of construction companies based on the independent variables. The results of the tests are summarized in Table 5.

Table 5. Summary of diagnostic tests

Variance Inflation Factors			
	Coefficient	Uncentered	Centered
Variable	Variance	VIF	VIF
CORR	1.81E-05	176.8436	2.497891
GDP	3.72E-05	5.339543	2.025678
FDI	6.42E-21	61.32474	5.339157
CRED	1.09E-05	120.8766	4.415365
REM	9.06E-09	172.8479	2.036516
C	0.032954	293.6996	NA
Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:			
F-statistic	0.000445	Prob. F(2,8)	0.9996
Obs*R-squared	0.001780	Prob. Chi-Square(2)	0.9991
Heteroskedasticity Test: Breusch-Pagan-Godfrey			
F-statistic	0.243612	Prob. F(5,10)	0.9338
Obs*R-squared	1.737284	Prob. Chi-Square(5)	0.8842
Scaled explained SS	0.313645	Prob. Chi-Square(5)	0.9974
Jarque-Bera residuals normality test			
Jarque-Bera	0.958205		
Probability	0.619339		

Source: Author's calculations in Eviews

Based on the results of the regression model, not all the hypotheses of the study have been met, as summarized in the following table:

Table 6. Hypothesis rejection/acceptance

Hypothesis	Description	Acceptance/rejection
Hypothesis 1	Corruption negatively impacts the sales of construction companies.	***Accepted***
Hypothesis 2	GDP growth positively impacts the sales of construction companies.	***Rejected***
Hypothesis 3	FDIs positively impact the sales of construction companies.	***Accepted***
Hypothesis 4	Lending from financial institutions positively impacts the sales of construction companies.	***Rejected***
Hypothesis 5	Remittances positively impact the sales of construction companies.	***Rejected***

As predicted by the literature, FDIs positively affect the sales of construction companies. The increase in flows from foreign countries may encourage the development of new construction projects, more innovative approaches, new technologies, etc. This may bring higher efficiency and consequently an increase in sales and overall financial performance.

Another accepted hypothesis is the one that links corruption with sales. The higher the value of the Corruption Perception Index, meaning lower corruption levels, the higher the sales. This phenomenon can be attributed to the fact that, through corrupt practices, construction companies can achieve unfair competition and/or set abusive and preferential prices to different customers, thus resulting in damage of reputation and loss of trust by clients.

Interestingly, this study highlights an unexpected negative relation between GDP growth and construction company sales. In this case, the improvement in GDP may lead to an increase in input costs in construction, which reduces the profitability of companies or may encourage the entrance of new competitors in the sector, reducing market share and sales. Moreover, the increase in financing from banks and other financial institutions, although solving the financial difficulties of companies, may also lead to an increase in costs and financial risk.

Finally, remittances, although they are a key source of income in a country like Albania and were expected to have a positive effect on the sales of construction companies, do not result in being statistically significant. This may come because a very large part of them is used to meet the everyday needs of households, and a very small portion goes for investments.

V. Suggestions for Future Research

Due to the importance and great development potential of the construction sector in developing countries, such as Albania, it is of high interest that this research topic be further explored in the future. Some of the directions where scientific research can be focused in the future are:

- Including indicators that are more specific to the industry, since this study uses general macroeconomic indicators. Such indicators may be: financing in the construction sector, environmental factors, construction regulatory environment, etc.

- Since this study considers only secondary data, the inclusion of primary data can lead to more specific and comprehensive conclusions and a deeper insight from stakeholders involved in the sector.

- This study is specific to Albania, but it would be very interesting to extend the study to other developing countries to compare the conclusions and investigate the differences that exist.

REFERENCES

[1] Halian, W., Sinaga, B. and Novianti, T. (2020). "Factors Affecting Profitability of Construction Company Sub-Sector", *Indonesian Journal of Business and Entrepreneurship*, 6. 10.17358/ijbe.6.2.118.

[2] Zhai, Z., Shan, M., Darko, A. and Chan, A. P. C. (2021). "Corruption in Construction Projects: Bibliometric Analysis of Global Research", *Sustainability*, 13(8), 4400. https://doi.org/10.3390/su13084400.

[3] Brown, J. and Loosemore, M. (2015), "Behavioural factors influencing corrupt action in the Australian construction industry", *Engineering, Construction and Architectural Management*, Vol. 22 No. 4, pp. 372-389. https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2015-0034.

[4] Yap, J. B. H., Lee, K. Y. and Skitmore, M. (2020), "Analysing the causes of corruption in the Malaysian construction industry", *Journal of Engineering, Design and Technology*, Vol. 18 No. 6, pp. 1823-1847. https://doi.org/10.1108/JEDT-02-2020-0037.

[5] Wittberg, E. and Fazekas, M. (2023) "Firm performance, imperfect competition, and corruption risks in procurement: evidence from Swedish municipalities", *Public Choice* 197, 227–251. https://doi.org/10.1007/s11127-023-01102-8.

[6] Lourenço, D. and Cerdeira, J. (2024). "Too much of a good thing? The concave impact of corruption on firm performance", *Cogent Business & Management*, 11(1). https://doi.org/10.1080/23311975.2024.2378916.

[7] Kaya, V., Yalçinkaya, Ö. and Huseyni, I. (2013). "Role of Construction Sector in Economic Growth: The Case of Turkey (1987-2010)", *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi*. 27. 148-167.

[8] Jiang, Q. (2012). "Analysis on the relationship between GDP and construction based on the data of UK and China", *National Conference for Engineering Sciences*, 1269–1272. https://doi.org/10.1109/NCES.2012.6543690.

[9] Puci, J., Demi, A. and Kadiu, A. (2023). ″Impact of macroeconomic variables on the construction sector", *Corporate & Business Strategy Review*, 4(1), 22–30. https://doi.org/10.22495/cbsrv4i1art2.

[10] Halili, F. (2022). "The Impact of Macroeconomic Factors on the Change of Residential Prices – The Case Study of Albania.", *International Journal of Applied Research in Management and Economics*, 5(4), 29–44. DOI: 10.33422/ijarme.v5i4.946.

[11] Cakerri, L., Muharremi, O. and Madani, F. (2020). "An Empirical Study in Albania of Foreign Direct Investments and Economic Growth Relationship", *International Journal of Economics and Financial Issues*, 10(2), 193–202.

[12] Hysa, E. and Hodo, L. (2016). "Foreign Direct Investment and Economic Growth in Albania: A Co-integration Analysis", *Ekonomia Międzynarodowa*, 15, 234-244.

[13] Lleshaj, L., Malaj, V. and Tushaj, A. (2014). "An Assessment of Foreign Direct Investments Effects in Albania", *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 5(22), 218-225.

[14] Babatunde, S. O., Awodele, O. A. and Adeniyi, O. (2018). "Opportunities and challenges of foreign direct investment utilisation and its impact on construction sector in developing countries", *Journal of Financial Management of Property and Construction*, Vol. 23 No. 2, pp. 239-256. https://doi.org/10.1108/JFMPC-07-2017-0025.

[15] Eimers, N.; Toorman, J and Nouwens, J. (2004) "The effects of Foreign Direct Investment on local companies. Case: The Polish construction sector", *MBA Dissertation*, Kristianstad University.

[16] Saka, N. and Olanipekun, A.O. (2021), "Impact of the banking sector reform in the construction sector", *Journal of Financial Management of Property and Construction*, Vol. 26 No. 3, pp. 387-407. https://doi.org/10.1108/JFMPC-03-2020-0012.

[17] Bellaqa, B. and Jusufi, G. (2020). "Management of Remittances and their role in Economic Development in Kosovo", *International Journal of Management Excellence*, Volume 14, No. 2.

[18] Kagochi, J. and Kiambigi, M. (2012). "Remittances' Influence on Housing Construction Demand in Sub-Saharan Africa: The Case of Kenya." *African Development Review*. 24. 10.1111/j.1467-8268.2012.00321.x.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

ICSIS

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Bir Güneş Bacasında Akış Dinamiği ve Daralan Kesitteki Hız ve Basınç Profilinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile İncelenmesi

Nurhan Adil ÖZTÜRK [1*], Mustafa ÖNAL [1]

[1]*Makine Mühendisliği Bölümü / Lisansütü Eğitim Enstitüsü, İskenderun Teknik Üniversitesi, Türkiye*

[*]*nadil.ozturk@iste.edu.tr*

Özet **–** Bu çalışma, bir güneş bacası içindeki akış dinamiklerini araştırır ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) kullanarak birleşen bir bölümdeki hız ve basınç profillerindeki değişiklikleri inceler. Güneş bacaları, güç üretimi için hava hareketini teşvik etmek üzere güneş radyasyonunu kullanan, sürdürülebilir enerji üretimi için yenilikçi sistemlerdir. Araştırma, daralan kesitin hız ve basınç dağılımı dahil olmak üzere hava akışı özelliklerini nasıl etkilediğini analiz etmek için sayısal simülasyon yöntemlerinin sonuçlarını kullanır. Çalışma, yapısal tasarım parametrelerinin etkisini vurgulayarak sistemin termal ve akışkan dinamiği davranışına ilişkin ayrıntılı bilgiler sağlar. Sonuçlar, geometrik yapılandırmaların performans ve verimliliği optimize etmedeki önemini göstermektedir. Bu bulgular, yenilenebilir enerji uygulamaları için daha verimli güneş bacası sistemlerinin tasarımına ve geliştirilmesine katkıda bulunur.

Anahtar Kelimeler – Güneş bacası, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, Yenilenebilir enerji, SCPP, CFD

I. GİRİŞ

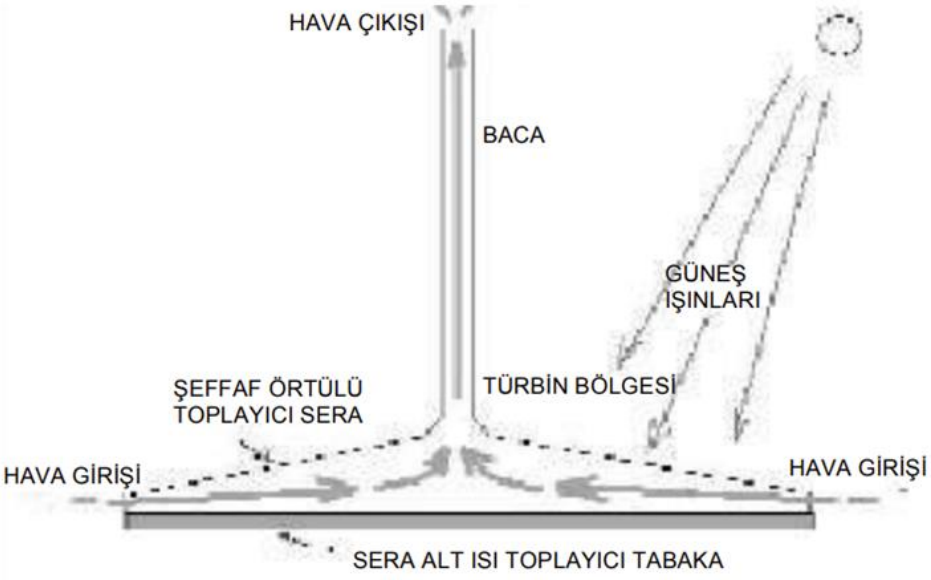
Günümüzde enerji ihtiyacı, hızla artan nüfus ve sanayileşmenin etkisiyle sürekli olarak yükselmektedir. Bu durum, fosil yakıtların sınırlı rezervleri ve çevreye olan olumsuz etkileri nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Güneş enerjisi, temiz, sürdürülebilir ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak bu alanda öne çıkmaktadır. Güneş enerjisinin etkin bir şekilde kullanılması için geliştirilen teknolojiler arasında güneş bacaları önemli bir yer tutmaktadır. Güneş bacaları, güneş ışınlarını toplayarak bir sera etkisi oluşturur ve bu etkiyle hava akışını tetikleyerek enerji üretimini sağlar. Sistemin temel çalışma prensibi, güneş ışınımı ile ısınan havanın yoğunluğunun azalması ve bunun sonucunda yukarı yönlü bir akışın meydana gelmesidir. Bu basit fakat etkili sistem, düşük maliyetli enerji üretiminde önemli bir alternatif sunmaktadır. Ancak, güneş bacalarının performansı ve verimliliği, tasarım parametreleri ve akış dinamikleri gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Güneş bacası sistemlerinde daralan kesitler, akış dinamikleri üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. Bu bölgelerde hız profili artarken, basınç profili düşüş gösterir. Bu değişimlerin detaylı bir şekilde incelenmesi, sistem performansını optimize etmek açısından oldukça önemlidir. Özellikle, hız ve basınç değişimlerinin sistem içindeki enerji üretimine olan etkilerinin anlaşılması, tasarım süreçlerinde yol gösterici olabilir. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), akışkanların davranışını analiz etmek ve tasarım süreçlerini iyileştirmek için kullanılan güçlü bir mühendislik aracıdır. HAD yöntemi, akışkanlar üzerindeki hız, basınç ve sıcaklık gibi parametrelerin detaylı bir şekilde incelenmesine olanak tanır. Güneş bacası sistemlerinin analizi ve optimizasyonu için HAD simülasyonlarının kullanılması, sistemin daha iyi anlaşılmasını ve performansının artırılmasını sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı, bir güneş bacasında daralan kesitteki akış dinamiklerini ve buna bağlı olarak hız ve basınç profillerindeki değişimleri HAD yöntemi ile incelemektir. Çalışma kapsamında, sistemin geometrik parametrelerinin akış özellikleri üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Ayrıca, elde edilen sonuçlar ışığında güneş bacası tasarımlarında dikkate alınması gereken önemli faktörler ortaya konulmuştur. Bu araştırma, sürdürülebilir enerji sistemleri tasarımında önemli katkılar sunmayı

hedeflemektedir. Güneş bacalarının performansının artırılmasına yönelik bulgular hem akademik çalışmalara hem de endüstriyel uygulamalara ışık tutacak niteliktedir. Böylece, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha verimli bir şekilde kullanılmasına yönelik önemli bir adım atılmış olacaktır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

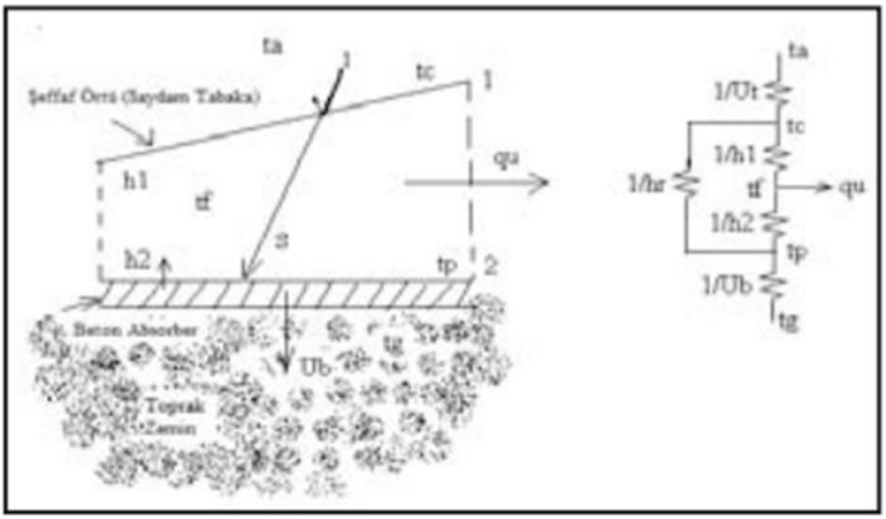
A. Güneş Bacası

Yüksek ve orta sıcaklık gerektiren enerji sistemleri, genellikle ileri düzey endüstriyel teknolojilere ihtiyaç duyar ve bu nedenle yüksek ilk yatırım maliyetleri ortaya çıkarır [1]. Buna karşın, güneş bacaları ileri düzey bir teknoloji gerektirmeyen, daha erişilebilir sistemlerdir. Güneş bacalarının ilk yatırım maliyeti, 3000 ile 4000 €/kW arasında değişmektedir [2]. Ancak, teknolojinin gelişmesi ve enerji talebine bağlı olarak bu maliyetlerin önümüzdeki yıllarda ciddi ölçüde düşmesi beklenmektedir. Bu ekonomik ve teknik avantajları, güneş bacalarını özellikle Türkiye gibi güneşlenme süresinin yüksek olduğu coğrafyalarda oldukça uygun hale getirmektedir. Ülkemizde güneş enerjisi genellikle su ısıtma amaçlı sistemlerde kullanılmaktadır. Oysa dünya genelinde, güneş enerjisinin endüstriyel süreçlerde ısıl enerji üretimi ve elektrik üretimi gibi geniş ölçekli uygulama alanları bulunmaktadır. Bu bağlamda, güneş bacaları güneş enerjisinin farklı enerji formlarına dönüştürülmesini sağlayan yenilikçi sistemlerdir. Güneş bacası sistemleri, güneş enerjisini önce ısıl enerjiye, ardından bu enerjiyi kinetik enerjiye ve son olarak da elektrik enerjisine dönüştüren bir süreç izler. Bu dönüşüm zinciri, sistemin hem verimliliğini artırır hem de çok yönlü bir enerji kaynağı sunar. Bir güneş bacası temel olarak iki ana bileşenden oluşur: bir seralı toplayıcı ve bir baca. Sera kısmı, güneş ışınlarını toplayarak havayı ısıtan bir mekanizma olarak çalışır. Isınan hava, yoğunluğunun azalmasıyla yükselir ve baca kısmına doğru hareket eder. Bu baca, içindeki rüzgâr türbini aracılığıyla kinetik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Sistemin uzun baca kısmı, yüksekliğe bağlı olarak hava akışını hızlandırarak türbinin verimliliğini artırır [3]. Güneş bacalarının bir diğer önemli avantajı, çevre dostu yapısıdır. Bu sistemler, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltarak karbon emisyonlarını düşürmekte ve sürdürülebilir enerji hedeflerine ulaşılmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca, yapısal olarak basit olmaları sayesinde düşük bakım gereksinimi ve uzun ömürlü kullanım sunar. Bu nedenle, özellikle gelişmekte olan ülkelerde güneş bacaları, temiz enerji üretimi için ekonomik ve uygulanabilir bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Türkiye gibi güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan ülkelerde, güneş bacaları hem yerel hem de ulusal enerji politikaları açısından büyük bir fırsat sunmaktadır.



Şekil 1. Güneş Bacasının Çalışma Biçimi (Kaynak: Üçgül, 2005)

Gelişmiş tasarım teknikleri ve yerel malzeme kullanımıyla bu sistemlerin maliyeti daha da düşürülebilir. Ayrıca, enerji depolama teknolojilerinin entegrasyonu ile güneş bacalarının günün her saati enerji üretmesi sağlanabilir. Bu tür iyileştirmeler, güneş bacalarının hem enerji güvenliğine katkıda bulunmasını hem de ekonomik sürdürülebilirlik sağlamasını mümkün kılacaktır. Nitekim güneş bacaları, ekonomik uygulanabilirliği, düşük çevresel etkisi ve yenilenebilir enerji üretimindeki çok yönlülüğü ile geleceğin enerji sistemleri arasında önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle güneşlenme potansiyeli yüksek olan bölgelerde, bu sistemlerin yaygınlaştırılması, enerji arz güvenliği ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için büyük bir adım olacaktır.



Şekil 2. Isıl Dirençlerin İlüstrasyonu (Kaynak: Üçgül, 2005)

B. Akış Dinamiği

Akış dinamiği, akışkanların hareketini, kuvvetlerle olan etkileşimlerini ve bu süreçte ortaya çıkan fiziksel değişimleri inceleyen bir bilim dalıdır. Fizik, mühendislik ve çeşitli uygulamalı bilim dallarında önemli bir yere sahip olan bu alan, hem teorik hem de pratik çözümler sunarak modern teknolojinin gelişimine katkı sağlamaktadır. Akışkanların davranışlarını anlamak, özellikle enerji, ulaşım ve çevre mühendisliği gibi alanlarda verimliliği artırmak ve sorunları çözmek için oldukça önemlidir. Bir akışkanın dinamik özellikleri, birçok faktör tarafından etkilenir. Akışkanın viskozitesi, yoğunluğu, sıcaklığı ve basıncı bu özelliklerin başında gelir. Akışkanların hareketi genellikle iki ana kategoriye ayrılır: laminer akış ve türbülanslı akış. Laminer akış, akışkan parçacıklarının düzenli ve paralel yollar izlediği, düşük hızlarda meydana gelen bir akış türüdür [4]. Bu tür akışta, akışkanın hareketi öngörülebilir ve enerji kayıpları minimum düzeydedir. Buna karşılık, türbülanslı akış, yüksek hızlarda ortaya çıkan, düzensiz ve karmaşık bir akış türüdür. Türbülanslı akışta, akışkan parçacıkları arasında sürekli karışım ve enerji aktarımı meydana gelir. Türbülansın incelenmesi, özellikle mühendislik tasarımlarında ve enerji üretim sistemlerinde büyük önem taşır. Akış dinamiği, Newton'un hareket yasalarına dayanır ve akışkanların hareketini tanımlayan Navier-Stokes denklemleri ile ifade edilir. Bu denklemler, akışkanın hız, basınç, yoğunluk ve viskozite gibi değişkenlerini ilişkilendiren diferansiyel denklemler sistemidir. Ancak, bu denklemler çoğu durumda analitik olarak çözülemediğinden, modern mühendislik uygulamalarında genellikle Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemleri kullanılmaktadır [5]. HAD, akışkanların davranışlarını dijital ortamda simüle ederek tasarım süreçlerini kolaylaştırır ve gerçek dünyadaki uygulamalar için hassas sonuçlar sunar. Akışkanların hareket ettiği boru veya kanal gibi yapıların geometrik özellikleri, akış dinamikleri üzerinde doğrudan etkilidir. Özellikle daralan kesitler, hız ve basınç profillerinde önemli değişikliklere yol açar. Daralan bir kesitte, akışkanın hızı artar ve Bernoulli prensibine göre basınç düşer. Bu fenomen, enerji üretim sistemlerinde ve mühendislik uygulamalarında sıkça karşılaşılan bir durumdur. Örneğin, rüzgar türbinlerinde, daralan kesitler türbin kanatlarına ulaşan hava hızını artırarak enerji üretimini optimize eder. Güneş bacası sistemlerinde de daralan kesitlerin etkisi

büyüktür. Sera toplayıcı bölümünde ısınan hava, daralan baca kesitine yönlendirildiğinde hızlanır ve baca boyunca yukarı doğru hareket eder. Bu hareket, türbinlerin daha yüksek verimlilikle çalışmasını sağlar. Ancak, daralan kesitlerde meydana gelen türbülans, sistem performansını olumsuz etkileyebilecek enerji kayıplarına yol açabilir. Bu nedenle, akış dinamiklerinin doğru bir şekilde analiz edilmesi, tasarım süreçlerinde oldukça önemlidir. Akış dinamiği, enerji üretim sistemlerinin tasarımı ve performans optimizasyonu için temel bir bilimsel altyapı sağlar. Örneğin, güneş bacalarında, akışkanın hızı ve basıncı sistemin enerji dönüşüm verimliliğini doğrudan etkiler. Bu tür sistemlerde hava akışının optimize edilmesi, hem enerji üretim miktarını artırır hem de sistemin uzun vadeli işletme maliyetlerini düşürür. Ayrıca, akış dinamiği yalnızca enerji sistemlerinde değil, aynı zamanda havacılık, otomotiv ve biyomedikal mühendisliği gibi alanlarda da geniş uygulama alanına sahiptir. Havacılık sektöründe, uçakların aerodinamik tasarımı akış dinamiği prensiplerine dayanır. Otomotiv mühendisliğinde ise yakıt tasarrufunu artırmak ve araç aerodinamiğini geliştirmek için akışkan davranışları incelenir. Bu bağlamda bakıldığında akış dinamiği, hem teorik hem de pratik açıdan geniş bir bilgi alanını kapsayan ve birçok mühendislik uygulamasında hayati öneme sahip bir disiplindir [5]. Güneş bacası gibi yenilenebilir enerji sistemlerinde akışkanların dinamik özelliklerinin detaylı bir şekilde incelenmesi, sistemlerin verimliliğini artırmak ve enerji dönüşüm süreçlerini optimize etmek açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Bu alandaki çalışmalar, hem sürdürülebilir enerjiye geçişi hızlandırmakta hem de enerji sistemlerinin tasarımında yenilikçi yaklaşımlar sunmaktadır.

III. BULGULAR

Daralan kesitler, akışkanlar mekaniği ve akış dinamiği açısından çok önemli bir noktada bulanan yapı elemanlarıdır. Borular, kanallar, nozüller ve güneş bacaları gibi sistemlerde daralan kesitler, akışkanın hız ve basınç profillerinde önemli değişimlere neden olur. Bu değişimler, Bernoulli prensibi ve süreklilik denklemleri ile açıklanabilir. Daralan kesitlerin tasarımı, enerji üretim sistemlerinden havacılık uygulamalarına kadar geniş bir alanda verimlilik ve performans artışı sağlamak amacıyla sıkça kullanılmaktadır. Daralan kesitlerdeki akışkan davranışı, temel olarak süreklilik denklemi ve Bernoulli prensibi ile açıklanır [6].

Süreklilik denklemi, bir akışkanın kapalı bir sistem içinde kütle korunumunun sağlanmasını ifade eder. Bu denkleme göre, kesit alanının azalması durumunda akış hızının artması zorunludur. Matematiksel olarak, sabit yoğunluklu bir akışkan için süreklilik denklemi şu şekilde ifade edilir:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \tag{1}$$

Burada A kesit alanını, v ise akışkanın hızını ifade etmektedir. Kesit alanı azaldıkça ($A_2<A_1$), hızın artması ($v_2>v_1$) beklenir.

Bernoulli prensibi, akışkanın enerjisinin korunumunu ifade eder ve hız ile basınç arasındaki ters ilişkiyi ortaya koyar. Durgun akışkanlarda toplam enerji sabit kabul edildiğinde, hızdaki artış basınçta bir azalmaya yol açar. Bu ilişki şu şekilde ifade edilir [7]:

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h = Sabit \tag{2}$$

Burada P basınç, ρ yoğunluk, v hız, g yerçekimi ivmesi ve h yüksekliktir. Bu denklemden hareketle, daralan bir kesitte hız artışı ile birlikte statik basıncın azaldığı görülür.

Daralan kesitlerde akışkanın hız ve basınç profillerindeki değişimler, sistem performansı üzerinde doğrudan etkilidir. Hızdaki artış, kinetik enerjinin artmasına yol açarken, basınç düşüşü potansiyel enerji kaybını ifade eder. Bu durum, enerji dönüşüm sistemleri için hem avantajlar hem de zorluklar yaratır. Örneğin, bir nozülde akışkanın hızını artırmak için daralan bir kesit kullanıldığında, kinetik enerji artışı

elde edilir ve bu enerji bir türbin ya da başka bir enerji dönüştürücü cihaz tarafından kullanılabilir. Ancak, daralan kesitlerde oluşan türbülans ve akış kararsızlıkları, enerji kayıplarına ve sistem verimliliğinde azalmaya neden olabilir. Bu nedenle, kesit geometrisinin dikkatli bir şekilde tasarlanması gereklidir. Daralan kesitlerin hız ve basınç profilleri üzerindeki etkileri, enerji sistemlerinde geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Bunlara Balijepalli ve Chandramohan (2004) şöyle örneklendirmelerde bulunmuştur:

Güneş Bacaları: Daralan baca kesitleri, sıcak hava akımını hızlandırarak türbin verimliliğini artırır. Ancak, basınç düşüşü ve türbülans etkilerinin kontrolü, sistem performansını optimize etmek için oldukça mühim bir tasarım kriteridir.

Gaz Türbinleri ve Nozüller: Daralan nozüller, yüksek hızlı jet akımları oluşturarak kinetik enerjiyi artırır ve enerji dönüşüm süreçlerinde önemli bir rol oynar.

Havalandırma Sistemleri: Daralan borular, akış hızını artırarak hava dağıtımını optimize eder. Ancak, basınç düşüşü nedeniyle sistemdeki enerji kaybı dikkate alınmalıdır [8].

Daralan kesitlerdeki akış dinamiklerini detaylı bir şekilde incelemek için HAD yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. HAD simülasyonları, hız ve basınç profillerinin kesit boyunca nasıl değiştiğini görselleştirme ve analiz etme imkânı sunar. Ayrıca, türbülans etkilerinin ve enerji kayıplarının optimize edilmesine olanak tanır. Özellikle güneş bacaları gibi kompleks sistemlerde, HAD yöntemleri tasarım süreçlerinin daha verimli ve etkili bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar [9]. Daralan kesitlerin akışkan hız ve basınç profilleri üzerindeki etkileri, mühendislik ve enerji sistemleri açısından oldukça önemlidir. Hızdaki artış, sistemlerin verimliliğini artırma potansiyeli taşırken, basınç düşüşü ve türbülans gibi olumsuz etkiler dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, daralan kesitlerin geometrisinin dikkatli bir şekilde tasarlanması ve akış dinamiklerinin doğru bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Korkmaz ve Kacar (2021)'a göre HAD gibi modern analiz yöntemleri, bu süreçte hem teorik hem de pratik çözümler sunarak, sistemlerin performansını optimize etmeye olanak tanımaktadır [10]. Daralan kesitlerin mühendislik uygulamalarında uygun şekilde kullanılması, enerji dönüşüm sistemlerinin daha verimli ve sürdürülebilir hale gelmesine katkıda bulunacaktır.

IV. TARTIŞMA

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımı, sürdürülebilir enerji hedefleri açısından büyük bir önem taşımaktadır. Güneş enerjisi, çevre dostu ve sınırsız bir enerji kaynağı olması nedeniyle dünya genelinde geniş uygulama alanlarına sahiptir. Bu bağlamda güneş bacası sistemleri, güneş enerjisinin termal enerjiye, ardından kinetik enerjiye ve son olarak elektrik enerjisine dönüştürüldüğü yenilikçi bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Güneş bacası performansının optimize edilmesi ve akışkan davranışlarının detaylı bir şekilde analiz edilmesi, sistemin verimliliğini artırmak ve tasarım süreçlerini iyileştirmek açısından önemlidir. Bu tür sistemlerin analizinde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemleri, geleneksel deneysel yöntemlere kıyasla büyük avantajlar sunar [11]. Bir güneş bacası sistemi, sera etkisinden yararlanarak hava akışını hızlandırmak ve bu akıştan enerji üretmek amacıyla tasarlanır. Gholamalizadeh ve Kim (2016) bu sistemin temel olarak üç ana bileşenden oluştuğunu belirtmektedir:

Sera Toplayıcı: Güneş ışığını yakalayarak havayı ısıtan geniş ve şeffaf bir yapı.

Baca (Kule): Isınan havayı hızlandırarak yukarı doğru yönlendiren ve türbinlerin yer aldığı uzun yapı.

Türbinler: Hava akışını kinetik enerjiye dönüştürerek elektrik üreten cihazlar [12].

Bu sistemde, toplayıcı bölümünde ısınan hava, baca boyunca yükselir. Hava akışının hızlanması ve türbinlere iletilmesiyle enerji dönüşümü gerçekleşir. Ancak sistemin optimum performansı, akışkanın hız, basınç ve sıcaklık dağılımlarının etkin yönetimine bağlıdır. HAD, akışkanların hareketini ve ilgili fiziksel etkileri bilgisayar ortamında modelleyen bir mühendislik analiz yöntemidir. Akışkanların hız, basınç, sıcaklık ve türbülans özelliklerini çözümlemek için Navier-Stokes denklemlerine dayanan HAD, deneysel yöntemlerle elde edilmesi zor veya maliyetli olan bilgileri sağlar. HAD'nin avantajları ise şunlardır:

Hassas Analiz: Karmaşık geometrilerdeki akışkan davranışlarını detaylı şekilde inceleme imkânı sunar.

Zaman ve Maliyet Tasarrufu: Deneysel prototip geliştirme sürecini azaltır.

Optimizasyon: Farklı tasarım parametrelerinin etkisini hızlı ve verimli bir şekilde test etme olanağı sağlar.

Güneş bacası sistemlerinin HAD yöntemleriyle analiz edilmesi, akışkan dinamiklerini, ısı transferini ve türbülans etkilerini anlamak açısından oldukça önemlidir çünkü bu analiz, sistemin farklı bileşenlerindeki enerji dönüşüm süreçlerini modelleyerek performansı optimize etmeyi hedefler. Toplayıcı bölümü, güneş enerjisini yakalayarak havayı ısıtan geniş bir yapıdır. HAD analizi, bu bölümdeki ısı transfer mekanizmalarını detaylı bir şekilde inceleyerek şu sorulara yanıt sağlar:

- Isı transferi hangi bölgelerde daha etkilidir?
- Toplayıcı geometrisi ve malzeme seçiminin sistem verimliliğine etkisi nedir?
- Hava akışı nasıl optimize edilebilir?

Bu analiz, toplayıcıdan baca girişine kadar olan akışkan hız ve sıcaklık profillerinin doğru bir şekilde belirlenmesine yardımcı olur. Baca, sistemin en önemli bileşenlerinden biridir ve akışkan hızının maksimum seviyeye ulaştığı bölgedir. Daralan kesit geometrisi ve baca yüksekliği, hava akışını önemli ölçüde etkiler. HAD analizinde şu faktörler incelenir:

- Baca yüksekliğinin ve çapının akışkan hızına etkisi.
- Türbülanslı akışın sistem performansına etkisi.
- Baca duvarlarındaki ısı kayıplarının minimize edilmesi.

Bu analizler, baca boyunca hız ve basınç dağılımlarını optimize ederek türbinlerin daha verimli çalışmasını sağlar. Türbinler ise sistemde kinetik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü bölümlerdir. HAD, türbin performansını etkileyen faktörleri detaylı bir şekilde inceleyerek şunları sağlar:

- Türbin yerleşim yerinin ve geometrisinin optimize edilmesi.
- Hava akışındaki türbülansın enerji üretimine etkisinin modellenmesi.
- Türbin verimliliğini artıracak hava akışı koşullarının belirlenmesi.

Bu noktada HAD, deneysel yöntemlere kıyasla güneş bacası tasarımında önemli avantajlar sunar. Özellikle yüksek maliyetli prototiplerin geliştirilmesi yerine, bilgisayar simülasyonlarıyla birçok farklı tasarım varyasyonu test edilebilir. Ayrıca, sistemin çalışma koşullarının geniş bir yelpazede incelenmesi, gelecekteki olası sorunları önceden tespit etme imkânı sunar.

HAD ile yapılan analizler sonucunda şu iyileştirmeler sağlanabilir:

- Daha düşük maliyetle daha verimli sistemler tasarlanabilir.
- Türbülans etkileri azaltılarak enerji kayıpları minimize edilebilir.
- Güneş bacası sistemleri, farklı iklim koşullarına uygun şekilde optimize edilebilir.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, bir güneş bacasında akış dinamiği ve daralan kesitteki hız ve basınç profillerinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemleriyle incelenmesi amaçlanmıştır. Güneş bacası, güneş enerjisinin ısıl enerjiye dönüşümünü sağlayarak kinetik enerjiye çevirdiği ve sonuç olarak elektrik üretimi gerçekleştirdiği verimli bir sistemdir. Bu sistemde, akışkanın hız, sıcaklık ve basınç profilleri, güneş bacasının genel verimliliğini doğrudan etkileyen faktörlerdir. HAD, bu faktörlerin ayrıntılı bir şekilde analiz edilmesine olanak tanır, böylece tasarım iyileştirmeleri yapılabilir ve sistemin performansı artırılabilir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, güneş bacasında hava akışının daralan kesitte hızla arttığını ve basıncın buna paralel olarak düştüğünü göstermektedir. Daralan kesitlerin akışkan dinamikleri üzerindeki etkisi, hız ve basınç profillerinde belirgin değişikliklere yol açmaktadır. Bu değişiklikler, enerji üretim verimliliğini doğrudan etkileyen önemli parametrelerdir. Ayrıca, toplayıcı bölümünde güneş ışığının hava ile verimli bir şekilde ısıya dönüştürülmesi, baca boyunca hızlanan hava akışının türbinlerin verimli çalışmasını sağlamaktadır. HAD simülasyonları, güneş bacası sisteminin her aşamasında (toplayıcıdan türbinlere kadar) detaylı analizler sunmuş ve tasarım parametrelerinin akışkanın hız ve basınç profilleri üzerindeki etkisini ortaya koymuştur. Bu bulgular, özellikle güneş bacası sistemlerinin verimliliğini artırmaya yönelik optimizasyon çalışmalarında faydalıdır. HAD yöntemlerinin kullanılması, sistem tasarımında deneme-yanılma yöntemine gerek kalmadan hızlı ve doğru sonuçlar elde edilmesine imkân tanımaktadır. Bu, özellikle sistemin ilk yatırım maliyetlerini düşürmek ve performansını iyileştirmek isteyen mühendislik uygulamaları için büyük bir avantaj sağlamaktadır. Nitekim güneş bacası sistemlerinin tasarımında HAD'nin etkin bir araç olarak kullanılmasının, sistem verimliliğini artırmada önemli bir rol oynadığı ve gelecekteki geliştirme süreçlerinde daha fazla yer alması gerektiği vurgulanmaktadır. Gelecekteki çalışmalar, farklı iklim koşullarında ve farklı geometrik tasarımlarla güneş bacası sistemlerinin performansını analiz ederek, daha yenilikçi ve verimli çözümler sunmayı hedeflemelidir. Bu tür analizler, güneş enerjisinin daha verimli kullanılmasını ve bu alandaki teknoloji gelişimlerini hızlandıracaktır.

KAYNAKLAR

[1] Üçgül, İ., Selbaş, R., Şenol, R., & Kızılkan, Ö. (2003). Güneş güç sistemlerinin heliostat alan düzenlenmesi ve termodinamik analizleri. ULIBTK 03, 14. Ulusal Isı Bilimi ve Teknolojisi Kongresi, Bildiri Kitabı, 373-380. 3-5 Eylül, Isparta.

[2] Fluri, T. P., Pretorius, J. P., Van Dyk, C., Von Backström, T. W., Kroger, D. G., & Van Zijl, G. P. A. G. (2009). Cost analysis of solar chimney power plants. Solar Energy, 83(2), 246–256.

[3] Üçgül, İ. (2005). DPT proje raporu, proje no: 2003K121020'nolu DPT destekli "Güneş bacası ile elektrik enerjisi üretimi". Isparta.

[4] Nakamura, J., & Csikszentmihalyi, M. (2002). The concept of flow. Handbook of positive psychology, 89, 105.

[5] Kolev, N. I. (2005). Multiphase flow dynamics: Fundamentals (Vol. 1). Berlin: Springer.

[6] Burgan, H. İ. (2020). Venturimetre Deneyinde Gerçek ve Teorik Debi İlişkisi İçin Debi Düzeltme Katsayısının Belirlenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (18), 91-98.

[7] Hewitt, P. G. (2004). Bernoulli's Principle. The Science Teacher, 71(7), 51.

[8] Balijepalli, R., & Chandramohan, V. P. (2024). Optimization of Design Parameters of Wind Turbine Blade for a Solar Chimney Plant Using Betz and Bernoulli's Theories. Arabian Journal for Science and Engineering, 1-14.

[9] Wendt, J. F.. (2008). Computational fluid dynamics: an introduction. Springer Science & Business Media.

[10] Korkmaz, C., & Kacar, İ. (2021). Hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonları için optimum eleman ağ yapısının belirlenmesi. Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Üzerine Güncel Araştırmalar, 1(8), 109-125.

[11] Kalkan, N. (2017). Güneş bacası ve toprak-hava ısı değiştiricisi hibrit sisteminin bir bina için pasif soğutmada kullanılması.

[12] Gholamalizadeh, E., & Kim, M. H. (2016). CFD (computational fluid dynamics) analysis of a solar-chimney power plant with inclined collector roof. Energy, 107, 661-667.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

A Theoretical Study on The Efficiency of Water Depth in Single Slope Solar Stills: Energy and Exergy Efficiencies

Fethi Ahmet Çakmak[1*] , Fatih Selimefendigil[2]

[*1] *Soma Vocational School, Celal Bayar University, Manisa, Turkey*
[2] *Department of Mechanical Engineering, Celal Bayar University, 45140 Manisa, Turkey*

[*]*(fethi.cakmak@cbu.edu.tr) Email of the corresponding author*

Abstract **–** A very small portion of the world's water resources consist of usable resources. Some countries have serious difficulties in accessing clean water. Thanks to solar stills, salty water or polluted water sources can be distilled and made usable. In our study, the effect of water depth on efficiency in single-slope traditional solar stills was mathematically calculated. For this purpose, energy and exergy analyses were performed with the amount of daily distilled water for five different depths (2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm and 6 cm). When the results are examined, it is seen that the amount of daily distilled water decreases as the water depth increases. When the amount of daily distilled water is examined, it is calculated as 2.7748 kg, 1.8758 kg, 1.3955 kg, 1.0663 kg and 0.8488 kg for water depths of 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm and 6 cm, respectively. Daily average energy efficiency was calculated as 25.98%, 17.47%, 12.22%, 8.99%, 6.8%, respectively. Daily average exergy efficiency was calculated as 4.14%, 2.36%, 1.43%, 0.92%, 0.62%. It was seen as a result of the study that water can be distilled most efficiently at optimum values related to water depth.

Keywords – energy efficiency, nano, nanaofluid, desalination, solar still

I. INTRODUCTION

Access to clean water has become a serious problem today. Only about 2.5% of the water in the world can be accessed [1,2]. Thanks to solar stills, water can be distilled safely and more easily and more accessible than other methods in regions where access to clean water is difficult. Since solar stills use the sun as the main source, they do not experience problems caused by energy sources used by other methods. They have advantages such as being environmentally friendly, low cost, and energy independence compared to other methods [3–5]. In addition to the advantages of solar stills, their low efficiency can be considered as the biggest disadvantage. Therefore, many researchers are working on passive (modifications made within the system) and active methods (various methods applied from outside the still) to increase the efficiency of solar stills. Distiller efficiency can be increased by methods such as changing the bottom geometry and material of the distillers [6–8], insulating the bottom [9,10], using nanoparticles in different places within the system [11–13], and changing the water depth [14].

One of the easiest ways to increase efficiency in solar stills is to optimize the water depth. In our study, the effect of changes in water depths of solar stills on efficiency was investigated. It is thought that water temperature will increase faster in shallower water depths and thus more water can be distilled [15,16]. Maintaining the water depth at a minimum level is a factor that affects efficiency [17]. Many experimental, numerical and theoretical studies have been conducted on the efficiency of solar stills on water depth. Niraj et al. [18] carried out experimental studies for water depths of 1 cm, 1.5 cm, 2 cm, 2.5 cm. As a result, it was observed that the efficiency of shallower water depths was the highest. When water depths of 1 cm and 2.5 cm were compared, an efficiency increase of over 50% was obtained. Elango et al. [19] examined the effect of changing the water depth in the still between 1 cm and 5 cm on efficiency.

They obtained the highest efficiency at a water depth of 1 cm. Abdul et al. [20] In order to investigate the effect of water depth on distiller efficiency, five different models were examined, namely 1, 4, 6, 8 and 10 cm. As a result, it was observed that decreasing water depth had a positive effect on efficiency and it was reported that a total efficiency increase of nearly 48% could be achieved. Phadatare et al. [21] investigated the water depth in the distiller (varying between 2 cm and 12 cm), its effect on internal heat and mass transfer and hence the efficiency of the device. In the experiments, the maximum distillate output was obtained as 2.1 L/m²/day when the water depth was 2 cm.

II. MATERIALS AND METHOD

In our study, the effect of different water depths on distiller efficiency was investigated. For this purpose, a single-slope solar still model with a base area of 1x1 square meters and a height of 50 cm was used in the analysis. Theoretical calculations were made for five different water depths (2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm). The total amount of water distilled per day, daily average energy and exergy efficiencies were calculated. In our study, theoretical calculations were made using the temperature and solar radiation values of July 2021 in Manisa province in Turkey. Temperature and radiation values are given in Table 1.

Table 1. Ambient temperature and radiation values for Manisa province in July 2021 [22]

Time	I (W/m^2)	T_a (^{o}C)
08:00	710	26
09:00	770	28
10:00	830	29,5
11:00	885	31
12:00	930	32
13:00	955	32,2
14:00	930	32
15:00	900	31,8
16:00	850	30
17:00	795	29

The total amount of water distilled per day can be calculated by the following equation [23].

$$\dot{m_e} = \frac{h_{e,w-g}(T_s - T_c)}{L_v} * 3600 \quad (1)$$

Here he,w-g is the evaporation heat transfer coefficient between water and glass cover. Ts and Tc are the water and glass temperatures, respectively. Lv (J/kg) is the latent heat of water and is obtained from the following equations [5].

$$L_v = 3.1625 * 10^6[1 - (7.616 * 10^{-4} * T_w)] \quad for\ T_w > 70^oC \quad (2)$$

$$L_v = 2.4935 * 10^6[1 - (9.4779 * 10^{-4} * T_w + 1.3132 * 10^{-7} * (T_w)^2 - 4.7974 * 10^{-3} * (T_w)^3)] \quad for\ T_w < 70^oC \quad (3)$$

Energy efficiency is expressed by the following equation [24].

$$\eta = \left[\frac{m_e * Lv}{It * A * 3600}\right] \quad (4)$$

Exergy efficiency can be expressed by the following equation [24].

$$\eta_{EX} = \frac{Exergy\ output\ of\ solar\ still}{Exergy\ input\ of\ solar\ still} = \frac{E_{x_{evap}}}{E_{x_{input}}} \tag{5}$$

$$E_{xout} = \left[\frac{m_e L_v}{3600}\right] * \left(1 - \left(\frac{T_a}{T_W}\right)\right) \tag{6}$$

$$E_{xinput} = A * I_t * \left[1 - \left(\frac{4}{3}\right) * \left(\frac{T_a}{6000}\right)\right] + \left(\frac{1}{3}\right) * \left(\frac{T_a}{6000}\right)^4 \tag{7}$$

III. RESULTS AND DISCUSSION

Our study was carried out theoretically on the effect of different water depths on distiller efficiency. The total amount of water distilled per day for different water depths is shown in Figure 1. The daily distilled water amounts for 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm water depths were obtained as 2.7748 kg, 1.8758 kg, 1.3955 kg, 1.0663 kg, 0.8388 kg, respectively.

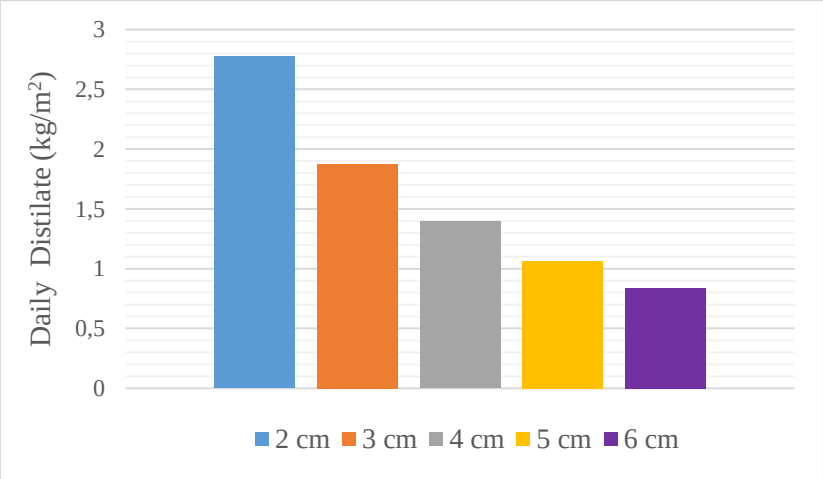


Figure 1. Daily distilled water amounts obtained from stills for different water depths

Figure 2 shows the daily average energy efficiency graphs for solar still models for different water depths. When the daily average energy efficiency values for water depths of 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm, and 6 cm are examined, the values of 25.98%, 17.47%, 12.22%, 8.99%, and 6.80% are obtained, respectively.

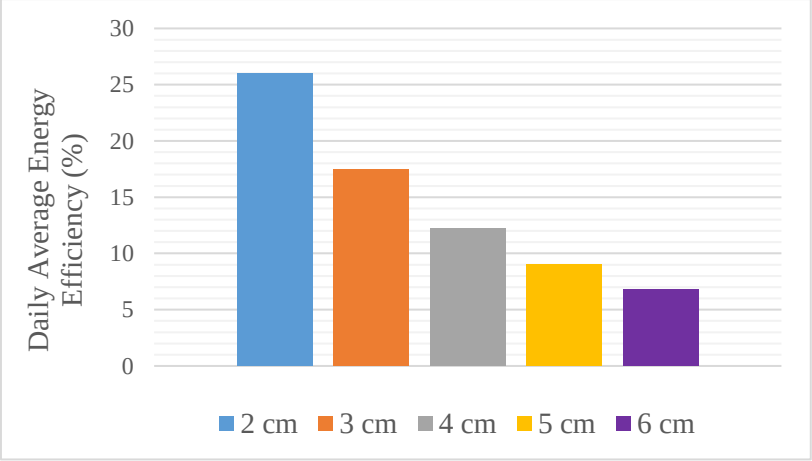


Figure 2. Average daily energy efficiency of stills for different water depths.

Figure 3 shows the daily average exergy efficiency graphs for solar still models for different water depths. When the daily average energy efficiencies for water depths of 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm, and 6 cm are examined, the values of 4.12%, 2.36%, 1.43%, 0.92%, and 0.62% were obtained, respectively.

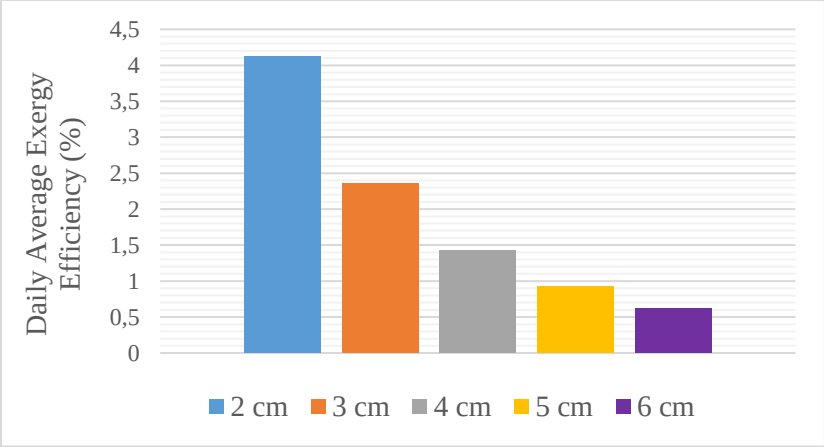


Figure 3. Average daily total efficiencies of stills for different water depths.

IV. CONCLUSION

In our study, the effect of changes in the water depth in the basin on efficiency in solar stills was theoretically investigated. For this purpose, solutions were made for five different water depths such as 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm and 6 cm. Daily distilled water amounts and daily average energy and exergy efficiency values were calculated. The highest efficiency was achieved in the case of 2 cm water depth. As a result of the study, it was observed that efficiency decreased with increasing water depth. It was obtained that the temperatures of shallower waters increased more rapidly and more water could be distilled. It is recommended for researchers who will conduct experimental studies on this subject that the water depth be kept at a minimum level. The numerical results obtained as a result of the study are presented below.

1. When looking at the daily distilled water amounts, it was obtained as 2.7748 kg, 1.8758 kg, 1.3955 kg, 1.0663 kg, 0.8388 kg for water depths of 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm and 6 cm, respectively.
2. When looking at the daily average energy efficiencies, it was obtained as 25.98%, 17.47%, 12.22%, 8.99%, 6.80% for water depths of 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm, respectively.
3. When looking at the daily average energy efficiencies, it was obtained as 4.12%, 2.36%, 1.43%, 0.92%, 0.62% for water depths of 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm, respectively.

REFERENCES

[1] Xiao G, Wang X, Ni M, Wang F, Zhu W, Luo Z, et al. A review on solar stills for brine desalination. Applied Energy 2013;103:642–52. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.10.029.

[2] Kabeel AE, Sharshir SW, Abdelaziz GB, Halim MA, Swidan A. Improving performance of tubular solar still by controlling the water depth and cover cooling. Journal of Cleaner Production 2019;233:848–56. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.104.

[3] Kumar S, Ahmad A, Irshad K, Prakash O, Kausher R, Hasnain SMM, et al. Solar stills: A review for water scarcity solutions. Heliyon 2024;10:e38751. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38751.

[4] Akkala SR, Kaviti AK. Impact of different fins designs on performance of solar still desalination system: a review. Environ Dev Sustain 2023;26:19257–98. https://doi.org/10.1007/s10668-023-03492-7.

[5] Sarhaddi F, Farshchi Tabrizi F, Aghaei Zoori H, Mousavi SAHS. Comparative study of two weir type cascade solar stills with and without PCM storage using energy and exergy analysis. Energy Conversion and Management 2017;133:97–109. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.11.044.

[6] Mishra KN, Kr. Tiwari A, Tiwari GN. Performance analysis of single slope solar still for different surface geometry of basin absorber. Desalination and Water Treatment 2022;265:1–17. https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28650.

[7] Perumal P. Performance study of single basin single slope solar still with pebbles of different diameters. Desalination and Water Treatment 2022;253:48–54. https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28299.

[8] Subhani S, Kumar RS. Numerical performance evaluation of tubular solar still with different geometries of water basin. Desalination and Water Treatment 2020;196:360–9. https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25968.

[9] Bakhtierkhalzi Md, Islam MdT, Asnaf KhS, Parvej AM, Sarker MRI. Comparative performance investigation of conventional and modified stepped basin pyramid solar still with improved insulation: Experimental evaluation. Desalination 2024;587:117964. https://doi.org/10.1016/j.desal.2024.117964.

[10] Javad Raji Asadabadi M, Sheikholeslami M. Impact of utilizing hollow copper circular fins and glass wool insulation on the performance enhancement of pyramid solar still unit: An experimental approach. Solar Energy 2022;241:564–75. https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.06.029.

[11] Suraparaju SK, Samykano M, Nandavarapu RR, Natarajan SK, Muthuvairavan G, Yadav A, et al. Innovative Double-Finned absorber and Nanoparticle-Enhanced energy storage for enhanced Thermo-Economic performance of solar stills. Separation and Purification Technology 2025;361:131360. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.131360.

[12] Sonker VK, Sharma P, Ram R, Sarkar A. A CFD simulation analysis of the effects of PCM and nanoparticles stored in copper cylinders inside a solar still. Journal of Energy Storage 2025;108:115091. https://doi.org/10.1016/j.est.2024.115091.

[13] Kotla DP, Anna VR, Praveenkumar S, Saleh SM, Shanmugan S. Optimizing solar still performance: A study of TiO2 nanofluid derived from Saccharum officinarum L. Separation and Purification Technology 2025;359:130584. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.130584.

[14] Muthu Manokar A, Taamneh Y, Kabeel AE, Prince Winston D, Vijayabalan P, Balaji D, et al. Effect of water depth and insulation on the productivity of an acrylic pyramid solar still – An experimental study. Groundwater for Sustainable Development 2020;10:100319. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100319.

[15] Shrivastava V, Singh P, Thakur VK, Verma CS, Yadav AS. Thermal and Enviro-Economic Analysis of Solar Stills: Influence of Fin Geometry, Size, and Water Depth 2025. https://doi.org/10.2139/ssrn.5170349.

[16] Abdullah AS, Alawee WH, Shanmugan S, Omara ZM. Techniques used to maintain minimum water depth of solar stills for water desalination–A comparative review. Results in Engineering 2023;19:101301. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101301.

[17] S. SK, S.D. UM, M. M, Nagaraju V, Yakkala B, Vinod D, et al. Effect of energy storage material on a triangular pyramid solar still operating with constant water depth. Energy Reports 2022;8:652–8. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.10.203.

[18] Kumar N, Kumar A. Performance enhancement of conventional solar still using water depth variation and external reflector: An experimental study with energy, exergy, environ-economic analysis. Journal of Water Process Engineering 2024;68:106460. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.106460.

[19] Elango T, Kalidasa Murugavel K. The effect of the water depth on the productivity for single and double basin double slope glass solar stills. Desalination 2015;359:82–91. https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.12.036.

[20] Khalifa AJN, Hamood AM. On the verification of the effect of water depth on the performance of basin type solar stills. Solar Energy 2009;83:1312–21. https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.04.006.

[21] Phadatare MK, Verma SK. Influence of water depth on internal heat and mass transfer in a plastic solar still. Desalination 2007;217:267–75. https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.03.006.

[22] Selimefendigil F, Şirin C, Öztop HF. Experimental Performance Analysis of a Solar Desalination System Modified with Natural Dolomite Powder Integrated Latent Heat Thermal Storage Unit. Sustainability 2022;14:2650. https://doi.org/10.3390/su14052650.

[23] Younes MM, Abdullah AS, Essa FA, Omara ZM, Amro MI. Enhancing the wick solar still performance using half barrel and corrugated absorbers. Process Safety and Environmental Protection 2021;150:440–52. https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.04.036.

[24] Hammad FA, Shalaby SM, Kabeel AE, Zayed ME. Experimental investigation and thermo-economic performance analysis of a modified solar distiller design with thermal storage material and v-corrugated absorber basin. Journal of Energy Storage 2022;52:105020. https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105020.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

ICSIS

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

PEM Yakıt Hücresinde Gaz Kanalları için CFD Temelli Akış ve Sıcaklık Dağılım Analizi

İfakat Karakoç[1*], Merdin Danışmaz [2]

[1,2]*Makine Mühendisliği Bölümü, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Türkiye*

[*]*(ifakatkorokoc4040@gmail.com)*

Özet – Bu çalışma, Proton Değişim Membranlı (PEM) yakıt hücresinin performansını artırmaya yönelik çeşitli parametrelerin etkilerini ve tasarım optimizasyonlarını incelemektedir. Öncelikle, gaz difüzyon tabakası ile ilgili tasarım ve simulasyonlar gerçekleştirilerek, kanal geometrisinin ve difüzyon etkinliğinin akım yoğunluğu ve polarizasyon eğrilerine olan etkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca, bipolar plaka ve karbon kâğıtlarının gaz geçişi üzerindeki etkileri araştırılmış, kanal yoğunluğunun artmasıyla akım yoğunluğunun yükseldiği tespit edilmiştir. Bir PEM hücresi modeli oluşturularak, akış alanlarındaki sıcaklık dağılımı, giriş-çıkış ve yapısal bölgelerin sıcaklık kontürleri detaylı şekilde analiz edilmiştir. Simulasyonlar sonucunda polarizasyon eğrileri elde edilmiş ve hücre performansında düşüşler gözlemlenmiştir. Performans iyileştirmeleri kapsamında, çalışma sıcaklığının artırılmasıyla su transferi optimizasyonu sağlanmış ve bunun hücre verimliliğine olumlu katkıları ortaya konmuştur. Sıcaklık artışının, membran nemlendirilmesine ve elektriksel iletkenliğin artmasına yardımcı olduğu belirlenmiştir. Bu doğrultuda, gaz difüzyon ve ısı yönetimi parametreleri, hücre performansını iyileştirmede kritik roller üstlenmiş ve detaylı analizlerle desteklenmiştir. Çalışma, PEM yakıt hücresinin termal ve akışkan dinamiği özelliklerine ilişkin yapısal ve operasyonel parametrelerin performans üzerindeki etkilerini ortaya koymakta, geliştirilmiş tasarım yaklaşımlarıyla enerji verimliliğini artırmayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler – PEM, Yakıt Hücresi, Gaz difüzyon tabakası, Gaz Kanal Akışı, CFD

I. GİRİŞ

Bu çalışmada, Proton Değişim Membranlı (PEM) yakıt hücresinin yüksek performanslı çalışma koşulları altında çeşitli parametrelerin etkileri incelenmiş ve CFD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) yöntemleriyle desteklenmiştir. PEM hücre modellerinden elde edilen çözümler kullanılarak, tasarım parametreleri analiz edilmiş ve özellikle basınç düşüşünün performansa etkisi vurgulanmıştır. Yapılan karşılaştırmalı çalışmalar, hidrojen akışında voltaj artışıyla anot basıncında azalma olduğunu göstermiştir. Ayrıca sıcaklığın performans üzerindeki etkisi araştırılmış, sıcaklık artışının iyonik iletkenliği artırdığı ve suyun uzaklaştırılmasını iyileştirdiği belirlenmiştir [1]. CFD analizleri, mevcut literatürde sistem tasarımı ve optimizasyonunda önemli bir araç olarak kullanılmış olup, farklı tamamlama ve doğrulama yaklaşımları ışığında üç boyutlu modellerin geliştirilmesine katkıda bulunmuştur. Güç yoğunluğu ve polarizasyon eğrilerinin simülasyonları ANSYS Fluent üzerinde gerçekleştirilmiş ve akış alanı tasarımları, hız ve basınç dağılımları detaylı şekilde analiz edilmiştir. Serpantin ve spiral tasarımların hız profillerinde gözlemlenen homojenlik farklılıkları performans ve su tahliyesine etkili olmuştur [4]. Biypolar plaka ve gaz difüzyon tabakasının tasarımı, akım yoğunluğu ve gaz tedarik oranlarını artırmış, kanal derinliğinin küçültülmesi ve akış hızı artırımıyla performans iyileştirilmiştir [3][5]. PEM hücre modelleri, analitik ve yarı-ampirik yaklaşımlar temel alınarak geliştirilmiş ve sistem optimizasyonu amacıyla kullanılmıştır. Ayrıca, gözenekli elektrotlarda çok fazlı reaktif taşıma süreçlerini anlamaya yönelik Lattice Boltzmann Yöntemi (LBM) tabanlı gözenek ölçekli modeller çalışılmış, sıvı suyun difüzyon ve taşınımı incelenmiş ve sıvı suyun

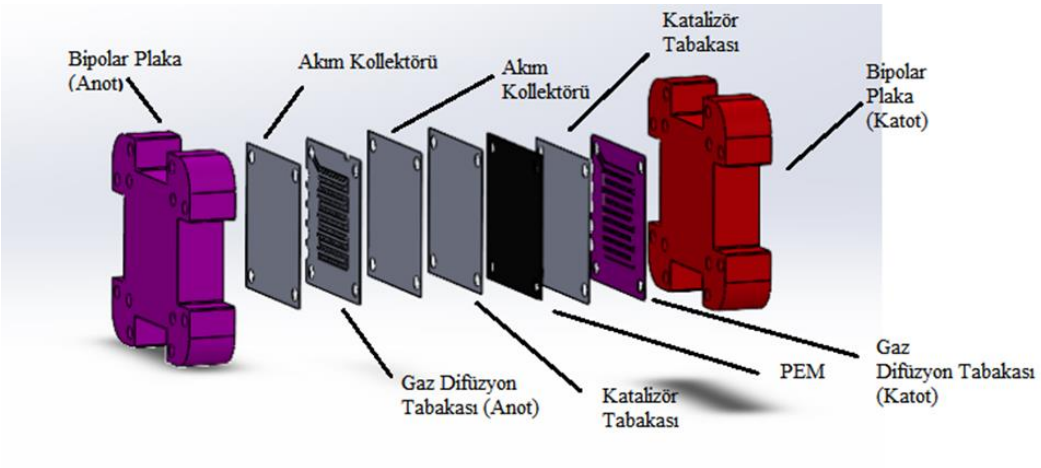
hareketinin performansı olumsuz etkilediği saptanmıştır [6][7]. Öte yandan, COMSOL Multiphysics kullanılarak hazırlanan üç boyutlu, izotermal metanol yakıt hücresi modeli, deneysel bulgularla uyumlu sonuçlar vermiş ve parametrelerin (sıcaklık, akış hızları, gözeneklilik, basınç vb.) performans üzerindeki etkileri detaylı şekilde analiz edilmiştir. Bu çalışmalar, yakıt hücresi performansını optimize etmek amacıyla parametrik simülasyonlar ve model tabanlı tasarım yaklaşımları sunarak literatüre katkıda bulunmuştur [8].

Choopanyaa ve ark. tarafından gerçekleştirilen çalışmalar, tam akış alanında yapılan modelleme ve simülasyonlar kapsamında, ağ boyutunu %98 oranında küçültmeyi başarırken, ortalama akım sayısal hatasını yalnızca %3 düzeyinde artırmıştır. Bu gelişmeler, PEM yakıt hücresinin polarizasyon eğrilerinin belirlenmesinde de kullanılmıştır. Bu eğriler, açık devre voltajı ve çeşitli hücre potansiyelleri (0.4 V civarında) uygulanarak oluşturulmuş ve her akım noktası için gazların sitokiyometrik değerleri doğru ve düşük seviyelerde hesaplanmıştır. Ayrıca, saf hidrojen kullanılarak yapılan başlatma, durdurma ve yük döngüsü testleri sırasında polarizasyon eğrilerinin değişimi gözlemlenmiş ve ilk 20 döngü içinde ölçümler arasındaki farklar ihmal edilebilir seviyede kalmıştır; ancak, 30 döngü sonrasında performanslı önemli bir bozulma ortaya çıkmıştır [9]. Wang ve Pasaogullari ve Wang'ın çalışmaları, GDL'den sıvı su taşınımı ile ilgili olup, sıvı menisküs yapısının gözenek yapısı, gözeneklilik ve geçirgenlik ile beraber, hidrofilik özellikler ve temas açısıyla yakından ilişkili olduğunu göstermiştir. Sıcaklık değişimleriyle menisküs yüksekliği ve temas açısının ölçüldüğü deneylerde, bu parametrelerin özellikle su uzaklaştırımı ve menisküs stabilitesi açısından kritik olduğu bulunmuştur [10]. Johnson ve ark. ise, basınç eğimleri içeren yeni bir akış alanı tasarımı önermiş, bu sayede tepkime maddesi akışına karşı direnç ve basınç farklarını kontrol edebilir hale gelmiştir. Kanal uzunlukları ve geometrileri optimize edilerek, basınç farkları ve akış direnci ayarlanabilmiş, böylece performans artışı sağlanmıştır. Ayrıca, akış alanında basınç farkı oluşturmak için giriş manifoldlarındaki akış kısıtlamaları, yuvarlak veya uzun kanallara alternatif olarak, akış yönünü ve ters akış koşullarını iyileştirmiştir [11][12]. Bu çalışmalar genel olarak, PEM yakıt hücrelerinde gaz ve sıvı fazların hareketi ile basınç, menisküs ve akışkan dinamiği ilişkilerini detaylandırmış ve tasarım optimizasyonu açısından önemli öneriler sunmuştur.

Literatürde, PEM yakıt hücrelerinin performansını artırmaya yönelik çeşitli tasarım ve optimizasyon yaklaşımları geliştirilmiş olsa da, özellikle gaz difüzyon tabakası, kanal geometrileri ve ısı yönetimi alanında önemli gelişmeler sağlanmıştır. Ancak, mevcut çalışmaların büyük bir kısmı modelleme ve simülasyon temelli olup, gerçek operasyon koşullarındaki dinamik davranışların detaylı analizi sınırlı kalmıştır. Bu bağlamda, bu çalışma, CFD tabanlı detaylı simülasyonlar ve parametre analizleri ile yakıt hücresinin termal ve akışkan dinamiği performansını bütüncül şekilde değerlendirmektedir. Özellikle gaz difüzyon ve ısı transferi süreçlerine odaklanarak, tasarım optimizasyonu ve performans iyileştirmesinde yeni yaklaşım ve bilgiler sunmayı amaçlamaktadır. Bu çalışma, literatüre katkıda bulunarak, sistem tasarımında temel parametrelerin daha etkin kontrol edilmesini sağlayacak ve enerji verimliliğini artıracak çözümler geliştirmeye yönelik önemli bir adım oluşturmaktadır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

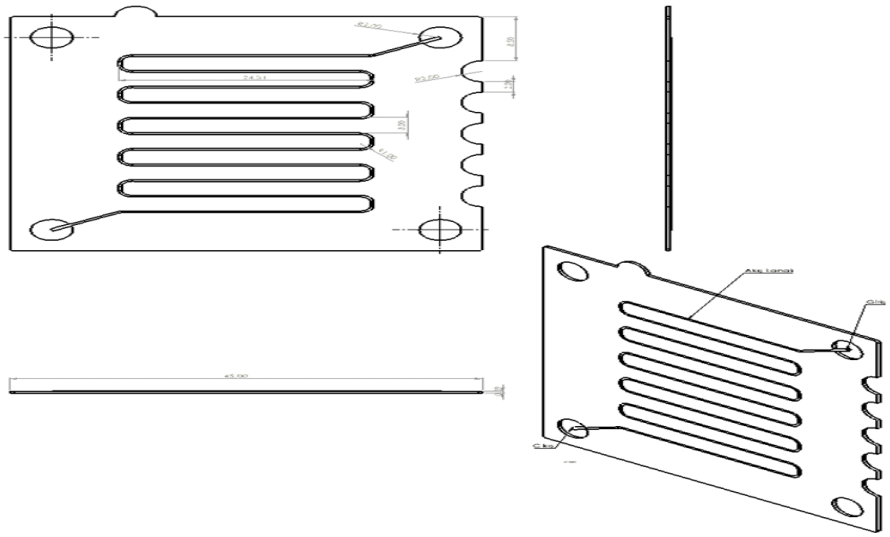
Bu çalışma kapsamında kullanılan yakıt hücresi montajı, Şekil 1'de gösterildiği şekilde, anot ve katot olmak üzere iki bipolar plaka, iki conta, akım kollektörleri, gaz difüzyon tabakaları ve proton değiştirme membranı (PEM) içermektedir. PEM, protonların geçişine izin vererek elektron ve gazların ayrımını sağlar. Gaz difüzyon tabakası, anot ve katot elektrotlarının hemen ardında konumlanmış olup, hidrojen (H_2) ve oksijen (O_2) gazlarının elektrot yüzeylerine düzgün ve homojen şekilde dağılmasını ve aynı zamanda elektron iletiminin güvenli bir şekilde gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bipolar plakalar, elektriksel bağlantıyı gerçekleştirirken, gazların hücre içinde doğru yönlendirilmesini ve dağıtımını da kontrol eder. Contalar ise, hücre içindeki gaz ve sıvıların sızmasını önleyerek, sistemin sızdırmazlığını sağlar ve bu sayede güvenli ve verimli çalışma ortamı oluşturur. Bu yapısal elemanlar, yakıt hücresinin genel performans ve dayanıklılığını artırmak için tasarlanmış ve dikkatle monte edilmiştir. Kullanılan tüm materyaller, uzun süreli stabilite ve yüksek elektriksel iletkenlik özellikleri gözetilerek seçilmiştir. Bu montaj düzeni, deneysel çalışmalar sırasında hem hücre performansını optimize etmek hem de çalışmanın tekrarlanabilirliğini sağlamak amacıyla uyumlu şekilde devreye alınmıştır.



Şekil 1. Yakıt hücresi montaj resmi

A. Kanal Geometrisi

Şekil 2. ‘de gaz difüzyon tabakası akış kanalları geometrik ölçüleri ile birlikte verildi.



Şekil 2. Kanal Yerleşimi ve Geometrik Ölçüler

Tablo 1’de görüldüğü gibi gaz akış kanalı kalınlığı 45mm, derinliği ise 2 mm’dir. Hücre elektrot uzunluğu 65 mm alınırken, gaz difüzyon tabakası anot ve katot kısmı kalınlıkları 0.39 mm alındı.

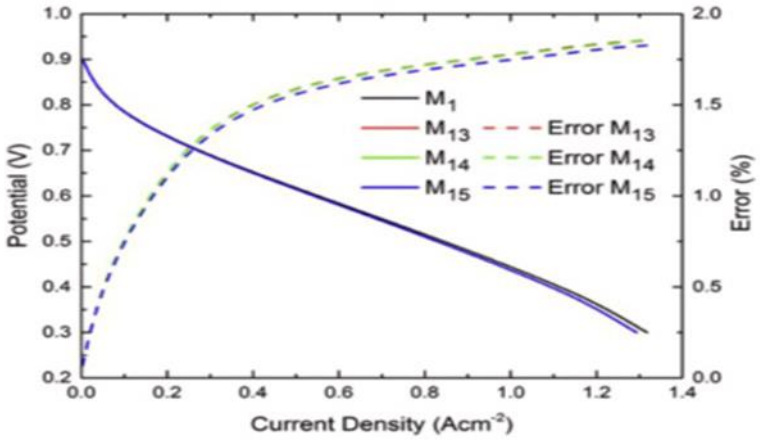
Tablo 1. Kanal ölçüleri

Kanal kısımları	Değer	Birim
Gaz akış kanalı genişliği	45	mm
Gaz akış kanalı derinliği	2	mm
Hücre elektrot uzunluğu	65	mm
Gaz difüzyon tabakası kalınlığı (Anot bölgesi)	0.39	mm
Gaz difüzyon tabakası kalınlığı (Katot bölgesi)	0.39	mm

B. Polarizasyon

Şekil 3’te verilen polarizasyon eğrisi, hücre potansiyeli ile akım yoğunluğu arasındaki ilişkiyi göstermektedir. İnceleme sonuçlarına göre, akım yoğunluğu arttıkça hücre potansiyelinde düzenli bir düşüş gözlenmektedir. Hata oranları ise başlangıçta hızlı bir artış göstererek, yaklaşık %1-1.5 seviyelerinde stabil hale gelmektedir. Düşük akım yoğunlukları (0-0.2 A/cm² arası) bölgede, hata oranlarının daha yüksek

olduğu ve model performansında belirgin hatalar görüldüğü saptanmıştır. Bu bölgenin ardından, hata oranlarının yaklaşık sabit kaldığı ve 0.2 A/cm² civarında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, akım yoğunluğu dağılımı açısından üç ana bölge tespit edilmiştir: başlangıca yakın, hızla hata artışının görüldüğü 0.2 A/cm²'deki bölge; hata oranlarının orta seviyede devam ettiği ve yaklaşık 0.6 A/cm²'deki bölge; ve en yüksek akım yoğunluğu değerleri olan 1.0 A/cm² civarında, hücrenin stabil çalıştığı ve hata oranlarının sabitlendiği bölge. Bu bulgular, hücre performansındaki ve model doğruluğundaki farklılıkların akım yoğunluğuna göre değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 3. Polarizasyon Eğrisi [1]

III. BULGULAR

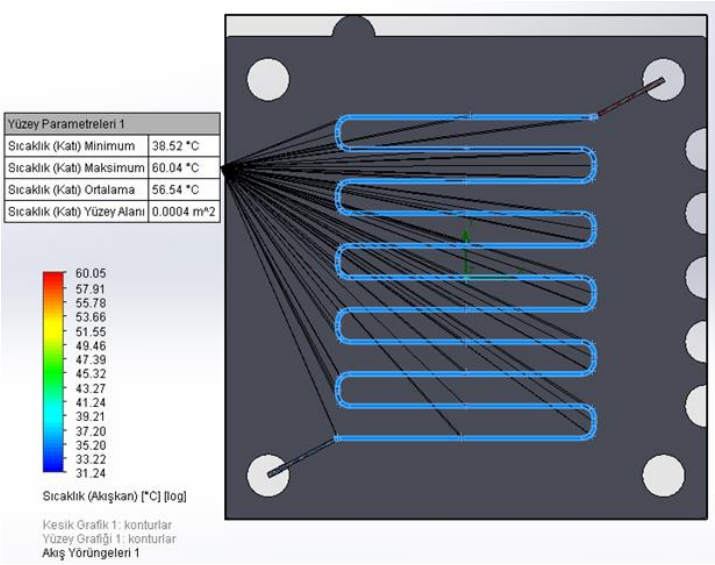
Bu çalışmada, PEM yakıt hücresinin polarizasyon eğrileri, sayısal simülasyonlar ve analizler kullanılarak elde edilmiştir. Simülasyon sonuçları, hücre performansında belirgin bir düşüş olduğunu göstermiştir. Performans artışını sağlamak amacıyla çeşitli iyileştirme stratejileri uygulanmış ve çalışma sıcaklığı artırılmıştır. Sıcaklığın yükseltilmesi, suyun transferini iyileştirmekte ve böylece hücrenin genel verimliliğini arttırmaktadır. Ayrıca, Şekil 2'de gaz difüzyon tabakasındaki akış kanallarının tasarımı ve akış yapılarına ilişkin detaylı analizler yapılmıştır. Şekil 4'te ise, gazların akış bölgesindeki sıcaklık ortalamaları hesaplanmış ve bu sonuçlar Tablo 2 ile desteklenmiştir. Tablo 2'ye göre, ortalama statik basınç 563.172,82 Pa olarak belirlenmiş; ortalama akışkan sıcaklığı 46,34 °C, ortalama katı sıcaklığı ise 46,65 °C olarak tespit edilmiştir. İnceleme sonucu, ortalama katı sıcaklığın, ortalama akışkan sıcaklığından daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, statik basıncın azalması ile birlikte, hem ortalama akışkan hem de katı sıcaklıklarında da düşüşler meydana gelmiş olup, bu durum, basınç ve termal parametrelerin birbirleriyle olan ilişkisini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, sıcaklık ve basınç seviyelerinin yakıt hücresi performansını doğrudan etkilediğine işaret etmektedir.

Tablo 2. Hedef analiz sonuçları

Hedef Adı	Birim	Değer	Ortalama Değer	Minimum Değer	Maksimum Değer	Delta
SG Ortalama Statik Basınç 1	[Pa]	563172,8169	559165,4653	551194,2572	563212,4061	12018,14889
SG Ortalama Sıcaklık (Akışkan) 2	[°C]	46,33638072	43,65217632	41,8145909	46,33638072	2,518636516
SG Ortalama Hız 3	[m/sn]	8,586840254	8,579870094	8,575431772	8,586840254	0,005971205
SG Ortalama Sıcaklık (Katı) 4	[°C]	46,64869487	44,15994583	42,64760215	46,64869487	2,135773329

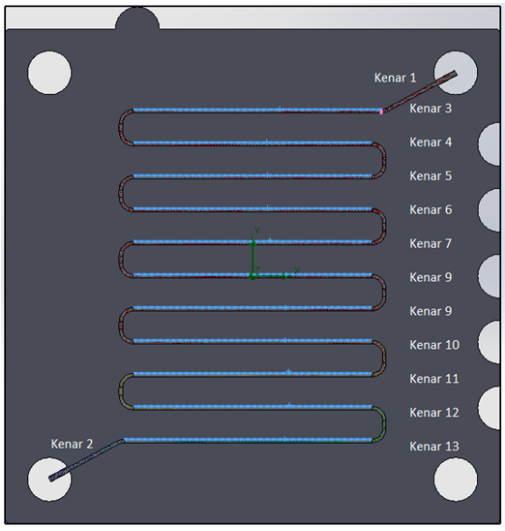
Şekil 4'te, yakıt hücresinin akış bölgesine ait sıcaklık ortalamaları gösterilmektedir. Çalışma sonuçlarına göre, minimum katı sıcaklığı 38.52 °C iken, maksimum katı sıcaklığı 60.42 °C olarak belirlenmiştir. Ortalamada ise katı sıcaklığı 56.54 °C olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, analiz edilen bölgenin toplam yüzey alanı 0.0004 m² olarak tespit edilmiştir. Sıcaklık dağılımı incelendiğinde, hidrojen ve oksijen gazlarının

akış gördüğü kanallarda ve bölgelerde, soğutucu bölgelerin sıcaklıkların düşük olduğu, buna karşın gazlar ile doğrudan temas halinde olmayan bölgelerin sıcaklıklarının ise daha yüksek seviyelerde seyretmekte olduğu görülmektedir. Bu durum, gaz akışları ve ısı transfer süreçleri arasındaki etkileşimi ve sıcaklık farklılıklarını ortaya koymakta olup, yakıt hücre performansını optimize etmek için önemlidir.



Şekil 4. Akış bölgesi sıcaklık ortalamaları

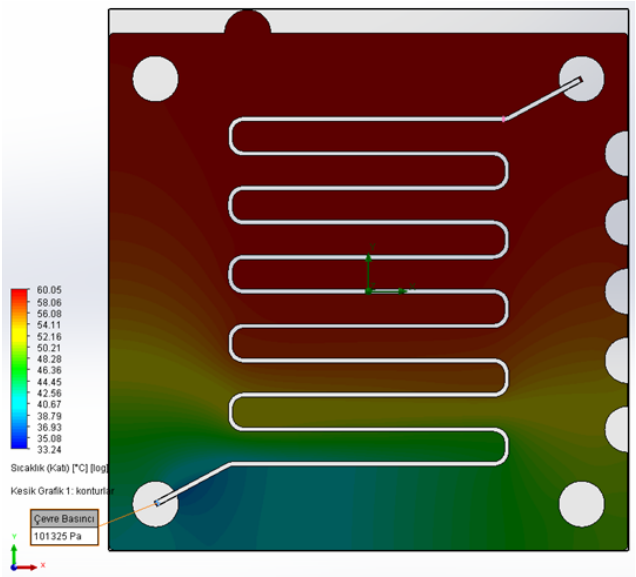
Şekil 5'de, akış bölgesinin yatay kenarları belirlenmiş ve rapor edilmiştir. Bu bölgelerde, akış boyunca sıcaklık ve hız dağılımını izlemek amacıyla özel olarak seçilen kenarlar kullanılmıştır. Bu analizler sayesinde, gazların bir ortamdan diğerine difüzyonunun gerçekleştiği gözlemlenmiş ve kanal boyunca meydana gelen sıcaklık değişimleri detaylı olarak incelenmiştir. Bu bilgiler, sistem içindeki ısı ve kütle transfer süreçlerinin anlaşılmasında ve performans optimizasyonunda önemli katkılar sağlamaktadır.



Şekil 5. Akış bölgesi yatay kenarların belirlenmesi

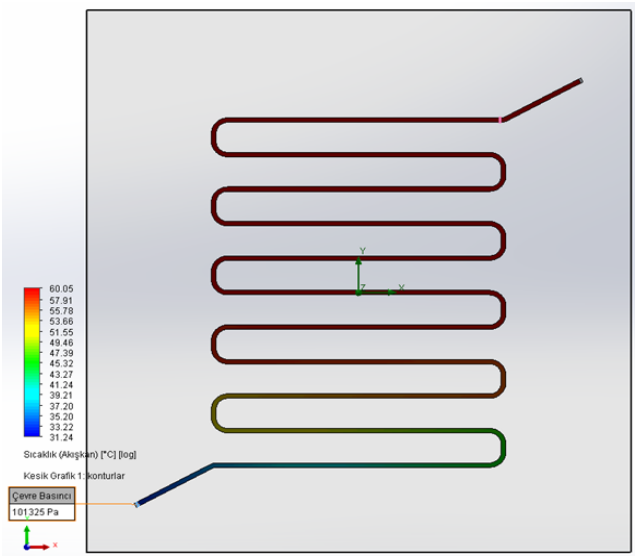
Şekil 6'te, yapılan analiz sonucu katı bölgelerin sıcaklık konturları gösterilmektedir. Çevre basıncı olarak 101,325 Pa (atm Basıncı) temel alınmıştır. Analiz elde edilen verilere göre, gazın soğutucu etkisi nedeniyle, mavi ve yeşil renklerle gösterilen bölgelerde sıcaklık daha düşük seviyelerdedir. Bu bölgeler, gazların doğrudan temas ettiği ve ısı transferinin aktif şekilde gerçekleştiği alanlardır. Buna karşılık, kırmızı renk ile gösterilen kanal dışı bölgelerde, yani hidrojen (H_2) ve oksijen (O_2) gazlarıyla doğrudan temas etmeyen bölgelerde sıcaklık seviyeleri daha yüksektir. Analizde ayrıca, H_2 ve O_2 gazlarının gaz dağıtım tabakasında (GDL) yaklaşık olarak düzgün bir şekilde yayıldığı ve sıcaklık değişimlerinin özellikle akış kanalları

çevresinde belirgin olduğu tespit edilmiştir. Bu sıcaklık farklarının, gaz akışkanlığı ve ısı transferi süreçleri üzerinde önemli etkileri bulunmakta olup, bu farkların sistemin toplam performansını doğrudan etkilediği görülmektedir. Bu bilgiler, yakıt hücresinin termal ve akışkan dinamiği yönetiminin optimize edilmesi açısından kritik öneme sahiptir.



Şekil 6. Katı bölgelerin sıcaklık kontürleri

Şekil 7'de sunulan analiz sonuçları, akışkanın sıcaklık dağılımını gösteren bir simülasyon verisini içermektedir. İnceleme neticesinde, akışkanın giriş bölgelerinde sıcaklığın daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde ısı transferi ve enerji girdisi nedeniyle sıcaklık artışı gözlemlenmektedir. Ancak, akışkan kanal boyunca ilerledikçe, ısı transferinin etkisiyle sıcaklığın azaldığı ve sıcaklık dağılımının genel anlamda düşüş gösterdiği tespit edilmiştir. Bu sıcaklık dağılımı, yakıt hücresinin termal yönetimi ve performans optimizasyonu açısından önemli veriler sunmakta olup, ısı transferi ve akışkan hareketlerinin sistem üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır.

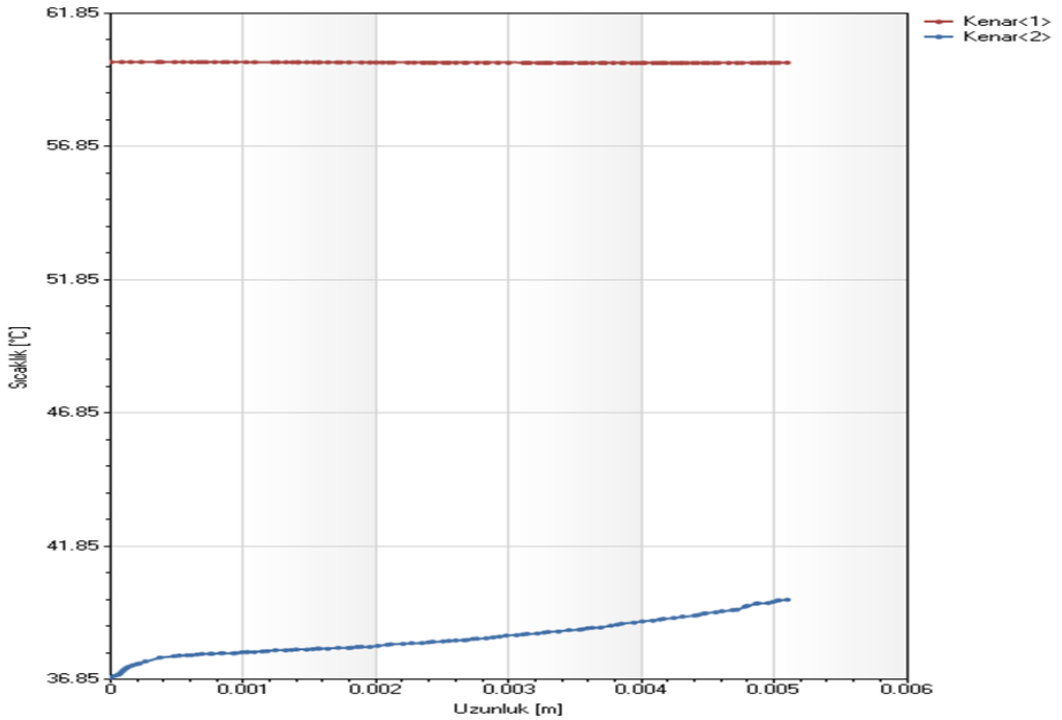


Şekil 7. Akışkan bölgelerin sıcaklık kontürleri

IV. TARTIŞMA

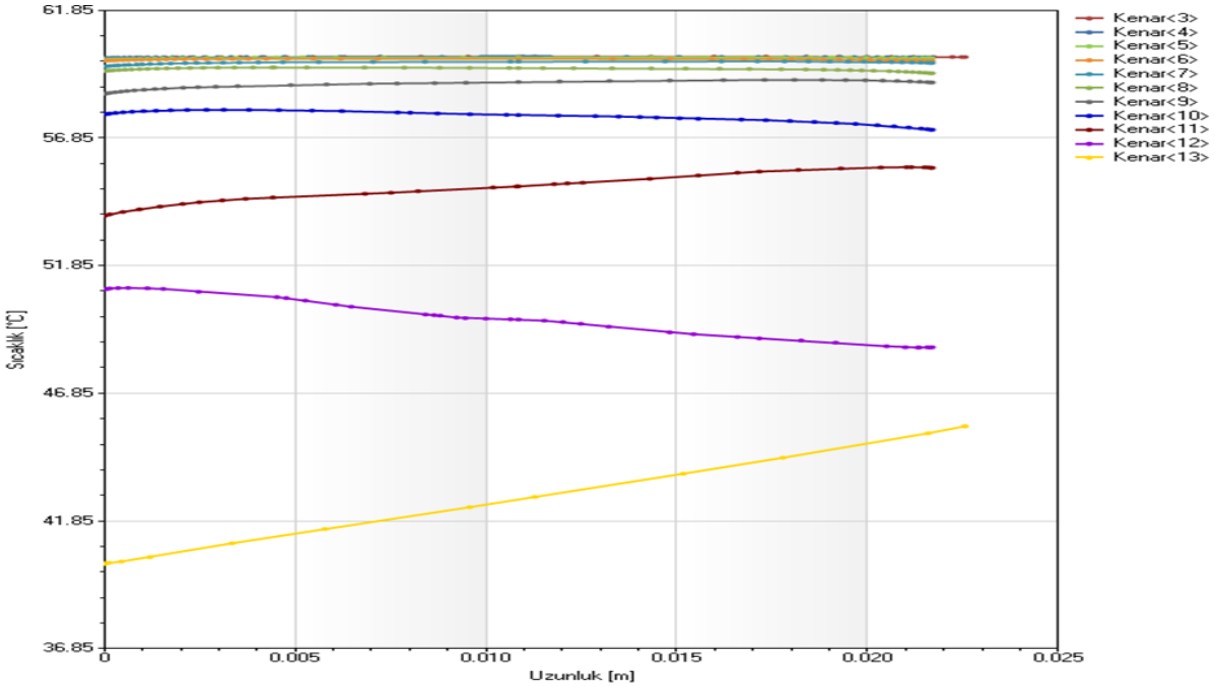
Şekil 8'de, belirli akış bölgesindeki akışkan davranışları ve sıcaklık dağılımı detaylandırılmıştır. Giriş bölgesindeki kenar (Kenar 2) sıcaklık değişimleri, akışkanın ilk temas ettiği noktada sıcaklığın ölçülmesi için temsil edilmektedir. Burada, akış boyunca sıcaklığın artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu artış,

akışkanın ısınmasıyla ilişkili olup, ısı transferi ve enerji girişinin etkilerini yansıtmaktadır. Öte yandan, çıkış bölgesi (Kenar 1) sıcaklık değişimleri ise, sıcaklığın yüksek seviyelerde kalıp sabitlenmiş olduğunu göstermektedir. Bu durum, akışın çıkışta daha dengeli ve düzenli bir hale geldiğine işaret etmektedir. Ayrıca, akış başlangıcında ısınmaya başlayan gaz, devamında çıkışa doğru sıcaklık artışını durdurur ve sabit bir seviyeye ulaşır. Bu bulgular, akışın girişte ısınmaya başladığını ve çıkışta stabil bir sıcaklık seviyesine ulaştığını göstererek, sistemin termal davranışlarının anlaşılmasına katkı sağlar.



Şekil 8. Giriş ve çıkış bölgesi akış kenarları sıcaklık değişimleri

Şekil 9'da, akış bölgesine ait yatay kenarların sıcaklık değişimleri sunulmuştur. Analizler, bazı kenarlarda sıcaklıkların artarken, bazı kenarlerde ise azaldığını ortaya koymaktadır.



Şekil 9. Akış bölgesi yatay kenarların sıcaklık değişimleri

Özellikle, Kenar 13 boyunca sıcaklık sürekli olarak artış göstermekte olup, bu bölgedeki ısı birikimi veya ısı transferinin etkileri görülmektedir. Öte yandan, Kenar 11'de sıcaklık hafif bir düşüş eğilimindedir; bu da, burada ısı kaybı veya soğuma süreçlerinin etkili olduğunu gösterebilir. Diğer yandan, Kenar 5 ve Kenar 3 gibi bazı kenarlar ise daha stabil, sabit sıcaklık seviyeleriyle seyretmekte, bu bölgelerde ısı transferinin dengede olduğu anlamına gelmektedir. Bu farklılıklar, akışın termal dağılımını ve gazların davranışlarını anlamak açısından önemli olup, sistem optimizasyonu için değerlendirilmelidir.

V. SONUÇLAR

Bu çalışma, PEM yakıt hücresinin performansını etkileyen çeşitli parametrelerin detaylı CFD simulasyonları ve yapısal analizler ışığında değerlendirilmesini amaçlamıştır. Gaz difüzyon tabakası, kanal geometrileri ve ısı yönetimi gibi kritik tasarım unsurlarının akım ve sıcaklık dağılımı üzerindeki etkileri incelenmiş, sistem performansını artırmaya yönelik optimize edici kalkış ve öneriler geliştirilmiştir. Özellikle sıcaklık, hız ve polarizasyon eğrilerindeki değişimlerin anlaşılmasıyla, hücre içi ısı transferi ve gaz dağılımını iyileştirici çözümler sunulmuştur. Sonuçlar, sıcaklığın ve akışkan dinamiğinin doğrudan performansa etkili olduğunu göstererek, tasarım parametrelerinin dikkatli ayarlanmasıyla hücre verimliliğinin artırılabileceğine işaret etmektedir. Bu çalışma, PEM yakıt hücresinin termal ve akışkan özelliklerine ilişkin bilinmeyenleri aydınlatmak ve gelecekteki tasarım çalışmalarına yol göstermek adına önemli katkılar sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Wilberforce, T., Ijaodola, O., Emmanuel, O., Thompson, J., Olabi, A. G., Abdelkareem, M. A., & Maghrabie, H. M. (2021). Optimization of fuel cell performance using computational fluid dynamics. *Membranes*, *11*(2), 146.

[2] Edwards, H., Pereira, M. P., Gharaie, S., Omrani, R., & Shabani, B. (2024). Computational fluid dynamics modelling of proton exchange membrane fuel cells: Accuracy and time efficiency. *International Journal of Hydrogen Energy*, *50*, 682-710.

[3] Carcadea, E., Ismail, M. S., Ingham, D. B., Patularu, L., Schitea, D., Marinoiu, A., & Varlam, M. (2021). Effects of geometrical dimensions of flow channels of a large-active-area PEM fuel cell: A CFD study. *International Journal of Hydrogen Energy*, *46*(25), 13572-13582.

[4] Sün, M. F. (2023). PEM yakıt hücresi reaktant kanallarının performansa etkisinin nümerik olarak incelenmesi.

[5] Li, X., & Sabir, I. (2005). Review of bipolar plates in PEM fuel cells: Flow-field designs. International journal of hydrogen energy, 30(4), 359-371.

[6] Feroldi, D., & Basualdo, M. (2011). Description of PEM fuel cells system. In PEM Fuel Cells with Bio-Ethanol Processor Systems: A Multidisciplinary Study of Modelling, Simulation, Fault Diagnosis and Advanced Control (pp. 49-72). London: Springer London.

[7] Zhou, C., Guo, L., Chen, L., Tian, X., He, T., & Yang, Q. (2021). Pore-scale modeling of air–water two phase flow and oxygen transport in gas diffusion layer of proton exchange membrane fuel cell. Energies, 14(13), 3812.

[8] Yegenoğlu, Ş. (2021). Doğrudan metanol yakıt hücrelerinde yakıt hücresi parametrelerinin performansa etkisinin sayısal olarak incelenmesi (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).

[9] Lim, C., & Wang, C. Y. (2004). Effects of hydrophobic polymer content in GDL on power performance of a PEM fuel cell. *Electrochimica Acta*, *49*(24), 4149-4156.

[10] Wang, C. Y., & Cheng, P. (1997). Multiphase flow and heat transfer in porous media. In *Advances in heat transfer* (Vol. 30, pp. 93-196). Elsevier.

[11] Nguyen, H. L., Han, J., Nguyen, X. L., Yu, S., Goo, Y. M., & Le, D. D. (2021). Review of the durability of polymer electrolyte membrane fuel cell in long-term operation: Main influencing parameters and testing protocols. *Energies*, *14*(13), 4048.

[12] Bakal, A. Katı oksit yakıt pilinde anot mikroyapısının yakıt pili performansına etkisi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

KALP HASTALIKLARI GÖRÜNTÜLERİ İLE ÖZELLİK ÇIKARMA YÖNTEMLERİ

Şule Temel[1*], Emre Avuçlu [2] ve Filiz Sarı [3]

[1] *Elektrik-Elektronik Mühendisliği / Fen Bilimleri Enstitüsü Aksaray Üniversitesi, 68100, Aksaray, Türkiye*
[2] *Yazılım Mühendisliği Üniversitesi/Mühendislik fakültesi, 68100, Aksaray, Türkiye*
[3] *Elektrik-Elektronik Mühendisliği Mühendislik fakültesi, Aksaray Üniversitesi, 68100, Aksaray, Türkiye*

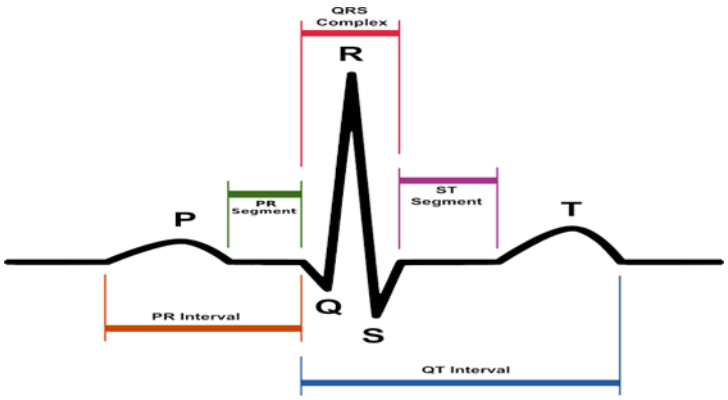
[*] *(fssstemel@gmail.com) Başlıca yazarın mail adresi*

Özet **–** Bu çalışmada, günümüzde artan kalp rahatsızlıklarının daha kolay ve hızlı bir şekilde tespit edilebilmesi amacıyla derin öğrenme (Deep Learning) ve görüntü işleme (Image Processing) teknikleri kullanılmıştır. Kalp hastalıklarına ait Elektrokardiyogram (EKG) sinyalleri görsel forma dönüştürülerek işlenmiş ve bu görüntüler üzerinden çeşitli özellik çıkarım yöntemleri uygulanmıştır. Histogram of Oriented Gradients (HOG), Local Binary Pattern (LBP) ve Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) gibi geleneksel yöntemlerle çıkarılan özellikler; Convolutional Neural Network (CNN) tabanlı derin öğrenme (Deep Learning) yöntemleri ile birleştirilerek sınıflandırma yapılmıştır. Ayrıca, elde edilen özellikler üzerinde Relief Feature Selection (ReliefF) algoritması ile seçme işlemi gerçekleştirilmiş ve Random Forest ile K-Nearest Neighbors (KNN) gibi makine öğrenmesi (Machine Learning) algoritmaları kullanılarak yüksek doğruluk oranları elde edilmiştir. Sonuç olarak, geliştirilen sistemin kalp hastalıklarının sınıflandırılmasında etkili ve güvenilir bir karar destek sistemi olabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler – EKG, sinyal, derin öğrenme, kalp hastalıkları

I. GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, kardiyovasküler hastalıklar (KVH'ler), dünya çapında önde gelen ölüm nedenidir [1]. Bu sebeple, kalp ile ilgili rahatsızlıkların daha fazla araştırılması ve bu konuda daha fazla bilgi edinilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, yapılan araştırmalar sonucunda tedavi ve teşhis sürecini kolaylaştıracak bulgulara ulaşılmıştır. Bu bulgulara geçmeden önce, EKG sinyalinde bulunan dalgaların neler olduğuna değinelim.



Şekil 1. Kalp Sinyali

Şekil 1'de görüldüğü üzere, EKG sinyali P, QRS ve T olmak üzere üç ana dalgadan oluşmaktadır. Bu dalgaların anormallikleri, çeşitli hastalıkların belirtisi olabilir.

QT-Aralık: QT aralığı Q dalga başlangıcından T dalga sonuna kadar geçen süredir. Ventriküler depolarizasyon ve repolarizasyon için geçen süreyi belirtir [2].

PR-Aralık: PR aralığı P dalgası ile QRS kompleksi arasında geçen süredir. AV düğümden geçen iletiyi gösterir [2].

RR-Aralık: İki kompleks QRS arasında geçen süre olarak değerlendirilebilir. Anlık kalp ritmi iki kompleks QRS arasında geçen süre ile hesaplanabilir. Dolayısıyla kalp ritmi RR aralık ile hesaplanabilir. Bu yöntemin kötü tarafı ise sağlıklı bir insanın kalp ritmi anormal çıkabilir veya tam tersi bir durum yaşanabilir [2].

Görüldüğü üzere, RR aralığı hesaplandığında yanlış sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu durumların önüne geçmek amacıyla, tıp ve teknolojinin birleşimiyle olası kötü durumların engellenmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda, alınan EKG sinyalleri derin öğrenme ile entegre edilerek bir çalışma ortaya konulmuştur. Yapılan bu çalışmada ilk olarak, PhysioNet platformu üzerinden veri setleri temin edilmiştir. Bu veri seti, 744 EKG sinyalinden oluşmakta olup, normal EKG sinyallerinin yanı sıra kalp rahatsızlıkları taşıyan birçok kişiye ait sinyalleri içermektedir. Veri setini kullanan başka bir makalede, aynı veri setleri 17 farklı sınıf altında incelenmiştir [3]. Bu sınıftaki veri sayısı çok fazla değişiklik gösteriyordu bu sebeple doğru bir kıyaslama olmazdı. Bu veri seti, 744 EKG sinyalinden oluşmakta olup, normal EKG sinyallerinin yanı sıra kalp rahatsızlığı bulunan birçok kişiye ait sinyalleri de içermektedir. Bu nedenle, hastalığın teşhis süresini kısaltmak amacıyla hastalıklar dört grupta birleştirilmiştir.

Tablo 1. Hastalık Grupları

Normal Ritim (NR)	**Atriyal (Kulakçık) Kaynaklı Bozukluklar (AKB)**	**Ventriküler (Karıncık) Kaynaklı Bozukluklar (VKB)**	**İletim Sistemi Bozuklukları (Bloklar) (İSB)**
Normal Sinüs Ritmi (NSR)	Atriyal erken atım (APB)	Ventriküler Erken Kasılma (PVC)	Sol Dal Bloğu (LBBB)
	Atriyal Çarpıntı (AFL)	Ventriküler Bigemini (BİGEMİNY)	Sağ Dal Bloğu (RBBB)
	Atriyal Fibrilasyon (AFIB)	Ventriküler Trigemini (TRİGEMİNY)	İkinci Derece Kalp Bloğu (SDHB)
	Supraventriküler Taşikardi (SVTA)	Ventriküler Taşikardi (VT)	Kalp Pili Ritmi (PR)
	Wolff-Parkinson-White (WPW)	İdioventriküler Ritim (IVR)	
		Ventriküler Fibrilasyon (VFL)	
		Ventriküler ve Normal Atımın Füzyonu (FUSİON)	

Tablo 1'deki gibi, 17 sınıf 4 ana sınıfa indirgenmiş ve bu 4 sınıf üzerinde çalışma yapılmıştır. 15 farklı EKG sınıfı, AAMI (Tıbbi Enstrümanların İlerlemesi Derneği) standardına dayanarak N, SVEB, VEB, F ve Q olmak üzere 5 farklı sınıfa ayrılmıştır [4]. Bu sınıflandırma kullanılabilirdi; ancak burada yer alan EKG sınıflarının verileri, mevcut verilerden daha azdı ve ayrıca veriler dalgalarına göre sınıflandırılmak istenmiştir. P dalgası atriyal depolarizasyonu yansıtır [5]. QRS kompleksi ventriküler depolarizasyonu

yansıtır [5]. Dalgalara dayalı olarak bir sınıflandırma yapılmış ve bu sınıflandırma doğrultusunda hastalıklar daha ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

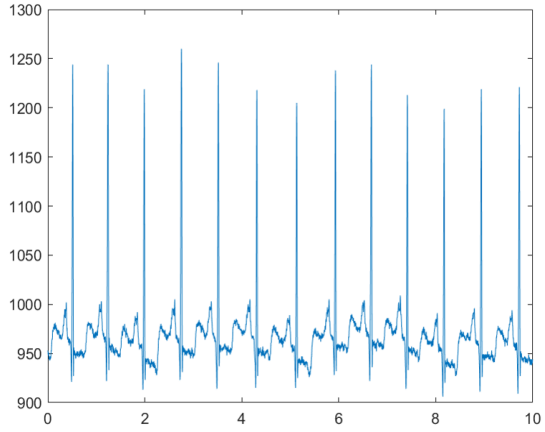
Tarihsel olarak, P-QRS-T'nin kalp atışı sınıflandırması ve segment tanımlaması gerçekleştirilecek ilk veri analizi görevleriydi ve bunlar bir sinyal işleme yaklaşımıyla elde edildi. Başlangıçta bir sinyal yoğunluğuna sahip bir zaman serisi olan bu EKG'ler, Fourier dönüşümü, Hermite teknikleri ve dalgacık dönüşümleri ile dalga benzeri bileşenlere ayrıştırıldı. Bu, bir özellik çıkarma biçimi olarak düşünülebilir çünkü bu dönüşümler ritimdeki düzensizlik veya ritim frekansı gibi önemli özellikleri, aşağı akış modelleri için daha belirgin hale getirir. Bu tür dalgacık tabanlı evrişimsel teknikler, MIT-BIH aritmi veri tabanında %93 doğruluk elde etti [6].

Sınıflandırma işleminden sonra, derin öğrenme yöntemleri kullanılarak bu sınıflar üzerinde ileri düzey analizler yapılmıştır. Derin öğrenme, son birkaç yıldır EKG sınıflandırma çalışmalarında olağanüstü performans göstermektedir [7]. Hiyerarşik mimarisi, daha yüksek düzeyde özelliklerin elde edilmesini sağlar ve özellik çıkarma konusundaki güçlü yeteneği sınıflandırma projesine katkıda bulunur [7]. Son çalışmalar, uzmanlar tarafından manuel sınıflandırmadan daha yüksek doğruluk ve verimlilik elde edebilir [7]. Bu bilgilerden yola çıkarak, sınıflar derin öğrenme ile işlenmiş ve %95,52 doğruluk oranı elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar kalp hastalıklarının erken teşhisinde etkili bir yöntem olabileceğini göstermektedir.

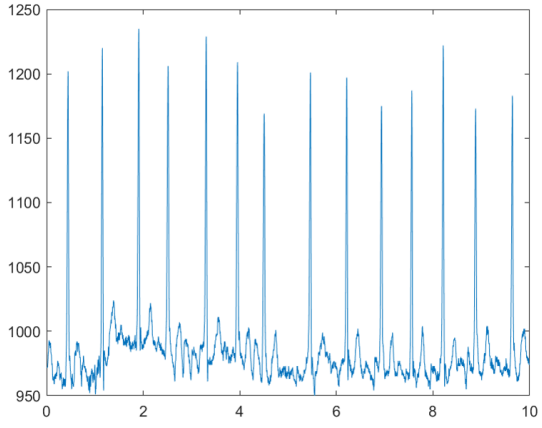
II. MATERYAL VE YÖNTEM

1.Veri Yükleme

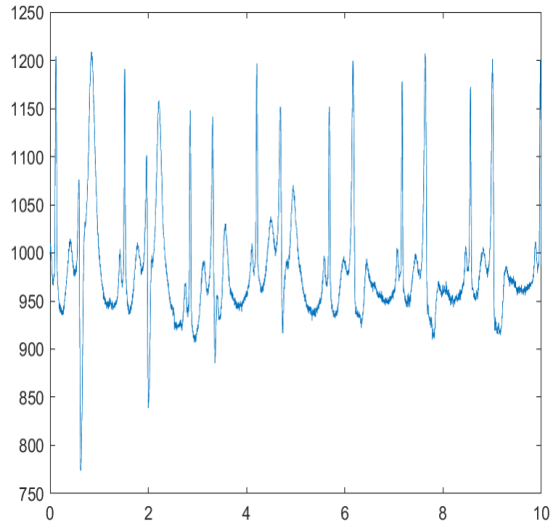
Veri setinden elde edilen EKG sinyalleri, hastalık gruplarına göre sınıflandırılmış ve PNG formatında kaydedilerek derin öğrenme modelinde eğitilmek amacıyla koda yüklenmiştir.



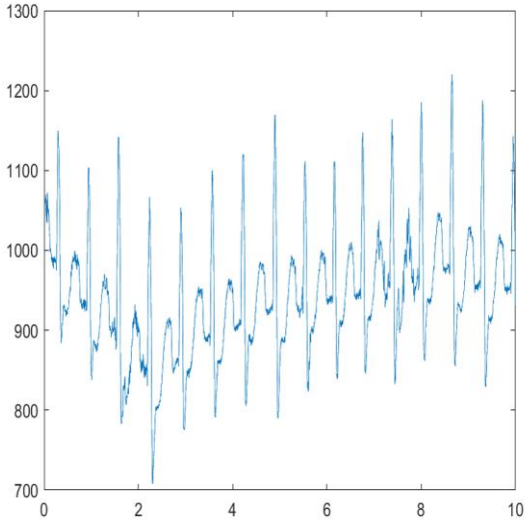
Şekil 2. NR Grubuna Ait Sinyal



Şekil 3. AKB Grubuna Ait Sinyal



Şekil 4. VKB Grubuna Ait Sinyal



Şekil 5 İSB Grubuna Ait Sinyal

Gruplar içerisinde yer alan bazı örnek verilerin görselleştirilmiş halleri Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'te sunulmuştur. Şekil 2'de NR grubuna ait bir EKG sinyalinin görsel temsili, Şekil 3'te AKB grubuna ait bir sinyalin görsel temsili, Şekil 4'te VKB grubuna ait bir sinyalin görsel temsili ve Şekil 5'te ise İSB grubuna ait bir sinyalin görsel temsili gösterilmiştir.

2. Veri Artırımı

Veri artırımının yapılmasının sebebi, EKG sinyallerinin birbirine benzer olup karışma riskinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Bu sebeple, görüntüler farklı açılardan eğitilerek derin öğrenme modelinin doğruluğu artırılmıştır.

3. Convolutional Neural Network (CNN) Modeli

CNN'ler, görüntü tanıma görevlerinde yaygın olarak kullanılan güçlü bir sinir ağı türüdür. Giriş görüntüsünden ilgili özellikleri çıkaran bir dizi evrişimsel ve havuzlama katmanından ve ardından bu özellikleri kullanarak bir tahminde bulunan bir veya daha fazla tam bağlı katmandan oluşurlar [8]. Çalışmada CNN mimarisinin tercih edilmesinin nedeni, PNG formatında elde edilen EKG sinyallerini yüksek doğrulukla analiz edebilmesidir. CNN, sinyallerde meydana gelen yapısal değişimleri tespit ederek sınıflandırma başarımını artırmaktadır.

4. CNN Özellik Çıkarımı

Görüntü işleme sürecinde yüksek doğruluk oranlarının elde edilmesi hedeflenmiş olup, bu amaçla CNN tabanlı özellik çıkarım yöntemi kullanılmıştır. CNN, görsel verilerdeki karmaşık özellikleri etkili bir şekilde öğrenip tanıyabilen bir derin öğrenme modelidir.

5. HOG + LBP + GLCM Özellik Çıkartımı

HOG, kenar ve şekil çizgilerinin çıkarılmasında kullanılır; bu sayede dalgalarda meydana gelen değişimlerin belirginleşmesini sağlar.

LBP, doku bilgisi çıkarımında kullanılır ve bu sayede hastalık geçişlerinde meydana gelen değişimlerin belirginleşmesini sağlar.

GLCM, piksel yoğunlukları arasındaki ilişkiyi analiz ederek, doku özelliklerinin çıkarılmasına olanak tanır. Bu sayede, görüntülerdeki yapısal ve dokuya dayalı değişimlerin belirginleşmesi sağlanır.

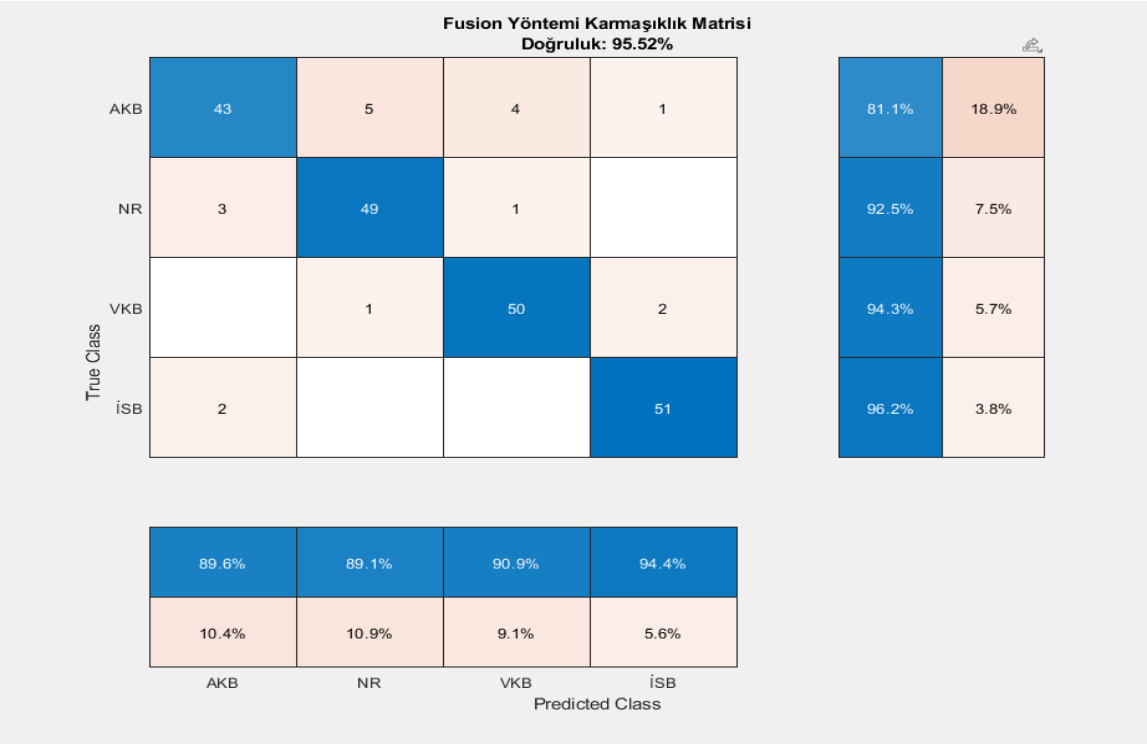
6. Özellik Birleştirme + ReliefF

Özellik çıkarımından elde edilen sonuçlar burada birleştirilir. EKG sinyallerinde, hastalıkların veya sağlıklı durumların bazı sinyallerinin benzerlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle, ReliefF algoritması kullanılarak önemli sinyaller seçilmiş ve modelin performansının iyileştirilmesine katkı sağlanmıştır. Bu iki özellik bir arada kullanılarak, kodun verimliliği ve hızı artırılmıştır.

7. Random Forest ile Sınıflandırma

Bu algoritma, güçlü ve esnek yapısı sayesinde karmaşık veriler üzerinde etkili sonuçlar elde edilmesini sağlar. Veri setindeki sinyal sayısının fazla ve EKG sinyallerinin karmaşık yapıda olması, bu algoritmanın kullanımını önemli kılan bir faktördür.

8. Karmaşıklık Matrisi ve Değerlendirme



Şekil 6. Karmaşık Matris

Şekil 6'da sunulan karmaşık matris üzerinde uygulanan fusion yöntemi ile %95,52 oranında doğruluk elde edilmiştir. Bu sonuç, yöntemin yüksek başarı düzeyini açıkça ortaya koymaktadır. Özellikle İSB ve VKB sınıflarında modelin performansı dikkat çekici düzeydedir.

Doğruluk (Accuracy) = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN)

Kesinlik (Precision) = TP / (TP + FP)

Duyarlılık (Recall) = TP / (TP + FN)

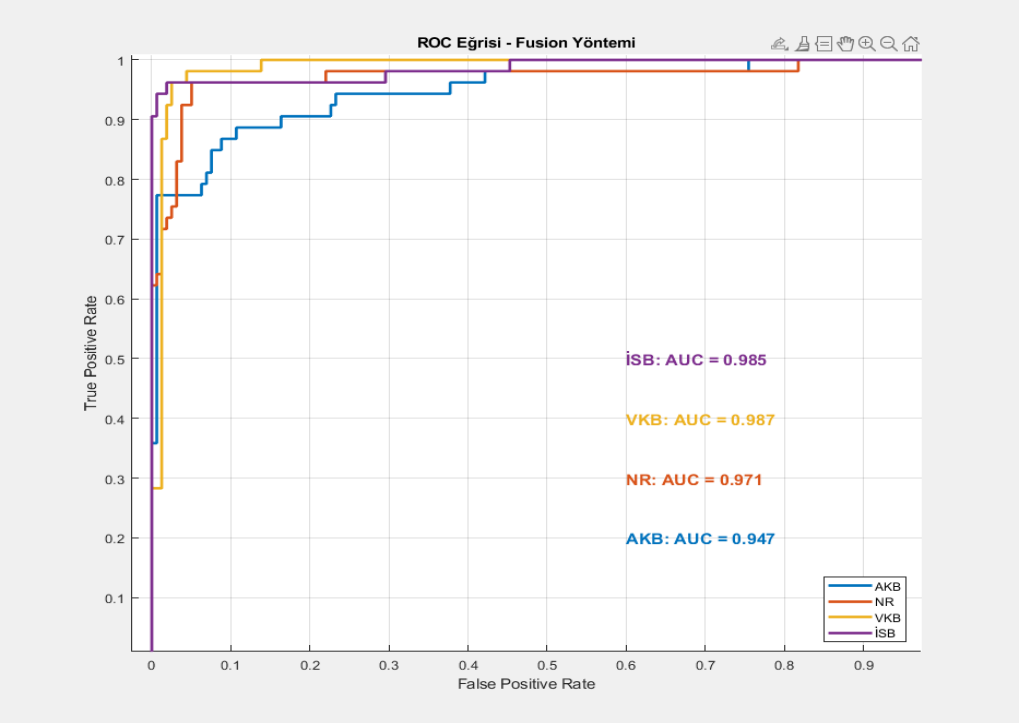
F1-Skoru = 2 * (Precision * Recall) / (Precision + Recall)

Burada:

- TP: Doğru pozitif - FP: Yanlış pozitif

- TN: Doğru negative - FN: Yanlış negative

9. ROC Eğrisi



Şekil 7. ROC Eğrisi

Şekil 7'deki ROC eğrisinde de açıkça görüldüğü üzere, eğriler incelendiğinde modelin, genel olarak oldukça yüksek bir doğrulukla çalıştığı ve sınıflandırma performansının başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, İSB ve VKB sınıflarının, diğer sınıflara kıyasla çok daha yüksek AUC değerlerine sahip olduğu ve dolayısıyla modelin bu sınıflarda çok iyi bir ayrım gücüne sahip olduğu gözlemlenmektedir. Öte yandan, AKB sınıfı ise diğer sınıflara göre biraz daha düşük bir AUC değerine sahip olsa da yine de 0.947 gibi yüksek bir değerle hâlâ oldukça iyi bir performans sergileyerek modelin geneline katkı sağlamaktadır. Ayrıca, modelin genel başarısını daha da pekiştiren bir diğer önemli gösterge, NR değerinin 0.971 olarak hesaplanmasıdır. Sonuç olarak, modelin yüksek doğruluk oranı ve etkili sınıflandırma performansı, özellikle ROC eğrisi ve AUC değerleriyle doğrulanmış olup, kalp hastalıkları sınıflandırma görevinde başarılı bir çözüm sunduğu söylenebilir.

III. BULGULAR

Yapılan deneyler sonucunda, dört farklı kalp hastalığı sınıfı %95,52 oranında doğrulukla başarıyla ayırt edilebilmiştir. En yüksek sınıflandırma başarısı %96,2 ile İSB sınıfında elde edilirken, bunu sırasıyla %94,3 ile VKB, %92,5 ile NR ve %81,1 ile AKB sınıfları takip etmiştir. Ayrıca model, ROC analizi ile de değerlendirilmiş ve tüm sınıflar için AUC değerlerinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir; bu da modelin genel sınıflandırma performansının oldukça başarılı olduğunu ortaya koymaktadır.

IV. TARTIŞMA

Kullanılan üç yapay zeka (YZ) modelinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. CNN modeli %73,5 en yüksek doğruluk oranı bulunmuştur. Bu bulgular, YZ modellerinin Hastalık teşhislerinde etkin bir araç olarak kullanılabileceğini ve Açıklanabilir YZ ile de daha şeffaf sonuçlar oluşturarak erken tanı ile tedavi süreçlerine katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır [9]. Elde edilen %73,5'lik doğruluk oranı, hastalıkların teşhis ve tedavisinde önemli bir yere sahipken, %95,52'lik doğruluk oranı daha yüksek doğruluk seviyelerine ulaşarak teşhis ve tedavi süreçlerinde daha güçlü bir katkı sağlayacaktır.

V. SONUÇLAR

Tablo 2. Model Performansına Ait Değerlendirme Ölçütleri

Özellik	**AKB**	**NR**	**VKB**	**İSB**
TP	43	49	50	51
FP	5	6	5	3
FN	10	4	3	2
TN	154	153	154	156
Precision	0.90	0.89	0.91	0.94
Recall	0.81	0.92	0.94	0.96
F1-Score	0.85	0.91	0.93	0.95
AUC	0.94731	0.97069	0.98718	0.98529

Tablo 2'ye göre elde edilen sonuçlara göre, model tüm sınıflarda yüksek doğruluk sergileyerek, özellikle İSB ve VKB sınıflarında oldukça iyi performans göstermektedir. İSB sınıfı için hem precision hem de recall değerleri yüksek olup, bu da modelin bu sınıfı doğru bir şekilde ayırt ettiğini ve çoğu pozitif vakayı doğru şekilde sınıflandırdığını göstermektedir. Benzer şekilde, VKB sınıfı da yüksek precision ve recall değerlerine sahip olup, modelin bu sınıfta da mükemmel bir ayrım gücüne sahip olduğunu ortaya koymaktadır. NR sınıfı, yüksek recall değeriyle çoğu pozitif vakayı doğru sınıflandırsa da precision değeri biraz daha düşük kalmaktadır. AKB sınıfında ise recall değeri, diğer sınıflara kıyasla biraz daha düşük olsa da model hâlâ iyi bir performans sergileyerek yüksek bir AUC değerine ulaşmıştır. Genel olarak, tüm sınıflarda yüksek AUC değerleri elde edilmiş olup modelin başarılı bir sınıflandırma yaptığı sonucuna varılmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yayınlanma süecindeki katkılarından dolayı; ICSIS 2025 (1st International Conference on Scientific and Innovative Studies) kongre organizasyon ve kurullarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Dagenais, G. R., Leong, D. P., Rangarajan, S., Lanas, F., Lopez-Jaramillo, P., Gupta, R., ... & Yusuf, S. (2020). Variations in common diseases, hospital admissions, and deaths in middle-aged adults in 21 countries from five
2. ÇEKİK, R., & TELÇEKEN, S. (2014). EKG SİNYALLERİNİN KABA KÜMELER TEORİSİ KULLANILARAK SINIFLANDIRILMASI. *Anadolu University of Sciences & Technology A: Applied Sciences & Engineering*, *15*(2).
3. Pławiak, P. (2018). Novel genetic ensembles of classifiers applied to myocardium dysfunction recognition based on ECG signals. Swarm and evolutionary computation, 39, 192-208.
4. T. Subba ve T. Chingtham, EKG Sinyal Sınıflandırması için Gelişmiş Özellik Çıkarımı ile Makine Öğrenme Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi, IEEE Access'te , cilt 12, ss. 57727-57740, 2024, doi 10.1109ACCESS.2024.3387041.
5. Wasimuddin, M., Elleithy, K., Abuzneid, AS, Faezipour, M. ve Abuzaghleh, O. (2020). Geleneksel sinyal işlemeden makine öğrenimi yaklaşımlarına aşama tabanlı EKG sinyal analizi Bir araştırma. IEEE Access , 8 , 177782-177803.

6. Somani, S., Russak, A. J., Richter, F., Zhao, S., Vaid, A., Chaudhry, F., ... & Glicksberg, B. S. (2021). Deep learning and the electrocardiogram: review of the current state-of-the-art. *EP Europace*, *23*(8), 1179-1191.
7. Liu, X., Wang, H., Li, Z. ve Qin, L. (2021). EKG tanısında derin öğrenme Bir inceleme. Bilgi Tabanlı Sistemler , 227 , 107187.
8. Krichen, M. (2023). Convolutional neural networks: A survey. *Computers*, *12*(8), 151.
9. Vırıt, A., & Öter, A. (2024). Kardiyovasküler Hastalıkların Derin Öğrenme Algoritmaları İle Tanısı. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 12(4), 902-912.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

The Impact of Portfolio Assessment on Students' Reading Skills Enhancement

Rafika Helaimia*, Rahima AIT OUBELLI[2]

Department of English, Mohamed Cherif Messadia University, Souk Ahras

[2] *Department of English, Mohamed Cherif Messadia University, Souk Ahras*

Abstract – For many years, researchers have been dedicated to exploring effective methods to enhance the educational environment, focusing on both teaching strategies for educators and learning techniques for students. A key area of their investigation is the effective assessment of students. They have proposed various assessment methods, including portfolio assessment. This innovative approach offers a modern alternative to conventional evaluation techniques by combining continuous reflection with the presentation of academic work, enabling students to showcase their development and progress over time. This study specifically aimed to examine the impact of portfolio assessment on the reading skill enhancement of first-year English as a Foreign Language (EFL) students at Mohamed Cherif Messaadia University in Souk Ahras, Algeria. To achieve this goal, two main research methods were utilized: a questionnaire distributed to students for quantitative data collection and interviews with teachers for qualitative insights. The results indicated a significant positive effect of portfolio assessment on improving students' reading skills, thereby validating the hypothesis that this method is an effective strategy for enhancing reading capabilities among EFL learners. Based on these findings, it is advisable for educators to persist in utilizing portfolio assessment as a beneficial tool for promoting students' reading proficiency, ultimately aiding in their overall academic achievement.

Keywords: portfolio assessment, types, content, reading, skills, questinnaire, intervie, students, teachers.

I. INTRODUCTION

Reading serves as the foundation of education, granting individuals access to knowledge and fostering intellectual curiosity. However, the cultivation of robust reading skills extends beyond conventional assessments, which often measure reading comprehension through standardized tests or isolated evaluations that primarily emphasize factual recall. Such methods frequently fail to acknowledge the holistic aspects of reading, overlooking the vital connections between critical thinking, vocabulary enhancement, and engagement with diverse texts. Portfolio assessment has emerged as an innovative approach, gaining traction for its capacity to encapsulate the complexities of students' reading development and offer a more comprehensive framework for evaluating reading proficiency. By assembling and analyzing a curated collection of students' work over time, portfolios effectively illustrate the evolution of their reading comprehension and engagement.

II. ASSESSMENT DEFINITIONS

The assessment process is an essential and continuous aspect of education, designed to evaluate students' performance both throughout the academic year and at its conclusion. This ongoing evaluation allows educators to track student progress and achievements effectively. Assessment can be understood from

multiple angles. The Dictionary of Education (1989) defines assessment as the method of measuring the quality and quantity of learning and teaching through various techniques. It comprises two key components: teachers and learners, as noted by Sadler (1989), who emphasizes that assessment is a constructive learning process reliant on continuous feedback between both parties. This process aims to assess the accomplishments of both students and teachers in relation to established learning objectives. Sadler further differentiates between summative assessment and assessment for learning, indicating that summative assessment, which reports on students' status at the end of a course for certification, contrasts with assessment for learning, which focuses on summarizing student achievements. He points out that while summative assessments can significantly impact educational and personal decisions for students, they are inherently passive and do not directly influence learning outcomes. Furthermore, Pophan (2008) emphasizes that learning assessment encompasses a dual approach, where teachers assess their teaching methods and students modify their study strategies in response. Additionally, the assessment process is designed to monitor learners' progress in conjunction with learning strategies, as Heritage (2012) affirms that assessment for learning is implemented throughout the educational journey to ensure that students' current performance aligns with the intended learning objectives.

The above defintions ara agree with other defintions that assessment for learning is an operation that concerns the evalution the teacher s' method and the leaner s' effort.

III. Types of Assessment

Researchers have aggreed that there are three kinds of assessment: diagnostic assessment, formative assessment, and summative assessment.

A.Diagnostic Assessment

The diagnostic assessment is essential in the educational process as it methodically identifies a student's abilities and competencies. This assessment emphasizes three primary aspects: the student's strengths, areas requiring improvement, and existing knowledge. By leveraging this information, educators can create tailored learning plans, differentiate their instruction, and apply effective teaching strategies that address the varied needs of their students McTighe (2005). Consequently, student achievement will be improved, and the learning environment will thrive.

B.Formative Assessment

Formative assessment encompasses a variety of practices that culminate in feedback, enabling educators to uncover further capabilities, improve student learning—particularly through real-time evaluations—and expedite the teaching and learning process. This approach can be utilized for grading purposes or not, and it includes various written and oral activities such as posing questions, completing quizzes, engaging in role-playing, and producing drafts. The primary objective of formative assessments is to ascertain students' comprehension of the material prior to administering a summative assessment McTighe (2005).

C..*Summative Assessment*

Summative assessment, often referred to as learning assessment, is an evaluation method that measures a student's performance at the conclusion of a specific timeframe. As noted by Gronlund and Brookhart (2016) and Mogboh and Okoye (2019), this type of assessment takes place at the end of a learning period and offers a comprehensive evaluation of student achievement in relation to predefined standards or learning objectives. A key feature of summative assessment is its definitive nature, as it signifies the conclusion of a learning phase, usually at the end of a unit, course, or academic term, during which students' knowledge and skills are thoroughly evaluated (Sah, 2021; Stiggins, 2002).

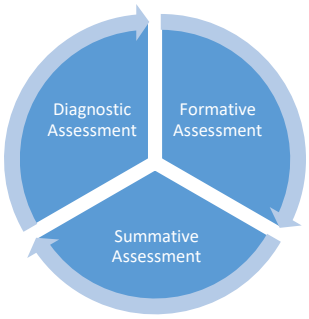


Fig1. Types of Assessments

IV. Portfolio Definition

The concept of a portfolio has its roots in the Fine Arts field, where it is primarily utilized to display an artist's body of work (Hosni, 2017). In an educational context, portfolios serve a dual purpose: they not only showcase students' efforts but also act as a valuable assessment tool to measure their progress and achievements over a designated timeframe. These contributions are typically organized within a journal, file folder, or box, as noted by Javanmard and Farahani (2012). Moreover, portfolios represent a progressive alternative to conventional methods of collecting students' assignments and grades (Fiktorius, 2012). The advantages of utilizing portfolios are manifold; they significantly enhance students' critical thinking skills, problem-solving capabilities, independence in learning, creativity, and overall personal development. However, it is important to recognize that the successful implementation of portfolios requires a substantial commitment from both educators and students alike (Cirocki,2013).

V. Types of Portfolio

In their 1997 publication, "An Introduction to Using Portfolios in the Classroom," Danielson and Abrutyn categorize portfolios into three distinct types: working portfolios, display portfolios, and assessment portfolios.

A.Working Portfolios

This category of portfolio is meticulously crafted to provide a comprehensive evaluation of several key components in the educational ecosystem: the efforts of students, the strategies employed by teachers, and the level of parental involvement in their children's education.

For students, the portfolio acts as a reflective space where they can critically assess their own work. It encourages them to take ownership of their learning journey by identifying their strengths—such as particular skills or subjects in which they excel—and recognizing their weaknesses, which may highlight areas needing improvement.

From the teachers' perspective, the portfolio provides valuable insights into the effectiveness of their instructional strategies. By analyzing student work and feedback, educators can discern which teaching methods resonate with their students and which may require adjustment.

Parental involvement is another critical aspect addressed by this portfolio. It serves as a bridge between home and school, encouraging parents to take an active role in their children's education. By reviewing the portfolio, parents can gain a clearer understanding of their child's progress, strengths, and areas for growth.

B.Display portfolios

The second category of portfolio is the display or showcase portfolio, which serves as a curated collection that highlights various successful activities and accomplishments of the student. This type of portfolio is

specifically designed to be presented to different audiences, effectively conveying the message, “This is who I am. This is what I can achieve.” The activities included in a showcase portfolio may encompass a wide range of projects, performances, and other significant undertakings that reflect the student’s skills, interests, and growth.According to Danielson and Abrutyn (1997)” while portfolios can contain students‘ written assignments, videos, projects, resumes, and testimonials, they may also include ―a project from scouts or a poem written at home”.The showcase portfolio plays a crucial role in bolstering the student's self-esteem. Students gain a sense of pride in their work and a deeper understanding of their own abilities. This recognition can significantly increase their engagement in learning activities and encourage them to pursue further achievements.

C.Assessment Portfolios

The concept of portfolio assessment pertains to the compilation of various student activities and results to assess their accomplishments and development. It is suggested that such a portfolio should align the products created by students with their corresponding outcomes. For instance, Danielson and Abrutyn (1997, pp. 3-4) state that if the curriculum outlines requirements for persuasive, narrative, and descriptive writing, the assessment portfolio ought to feature examples of each writing style. Likewise, if the curriculum emphasizes mathematical problem solving and communication, the portfolio should contain entries that reflect both aspects, potentially within a single entry.

To ensure that the portfolio is effective and meaningful, it is essential that the contents align closely with the educational outcomes specified in the curriculum. For example, as highlighted by Danielson and Abrutyn (1997, pp. 3-4), if the curriculum delineates specific requirements for different types of writing—such as persuasive, narrative, and descriptive writing—then the assessment portfolio should include representative samples of each writing style. This not only demonstrates the student's proficiency in various forms of writing but also provides evidence of their ability to adapt their skills to meet different communicative purposes.

Table1. Portfolio Types

Types of Portfolio	Carachteristics
Working Portfolios	meticulously crafted, students, teachers and parents are involved in the learning process
Display Portfolios	Showcase portfolios, students are the most active element in the learning process, students’ self-esteem realized
Assessment Portfolios	Focus on different students’ activities, encourage learners’ self-reflection and crtitical thinking .

VI.Content of the Portfolio

The portfolio generally consists of a diverse array of components derived from personal contributions, collaborative efforts, instructional materials, and additional resources , as noted by Mokhtaria (2015).

A.Personal contributions encompass a range of academic and pedagogical accomplishments, including but not limited to: degrees, course enrollments, syllabi, teaching methodologies, reading lists, assignments, innovative course projects, educational materials, and instructional advancements.

B.Collaborative resources include outputs resulting from student coursework and various recognitions, such as course evaluations, honors, awards, and testimonials from alumni regarding the quality of instruction received.

C.Instructional materials are reflected in the activities and achievements that occur between educators and students, with the educator serving as the facilitator. This includes student performance on pre- and post-course assessments, graded assignments accompanied by faculty feedback, student publications or presentations at conferences, and correspondence that demonstrates faculty support for student career development.

D.Additional activities may involve recordings of teaching sessions, participation in off-campus educational initiatives, and invitations to deliver guest lectures in other academic settings.



Fig.2. Portfolio content

VII.Statement of the Problem

The effective teaching and learning of reading require a substantial degree of knowledge and skill from both educators and students. This interactive relationship is essential, as it creates an environment conducive to active participation in the learning process. Educators need to have a comprehensive understanding of reading strategies, literacy development, and the varied needs of their students. Likewise, students should be equipped with the abilities to navigate texts, understand content, and critically evaluate information. One effective strategy to improve learners' reading skills is the use of assessment techniques. Conventional assessment techniques, such as standardized testing, do not adequately address the complexities of language acquisition, particularly in reading. These traditional approaches often rely on standardized and simplistic assessments that emphasize rote memorization and basic comprehension, which can result in diminished engagement and motivation among students, who may feel alienated from the learning experience. In contrast, portfolio assessment of reading skills has shown effectiveness in encouraging active learning and self-reflection. This method enables students to gather a body of their work over time, illustrating their progress and development as readers. However, further research is still needed to explore the impact of this technique on students' reading abilities.

VIII. Aim of The Study

The aim of this study is to highlight the significance of employing portfolio assessment in evaluating students' reading skills. This topic warrants discussion to enhance their reading abilities, which is a critical skill necessary for improving their proficiency in the English language.

This study aims to investigate the central inquiry: To what extent does portfolio assessment play a role in improving students' reading skills?

XI.Methodology

A.Participants

This research study engaged a total of 80 first-year students enrolled in English as a Foreign Language (EFL) courses, as well as 10 instructors from the English department at the University of Souk Ahras, located in Algeria. The student participants were selected through a random sampling method, ensuring a diverse representation of the first-year cohort. In addition to the students, the study also included the participation of 10 EFL teachers, who contributed their insights and expertise to the research process.

B.Research design

To collect both qualitative and quantitative data, A questionnaire was distributed to 80 students and 10 EFL teachers to gather both qualitative and quantitative data. This questionnaire comprised a range of questions related to reading skills, assessment techniques, portfolio assessment, and the practicality of applying these strategies in classroom environments.

C.Procedures

Students' Questionnaire

To efficiently and effectively collect a substantial amount of data, students were invited to respond to a series of questions regarding their perceptions of their reading skills during reading sessions, as well as to share their opinions and experiences related to portfolio assessment and its influence on reading abilities in English as a Foreign Language (EFL) contexts. The questionnaire consists of sixteen (16) questions divided into three (3) sections, each featuring a variety of question types. Some questions are open-ended, prompting respondents to provide comprehensive answers and explanations, while others are close-ended, requiring students to select the correct answer from a limited range of options or to respond with a simple yes or no. The first section primarily aimed to collect general information about the students. The second section focused on their overall perceptions of reading skills, containing eight (8) questions dedicated to this topic, and also examined the effects of portfolio assessment on these skills. The third section sought to capture the learners' views on portfolio assessment, aiming to understand their attitudes towards the implementation of this assessment framework. This section included six (6) questions that investigated the assessment methods used by teachers to evaluate students' reading proficiency, particularly emphasizing the role of portfolios in both learning and assessment processes. Lastly, the subsequent section addressed the use of portfolio assessment, highlighting the participants' experiences in utilizing portfolios to evaluate their reading capabilities.

Teachers' questionnaire

In this research, the investigator developed a paper-based questionnaire, which was distributed to 10 English as a Foreign Language (EFL) instructors within the English department to collect relevant and dependable data. The teachers were identified as the primary source of information for this study. Consequently, the questionnaire was employed to explore the teachers' views and attitudes towards the implementation of portfolio assessment. The questionnaire includes a total of 10 questions, featuring both open-ended and closed formats, aimed at eliciting detailed responses from the teachers and allowing them to express their viewpoints, insights, and teaching experiences. These questions are divided into two main sections. The first section seeks to gather information about the teachers' educational qualifications, teaching experience, and instructional strategies. The second section contains questions pertaining to the teachers' comprehension of portfolio assessment and its practical use. Out of the 10 teachers who received the questionnaire, only 7 provided responses.

D.Results and Discussion

This study aimed to explore the effects of portfolio assessment on students' reading abilities, highlighting the significance of this approach and contributing to the broader research landscape regarding the use of portfolio methods. The researcher chose to employ a questionnaire as the data collection instrument, which yielded the following results:

Initially, there is a significant gender imbalance among the participants, with a predominant number being female. This finding aligns with previous research that suggests women generally have a greater propensity for language learning than men. Recent studies conducted by Van Der Slik et al. (2015) and Wightman (2020) indicate that gender influences learning preferences and strategies in language acquisition, with women often more inclined to utilize metacognitive strategies that enhance effective language learning. Moreover, the majority of students are aged between 18 and 21, suggesting that young adults are more actively involved in language studies. Recent research on this demographic has shown that they are predictive of various outcomes in language acquisition, including academic success and demonstrated proficiency. Students with higher levels of L2G are more likely to remain committed to their language learning efforts, especially when confronted with difficulties (Oxford & Khajavy, 2021). Additionally, many students are driven by the aspiration to improve their career prospects and expand their job opportunities, as proficiency in English has become increasingly essential for securing employment on a global scale. Numerous studies, including those by Mae O (2021) and Asio & Quijano (2023), have underscored this notion, reinforcing the idea that acquiring the English language opens up job opportunities.

Table 2 : English learning gender categories and objectives

Gender	Category	Purpose
Female 85%	18-19 70%	Job opportunity
Male 15%	20-21 30%	

Furthermore, an analysis of reading habits has uncovered various patterns in students' reading behaviors, both in academic settings and during their leisure time. While a considerable portion of students engages in reading outside of class, there is a marked difference in how often they read and the types of content they select. Supporting the research conducted by Saaid & Wahab (2014), it was found that 62.2% of university students read digital content for enjoyment, 18.1% for research, and 12.7% for academic purposes . Nonetheless, it is important to acknowledge that despite many students' enjoyment of reading, a significant number report challenges in fully understanding the materials they encounter. This underscores the urgent need for strategies focused on improving vocabulary and comprehension skills. Research by Chen & Lee (2019) demonstrates a positive relationship between vocabulary knowledge and reading comprehension, which aids in the easier interpretation of texts.

Table3. Students' reading preferences

Students' reading materials	Students enjoying reading	Students' reading time
Articles, newspapers 38%	Yes76%	Outside classroom 66%
e-books, web short stories 15%	No 23%	Inside classroom 34%
Physical books, short stories, 47%		

In terms of assessment methods, a considerable majority of students express a strong preference for portfolio assessment compared to traditional approaches. They argue that portfolio assessment provides benefits such as constructive feedback, the ability to track progress, and the promotion of ongoing reading habits. However, a minority of students still favor traditional assessment methods, highlighting the diverse learning preferences within the student body. Educators, in this context, demonstrate a thorough understanding of the objectives and advantages of portfolio assessments. Recent research supports the positive perspectives of both teachers and students regarding the effectiveness of portfolios. These findings

suggest that a substantial majority of both students and educators favor portfolio assessment over conventional evaluation methods for skill enhancement. This is consistent with Caner's (2010) study, which investigated the performance of Turkish ELF students using portfolio assessment. While students indicated a preference for traditional paper-and-pencil tests as a summative assessment tool, they collectively recognized that portfolio assessment significantly aided their learning. Several challenges were noted, including time limitations and differing levels of student engagement. Nevertheless, proponents of portfolio assessment underscored its essential role in developing various student skills, particularly individual and cognitive abilities. Clark (2010) reinforces this idea, asserting that portfolios allow students to effectively apply metacognitive knowledge and skills. Furthermore, teachers noted the positive influence of portfolio assessment on students' reading proficiency, further affirming its value as an evaluative instrument. A crucial aspect of portfolio assessment is reflective writing, which promotes self-assessment and encourages a deeper engagement with learning materials (Boumediene et al., 2017).

Table 3. Students and teachers assessment prenfrences

Portfolio assessment	Traditional assessment	Impacts of portfolio on students' reading skills	Impacts of portfolio on students' habits
Students 71%	29%	64%	82%
Teachers 100%			

X.Conclusion

This research seeks to investigate the influence of portfolio assessment on the reading abilities of students. The results indicate that this assessment method is advantageous in improving a range of skills, especially in reading, while also offering educators critical insights into the developmental progress of their students. However, it is important to note that the current body of literature addressing this topic is relatively sparse. There is a significant deficiency in effective strategies that can aid in the practical application of this assessment technique, as well as obstacles related to data collection processes. Consequently, further research is essential to bolster teaching effectiveness and enhance learning outcomes within this area of study.

ACKNOWLEDGMENT

I would like to express my heartfelt gratitude to the conference organizers for creating this wonderful opportunity for us to participate and share our knowledge with one another.

REFERENCES

1. Abdul Majeed, A. U.(2018). The Impact of Assessment for Learning on Students' Achievement in English for Specific Purposes A Case Study of Pre-Medical Students at Khartoum University: Sudan, English Language Teaching; Vol. 11, No. 2; 2018 ISSN 1916-4742 E-ISSN 1916-4750 Published by Canadian Center of Science and Education.
2. Sadler, D. R. (1989). Formative assessment and the design of instructional systems. Instructional Science, 18, 119-144. https://doi.org/10.1007/BF00117714
3. Popham, W. J. (2008). Expanding dimensions of instructional objectives. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
4. Heritage, M. (2007). From formative assessment: Improving teaching and learning. Paper presented at the CRESST 2007 Assessment Conference, Los Angeles, CA
5. McTighe, J., O'Connor, K. (2005). Seven Practices for Effective Learning. ASCD, 63(3). https://www.ascd.org/el/articles/seven-practices-for-effective-learning
6. Satish Prakash Chand Fiji, Kavita Pillay Fiji National(2024), Understanding the fundamental differences between formative and summative assessment, Global Scientific and Academic Research Journal of Education and literature ISSN: 2583-7966 (Online)
7. Sah, K. K. (2021). Teachers Perceptions on the Use of Summative Assessment at Secondary Level. Elibrary.tucl.edu.np. https://elibrary.tucl.edu.np/handle/123456789/1034 6

8. Hosni, J. Al. (2017). New Perspective on Portfolios in EFL Classrooms: Portfolio as an Autobiographical Text. Studies in English Language Teaching, 5(4), 771. https://doi.org/10.22158/selt.v5n4p 771
9. Javanmard, Y., & Farahani, H. (2012). Investigating Using Portfolio Assessment and Learning English Language in Qom Secondary Schools. Global Journal of Human Social Sciences, 12, 53.
10. Fiktorius, T. (2012). Portfolio assessment in English language teaching (ELT). Academia. Edu.
11. Cirocki, A. (2013). The reading portfolio: A tool for both learning and assessment in the secondary school EFL classroom. International Journal of Innovation in English Language Teaching and Research, 2(2), 223.
12. Danielson, C., & Abrutyn, L. (1997). An introduction to using portfolios in the classroom. Virginia: ASCD.
13. Mokhtaria, L. (2015). The use of portfolio as an assessment tool. International Journal of Scientific & Technology Research, 4, 170-172.
14. porfolio based assessment
15. Davis MH, Friedman Ben-David M, Harden RM, Howie J, Ker J, McGhee C, Pippard MJ, Snadden D.(2001) Portfolio assessment in medical students' final examinations. Med Teach 23:357–366.
16. Cain, M, Edwards-Henry, A.M and Rampersad, J.(2005). Developing Portfolios For Integrating Teaching, Learning, And Assessment. School of Education, Trinidad and Tobago
17. Van Der Slik, F. W., Van Hout, R. W., & Schepens, J. J. (2015). The gender gap in second language acquisition: Gender differences in the acquisition of Dutch among immigrants from 88 countries with 49 mother tongues. PloS one, 2015, 10(11), e0142056.
18. Wightman, M. 2020. "Gender differences in second language learning: Why they exist and what we can do about it." University of Tennessee, Knoxville TRACE: https://trace.tennessee.edu/utk_chanhonoproj/2371
19. Saaid, S. A., & Wahab, Z. A. (2014). The impact of digital-based materials on undergraduates' reading habit. International Journal of Social Science and Humanity, 4(3), 249-253. DOI: https://doi.org/10.7763/IJSSH.2014.V 4.357
20. Caner, Mustafa. (2002). STUDENTS VIEWS ON USING PORTFOLIO ASSESSMENT IN EFL WRITING COURSES, ANADOLU UNIVERSITY JOURNAL OF SOCIAL SCIENCES Cilt/Vol.:10- Sayı/No: 1 : 223–236 (2010)
21. Boumediene Houda, et al.(2017). "The Effectiveness of Portfolio Assessment on EFL Students' Writing Performance: The Case of Third Year Secondary Students in Algeria." Academic Journal of Interdisciplinary Studies 5.3 S1 (2017): pp 119.
22. Jahangir Alam, Md. & Aktar, T. (2019). Assessment Challenges & Impact of Formative Portfolio Assessment (FPA) on EFL Learners' Writing Performance: A Case Study on the Preparatory English Language Course, English Language Teaching; Vol. 12, No. 7; 2019 ISSN 1916-4742 E-ISSN 1916-4750 Published by Canadian Center of Science and Education.
23. Parinaz Nassirdoost, P. (2015). The Impact of Portfolio Assessment on EFL Learners' Vocabulary Achievement and Motivation, Journal for the Study of English Linguistics ISSN 2329-7034 2015, Vol. 3, No. 1.
24. Maulana Mualim, M. Aziez, F. (2020). READING PORTFOLIO AS A SUPPLEMENTARY ACTIVITY TO LEVERAGE STUDENTS' READING COMPETENCY, Jurnal Basis, 7(2), 2020. https://doi.org/10.33884/basisupb.
25. Evin Gencel, I. (2016). The Effect of Portfolio Assessments on Metacognitive Skills and on Attitudes toward a Course, Educational Sciences: Theory & Practice, 17, 293–319. http://dx.doi.org/10.12738/estp.2017.2.0378
26. Margery H. Davisg Gominda G. Ponnamperuma, (2005).Portfolio Assessment, JVME 32(3) 2005 AAVMC.
27. Satish, Ch. (2024). Reading Habits among College Students, Pedagogy of Learning 10(2):11-22DOI: 10.46704/pol.2024.v10i02.002
28. Mahshid Rostami, Ch. Shahrokh, J. Morteza, K.(2012). The Impact of Portfolio Assessment on EFL Learners' Reading Comprehension Ability, English Language Teaching V ol. 5, No. 7; July 2012.
29. Nabella, A. C. R. , Setia, R. (2023) The Effectiveness of Using Genre Based Approach to Enhance Reading Comprehension in Narrative Text for Young Learners, Jurnal Teknologi Pendidikan: Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pembelajaran https://e-journal.undikma.ac.id/index.php/jtp/index
30. -R. Oxford, G.H. Khajavy Javanmard, Y., & Farahani, H. (2012). Investigating Using Portfolio Assessment and Learning English Language in Qom Secondary Schools. Global Journal of Human Social Sciences, 12, 53.
31. Muhammad, A.(2022). THE IMPACT OF GENDER ON LANGUAGE LEARNING MOTIVATION AND ATTITUDES, TRANSTOOL | VOLUME 1 NO. 3 (2022) https://ojs.transpublika.com/index.php/TRANSTOOL E-ISSN: 2828-397X.
32. Osman, B. Adnan, B.(2007). The Use of Portfolio to Assess Students' Performance, Journal of Turkish Science Education.
33. Jhea Mae M. Corpuz, Apple N. Morales, Analyn S. Clarin , Beverly B. Dionio, Joel V. Cocolan.(2024). Students' Vocabulary Skills in Relation to their Reading Comprehension in Language Literature, INTERNATIONAL JOURNAL OF RESEARCH AND INNOVATION IN SOCIAL SCIENCE (IJRISS) ISSN No. 2454-6186 | DOI: 10.47772/IJRISS |Volume VIII.

35.Bin Md Din, AG., Bin Zabidin, M A Z R.., Moawad Ali Tahawi, A R., bin Md Din, O. Aawi, F.(2023). Educational Assessment: Its Types and Outcomes: A Bibliometric Analytical Study, INTERNATIONAL JOURNAL OF ACADEMIC RESEARCH IN BUSINESS AND SOCIAL SCIENCES Vol. 13, No. 11, 2023, E-ISSN: 2222-6990.

35. https://teachlearnlead.net,(2011), What Are Portfolios?
36. Jhea Mae M. Corpuz, Apple N. Morales, Analyn S. Clarin , Beverly B. Dionio, Joel V. Cocolan,(2024), Students' Vocabulary Skills in Relation to their Reading Comprehension in Language Literature, INTERNATIONAL JOURNAL OF RESEARCH AND INNOVATION IN SOCIAL SCIENCE (IJRISS) ISSN No. 2454-6186 | DOI: 10.47772/IJRISS |Volume VIII Issue X October 2024.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Intelligent Stroke Risk Forecasting: A Hybrid Machine Learning and Feature Engineering Approach

Israr Ali Khan[1], Muzamil Ahmed[2], Javeria Ameen[1], Ahmed Abbas[1], Ejaz Ahmed[2*]

[1]*Department of Mathematics, Namal University Mianwali, Pakistan*
[2]*Department of Computer Science, Namal University Mianwali, Pakistan*

[*]*ejaz27263@gmail.com*

Abstract – Stroke is a leading global cause of disability and mortality, demanding early detection and precise risk assessment to improve patient outcomes. However, conventional models used for stroke predictions are less precise and reliable. The aims to develop a robust machine learning framework to enhance stroke prediction by combining advanced preprocessing, feature selection, and classification methods. To improve stroke prediction, preprocessing included statistical data cleaning, and the synthetic minority oversampling technique (SMOTE) to mitigate the class imbalance problem. Secondly, feature selection involves principal component analysis (PCA), genetic algorithm (GA), and forward feature selection (FFS). Finally, A range of machine learning models, comprising of K-Nearest Neighbors, Decision Tree, Naïve Bayes, Logistic Regression, Support Vector Machine (SVM), and Random Forest, were explored, with hyperparameter optimization applied to maximize performance. A novel hybrid model was developed, combining KNN as the base classifier and Random Forest, augmented with GA for feature selection, to achieve superior predictive accuracy. Baseline methods were outperformed while using the proposed model yielding an accuracy of 94%. The results of the feature importance analysis also showed that age, average glucose level, BMI, ID, and work type were the most important predictors of a stroke. These results demonstrate the potential of hybrid machine learning approaches in advancing stroke prediction and provide a foundation for more targeted and effective intervention strategies.

Keywords – Feature Selection, Genetic Algorithm, Imbalance Data Handling, Stroke Prediction, Machine Learning

I. INTRODUCTION

A medical disorder known as stroke affects the arteries that provide blood to the brain. A blood vessel that feeds and oxygenates the brain might burst (or rupture) or get clogged with a clot to cause a stroke. When that happens, the brain loses some of the blood and oxygen it needs, which causes part of it to die[1]. Stroke mortality is extremely high. According to the World Health Organization (WHO), worldwide, fifteen million individuals get a stroke every year. Five million of them pass away, and the remaining five million are left permanently crippled, imposing a grave burden on families and communities. However, the total number of strokes still goes up because our population is getting older [2]. Strokes mostly come in two varieties. Ischemic stroke is the kind that makes up around 87% of all strokes, making it the most prevalent form. It happens when a blood clot obstructs a blood vessel that supplies the brain with oxygen, leading to the death of brain tissue. Stroke haemorrhagic occurs when a brain artery that is weak bursts, allowing blood to seep into the surrounding brain tissue. Compared to ischemic strokes, haemorrhagic strokes are less frequent but frequently more severe [3].

Integrating technology with the area of medicine has seen incredible advancements [4]. Stroke is a serious medical illness that needs immediate treatment. Machine learning (ML) has the potential to increase the accuracy of stroke prediction. Different Algorithms have been implemented to predict stroke [5]. Thus, we are using different ML algorithms and optimization techniques for stroke prediction.

In this study, the predictive model will be built using a dataset of patients. We used different feature engineering techniques such as Feature Forward Selection (FFS), Principal Component Analysis (PCA), and Genetic Algorithm (GA). For handling large and complex datasets, model optimization, and feature selection, GA can be the best choice. Subsequently, we applied classification Algorithms (K-nearest Neighbour, Naive Bayes classifier, Random Forest, logistic regression Decision Tree, and Support Vector Machine) to predict strokes.

The goal of this study is to compare various methodologies for feature engineering and hyperparameter tweaking. We can learn a great deal about how these methods affect the final model's performance by comparing accuracy, F1-score, and other assessment metrics across various model configurations. The accuracy of the ensemble approach in forecasting various illnesses make it a popular choice for medical applications [6]. A few studies have been done on using the GA for feature selection [7]. The features chosen by GA are then used to train the Random Forest classifier, which generates the final predictions. The key contribution of this study are as follows:

- Applied data preprocessing techniques along with statistical SMOTE to resolve class imbalance issue.
- Identification of key stroke predictions, involve feature selection techniques such as PCA, GA and FFS techniques.
- Developed a hybrid model integrating KNN for initial predictions, GA) for feature selection, and Random Forest for final predictions.
- Applied extensive hyperparameter tuning across classifiers to optimize performance metrics such as accuracy, F1-score, precision, and recall, demonstrating the importance of optimization in medical prediction models.

The remainder of the study is organized as follows: Related Work discusses the existing studies on stroke prediction. Proposed Research Methodology presents feature selection techniques and detailed description of machine learning models. Moreover, results and discussion on extensive empirical analysis are presented in Result and Discussion. Finally, the conclusion and future work is described in Conclusion.

II. Related Work

Deepa D, G Saketh Reddy looked at predicting the risk of stroke using machine learning. After comparing many algorithms, they discovered that Random Forest worked the best, assessing patient data with an accuracy of about 86%. This technique may be a more dependable means of determining stroke risk, as seen by the increased accuracy compared to earlier research [8]. Using data from Kaggle, Samaa A. Mostafa, and Doaa S. Elzanfaly [9] built their prediction model. SMOTE was employed as a method of data balance. Following pre-processing of the data, the training set included KNN, RF, Naive Bays, SVM, and logistic regression. In the stacking approach, RF was employed as a meta-learner. Several machine learning techniques, such as SVM, LASSO, DT, RF, NN, ElectricNet, and CNN models for stroke prediction, were created by Soumyabrata Dev and Hewei Wang [10].To create a predictive model for stroke prediction, [11] employed machine learning techniques such as a Support Vector Machine, Decision Tree, and Random Forest. The Random Forest classifier demonstrated the highest accuracy of 85.30% when the prediction model was assessed using the confusion matrix. There is criticism directed at them for not focusing on the type of data and other pre-processing tasks. Tazin built a stroke prediction model [12]. He used machine learning methods such as voting classifiers, random forest, decision tree, and logistic regression. Utilizing a confusion matrix, the classifiers are assessed. Random forest yields the best accuracy of any classifier, 86%.

Six machine learning classifiers—Logistic regression, Decision tree, Random Forest, K-nearest neighbors, Support vector machine, and Nave Bayes—were used by Sailasya and Kumari [13] to train their prediction model for stroke. They used the F1 score, recall, accuracy, and precision to obtain the total performance. When compared to the other classifiers in use, the Nave Bayes classifier has the best accuracy, at 82%, according to the results. A prediction model for brain strokes was reported by Nwosu et al. [14] employing a variety of machine-learning classifiers. Three classifiers were used in the

construction of the prediction model: Random Forest, Decision Tree, and Neural Network (multi-layer perception).

Utilizing the NHIRD dataset in [15]. From 7932 features, they used the Gradient Boosting Decision Tree to identify 2007 features. Their findings showed that, when compared to other machine learning algorithms, the neural network combined with GBDT was the most effective model. Singh and Choudary [16] constructed a neural network for stroke prediction using data from the cardiovascular health study (CHS). Principal Component Analysis (PCA) was used to choose the best features and reduce the dimensionality of the data; a decision tree technique was then used to select the most pertinent characteristics. They employed enough examples to create the prediction model to guarantee the correctness of the outcomes. Olamilekan Shobayo, and Oluwafemi Zachariah [17] constructed an efficient model for stroke prediction using Decision Tree (DC), Logistic Regression (LR), and Random Forest (RF). Class balance was achieved by using the SMOTE resampling technique. The model that performed the best was Random Forest, with an accuracy of 84%. Their failure to address feature selection and data pre-processing is a limitation.

A stroke prediction model was created by Jeena and Kumar [18] that estimates the likelihood of having a stroke based on several risk variables. Model's age, visual impairment, gait issues, atrial fibrillation, etc. Support vector machine classification was used to build predictive models employing a variety of kernel functions, including polynomial, quadratic, RBF, and linear. With 91% accuracy, the linear kernel function was the most accurate. The primary disadvantage in this scenario is that the 350 examples in the database are not sufficiently large to increase the reliability of the prediction findings. Decision Trees (DT), Naive Bayes (NB), and neural networks (NN) were compared by Kansadub [19].

III. PROPOSED RESEARCH METHODOLOGY

Fig. 1 presents an overview of the framework of proposed methodology for stroke prediction. The proposed model predicts whether an individual is affected by stroke or not based on many factors such as age, gender, glucose level, heart disease, BMI, etc.

Different algorithms such as K- Nearest Neighbors (KNN), Naive Base, Decision Tree (DT), Random Forest (RF), Logistic Regression (LR), and Support Vector Machine (SVM) were designed as shown in Fig. 1. Moreover, some hyper-parameter tuning techniques such as Grid Search and Random Search were

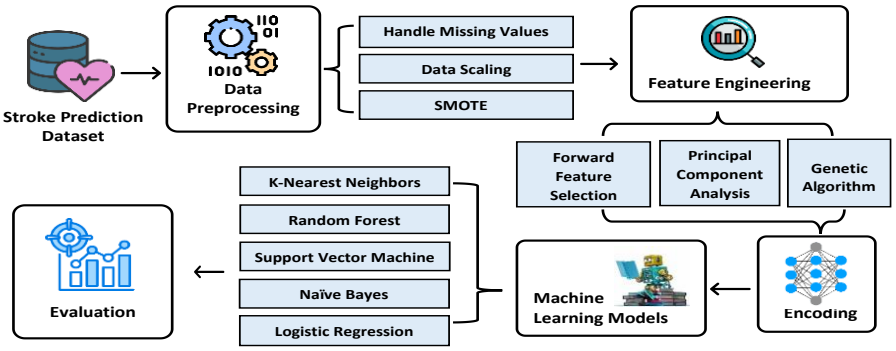


Fig. 1: Overview of Stroke Prediction Framework

applied to find the best parameter for each algorithm which helped us to improve the accuracy of the model. To provide a realistic evaluation, the accuracy, precision, recall, and F1 score of the suggested prediction model were measured.

A. *Data Preprocessing*

Data pre-processing is a crucial step for the development of machine learning models. In this study we applied diverse methods including:

- Imputing missing values
- Conversion of categorical data into numeric values
- Data scaling and balancing
- Outlier removal in data preprocessing phase.

The utilized dataset for empirical analysis contained 201 missing values in the “BMI” feature. Since the data in BMI feature has continuous values, we replaced the missing values with the arithmetic mean of the other values. Many observations exist for one class but an abnormally small number for the other class. Given that class "0" (the number of patients without a stroke) surpasses class "1" (the number of patients with a stroke) in the dataset, the target class of stroke is unbalanced. As shown in Fig. 2 (a), the overall number of cases for classes "0" and "1" is 4861 (about 4.9%) and 249 (almost 95.1%), respectively.

The SMOTE technique is a modified type of oversampling in which neighbour instances are randomly chosen to build a synthetic instance rather than simply replicating the records in the minority class because it won't offer any new information. Following its application, the dataset was balanced, with the number of 0 equals 1 occurrence in the target class as shown in Figure 2 (b). Outliers are data points that significantly deviate from the rest of the dataset; as a result, models may be ill-trained and have limited predictive potential.

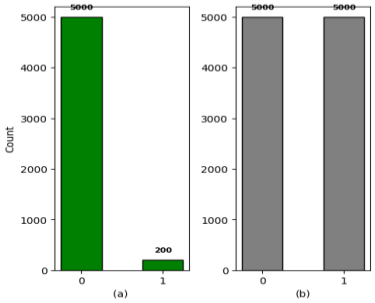


Fig. 2: Storke Prediction Dataset class distribution (a) before and (b) after Synthetic Minority Oversampling

B. *Feature Engineering*

This section provides a brief detail about applied feature selection techniques to identify the key factor that significantly contributes to prediction of stroke classes. Correlation shows how many attributes are related to each other. Correlation coefficient is denoted as r, is calculated using equation (1).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x}).(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

Where x_i and y_i are individual data points, and $\bar{x}$, $\bar{y}$ are the means of the attributes X and Y, respectively. The value of correlation lies between -1 to +1. The value tends to +1 which is highly positively correlated while tends to zero showing that there is no relationship between features while the correlation tends to -1 showing a highly negative correlation as shown in Fig. 3.

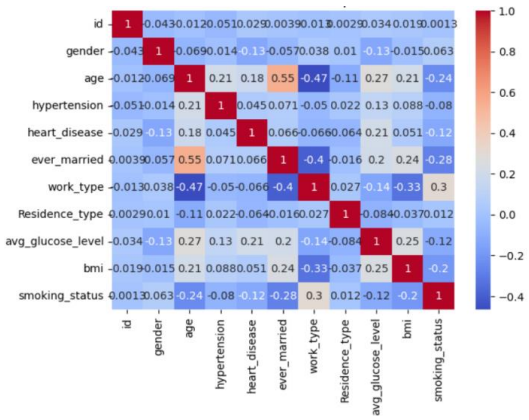


Fig. 3: Correlation Heatmap for Stroke Prediction Features

A popular dimensionality reduction method in machine learning is principal component analysis (PCA), which attempts to convert high-dimensional data into a lower-dimensional space while

maintaining the most crucial information. This is accomplished by first normalizing the data and then figuring out the covariance matrix to find patterns in the correlations between the attributes which are computed using equation (2).

$$C = \begin{bmatrix} cov(X,X) & cov(X,Y) \\ cov(Y,X) & cov(Y,Y) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Moreover, cov(X, X) is further calculated using equation (3):

$$cov(X,Y) = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x}).(y_i - \bar{y}) \quad (3)$$

The eigenvalues of C are roots of the characteristic equation $\det(C - \lambda I) = 0$, where λ represents the eigenvalues and I is the identity matrix. Eigenvalues indicate the amount of variance captured by their corresponding eigenvectors, which define the directions of greatest variation in the data. Explaining the largest part of the total variance, which equates to 23.45%, is the first principal component, while the second principal component contributes a proportion of 10.91% with all other components having less proportions. However, there are a total of 11 features and 8 out of 11 show most of the variance of data as shown in Fig. 4.

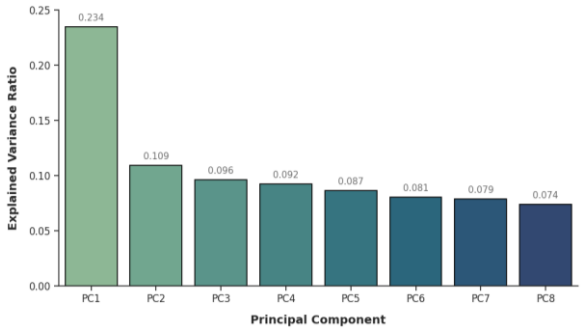


Fig. 4: Explained variance by principal component analysis for stroke prediction

Firstly, with KNN the features id, gender, age, work type, residential status, average glucose level, BMI and smoking status by achieving an accuracy of 0.9160. However, using RF, features id, gender, age, hypertension, average glucose level, heart disease, BMI and ever married are chosen, reaching 0.8178 accuracy. A control test with random feature selection using KNN yielded id, average glucose level, and work type, a significantly lower accuracy of 0.5134. The KNN model with forward-selected features outperformed both RF and random selection, highlighting the importance of proper feature selection. An optimization method known as a genetic algorithm, which is based on natural selection, involves the evolution of a population of possible solutions that are rated according to a fitness function calculated using equation (4).

$$f(S_i) = \delta\,(S_i) \quad (4)$$

Where S_i represents the feature set and δ denotes the performance of model such as accuracy, precision and recall. Moreover, crossover concatenates two parent solutions to create offspring: $S_c = \left[a_1^p, a_2^q, \ldots, a_M^p\right]$ (5)

Where a_1^p and a_2^q are genes from parents q. By introducing variation, experimenting with the solution space, and randomly modifying portions of a solution, the best solutions are chosen to generate the next generation. This cycle is repeated until the desired outcome is achieved or a predefined number of iterations is reached. Gas grows a population of feature subsets for feature selection in machine learning, whereby model performance measures such as accuracy are assessed.

C. *Machine Learning Models*

1. K-nearest neighbors

KNN's fundamental principle is to classify data points that fall into the same category and are close to one another. It uses a similar metric to categorize the new data point. When a data point needs to be classed, it employs the Euclidean distance to find the closest neighbor class. The Euclidean distance between two points $x = (x_1, x_2 \ldots, x_n)$ and $y = (y_1, y_2, \ldots, y_n)$ in an n-dimensional space is calculated using equation (6):

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_i - y_i)^2} \quad (6)$$

The k data points with the smallest Euclidean distances to the input data point x is selected as the nearest neighbors. The input data point is labeled based on the most frequent label among its closest neighbors. Most importantly, to avoid ties, it's best to choose an odd number for k, so that one class label always has a clear majority.

2. Gaussian Naive Bayes

The Gaussian Naive Bayes algorithm is based on the Bayes theorem. Bayes' theorem is to find the probability of an event given the probability of another event that has already occurred before. Naive Bayes is a probabilistic classifier based on Bayes theorem. Let's denote the features as X = $\{(x_1, x_2, \ldots, x_n)\}$ and the target variable as Y. The goal is to find the probability of Y given X, P(Y|X). The probability is computed using equation (7).

$$P(Y|X) = \frac{P(X|Y) \times P(Y)}{P(X)} \quad (7)$$

The Naive Bayes classifier assumes that the features we use to predict the target are independent and do not affect each other. It calculates the probability of each class and then picks the one with the highest probability.

3. Decision Tree

A tree-like decision model is produced by recursively dividing the data into subsets according to feature values that best distinguish between the classes or forecast the desired value. Factors such as entropy and information gain are used in the process of deciding which feature to split. Entropy and information gain is calculated using equation (7) and equation (8) respectively.

$$\text{Entropy} = -\sum_{i=1}^{n} p_i \log(p_i) \quad (7)$$

$$\text{Gini Impurity} = 1 - \sum(p_i)^2 \quad (8)$$

where p_i is the proportion of each class in the dataset D and information gain (IG) using Entropy can be calculated as equation (9):

$$IG = E(D) - \sum\left(\frac{D_j}{D}\right) \times E(D_j)\ ) \quad (9)$$

This process is repeated recursively, until a stopping criterion is met, such as all instances belonging to the same class or reaching a predefined tree depth. Finally, class labels are assigned to leaf nodes based on the majority class of the instances they contain.

4. Random Forest

To enhance prediction accuracy and manage overfitting, Random Forest (RF) follows an ensemble learning technique by constructing several decision trees during training and combines their output. Every tree in the forest receives training on a random subset of data, and it considers a random subset of features at every split. In regression, the final prediction is the average of the predictions made by each tree, but in classification, it is the mode of the classes that each tree predicted. By preventing overfitting, this technique improves the accuracy of the model.

5. Logistic Regression

Logistic regression predicts probability of a binary outcome ($y \in \{0,1\}$) based on input features. It uses a logistic function (sigmoid function) that maps the probability values between 0 and 1 that's why it is called "logistic" regression. The sigmoid function is represented in equation (10):

$$\sigma(z) = \frac{1}{1+e^{-z}} \quad (10)$$

Where z is the linear combination of input features and parameters. The predicted class is determined $\hat{y}$ by equation (11):

$$\hat{y} = \begin{cases} 1, & if\ \sigma(z) \geq 0.5 \\ 0, & if\ \sigma(z) < 0.5 \end{cases} \quad (11)$$

Moreover, to optimize the parameters, logistic regression uses the loss function computed using equation (12):

$$L(\theta) = -\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} y_i \log(\hat{y}_i) + (1 - y_i)\log(1 - \hat{y}_i) \quad (12)$$

It measures how accurate the predicted probabilities are compared to the true labels. The parameters are updated iteratively to minimize loss function. The Gradient Descent algorithm is used for this purpose which is calculated using equations (13).

$$\theta^{n+1} = \theta^n - \alpha \frac{\partial L(\theta)}{\partial \theta} \quad (13)$$

Where α is the learning rate.

6. Support Vector Machine

Support vector machine's algorithm's primary goal is to create the optimal line that can best separate the different classes, so it can easily label the new data point in the correct class. The best line or decision boundary is called a hyperplane. SVM is used to find hyperplane $w^T x + b = 0$ that aims to maximize the margin between the two classes. The margin shows the distance between the hyperplanes computed as equation (14).

$$\text{Margin} = \frac{2}{||\mathbf{w}||} \quad (14)$$

The decision function is calculated using (15):

$$f(x) = \text{sign}(w^T x + b) \quad (15)$$

To maximize the margin, minimize $\frac{||\mathbf{w}||^2}{\mathbf{2}}$, while ensuring all points are correctly classified.

7. Hybrid Model

The GA is employed to optimize feature selection. It begins by initializing a population of individuals, each representing a potential subset of features. The fitness of everyone is evaluated by training a KNN model on the selected features and measuring its accuracy on the test set. GA iteratively evolves the population through selection, crossover, and mutation operations to identify the subset of features that maximize the model's performance. The final hybrid model combines the simplicity and interpretability of KNN with the ensemble power of Random Forest, resulting in improved accuracy and reliability in predictions.

IV. Results and Discussion

A. *Dataset*

In this study we used stroke prediction dataset sourced from Kaggle. The dataset consists of 5110 patient records with 11 features again stroke prediction. Each patient record contains unique id, gender, age, hypertension, heart disease, marital status, work type, residential area, average glucose level, body mass index and smoking status. Features such as gender, hypertension, heart disease, marital status, residential area are binary, however, others contain numeric data and categorical data as well. The detailed statistics of the dataset are as follows in Table 1.

Table 1: Statistics of Stoke Prediction Dataset

Attribute	Value
Total Records	5110
Features	11
Gender	Female: 59%, Male: 41%

Age	Numeric (Max: 82)
Marital Status	Married: 66%, Unmarried: 34%
Work Type	Private: 57%, Self-employed: 16%, Other: 27%
Residential Area	Urban: 51%, Rural: 49%
Smoking Status	Never Smoked: 37%, Unknown: 30%, Other: 33%

B. *Experimental Results*

1. Hyperparameter Tuning

It tries many iterations of the parameter values to determine which ones maximize the prediction model's accuracy. In the study, the optimal classifier parameters were determined through the application of the grid search technique as shown in Table 2.

Table 2: Hyperparameter setting of machine learning model for optimal results

Model	Hyperparameters	Initial Acc %	Optimal Acc %
K-Nearest neighbors	- Neighbors: 1 - Weights: Uniform	87.96	92.30
Decision Tree	- Max Depth: 10 - Criterion: Gini - Min Samples Leaf: 2 - Min Split: 5 - Random State: 42	81.08	84.10
Random Forest	-Estimators: 1000 - Max Depth: 150 - Random State: 42	89.30	93.00
Logistic Regression	- C: 1 - Penalty: L2 - Solver: Liblinear	80.50	81.31
Support Vector Machine	- C: 1000 - Kernel: RBF - Degree: 1	80.93	91.80

The accuracy is increased by using hyperparameter tuning.

2. Effect of PCA Feature Selection

Table 3 shows that the model is suitable without using PCA because all features are important. There is no measurable effect on Computation cost by using PCA. The following table will present the analysis before and after using PCA.

Table 3: Effect of PCA for Stroke Prediction using diverse machine learning models

Model	Accuracy with PCA	Accuracy without PCA
KNN	84.98	92.32
Naïve Bayes	70.07	87.97
Decision Tree	79.25	83.94
Random Forest	90.84	91.83
Logistic Regression	72.23	80.46
SVM	88.39	89.82

3. Effect of SMOTE

The difference in model accuracy comparing data balances with and without the SMOTE approach is displayed in the following Table 4. According to the table the hybrid approach attained up to 94% accuracy with SMOTE technique.

Table 4: Effect of SMOTE data balancing technique with machine learning models

Algorithms	Accuracy (%) without SMOTE	Accuracy (%) with SMOTE
KNN	92.32	94.13
Random Forest	91.82	94.19
Naïve Bayes	86.04	87.96
Logistic Regression	80.45	85.03
Support Vector Machine	89.81	91.45
Hybrid Model	90.20	94.51

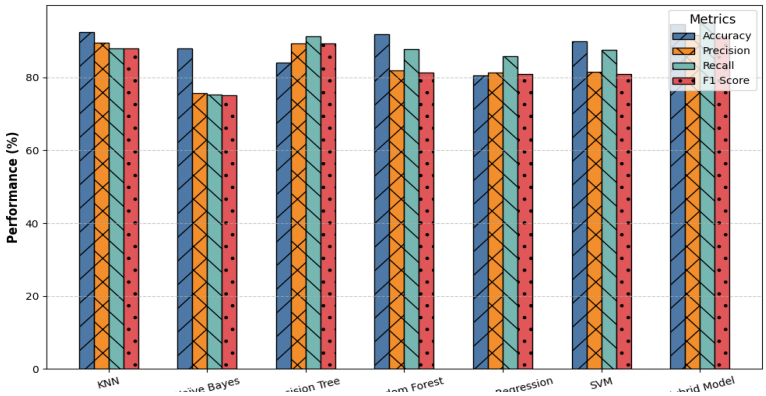


Fig 5: Comparison of diverse machine learning model with proposed hybrid approach for stroke prediction

4. Comparatively Analysis

The following Table 5 and fig. 5 show the comparative analysis of different algorithms based on accuracy, precision, F1 score, and recall. Age has a high contribution in having a stroke, average glucose level then BMI then work type then smoking status then ever married and so on. The following graph, as shown in Fig. 10, shows the contribution of different features in stroke prediction. The following stages have been included in the prediction model procedures: data preparation, in which problems with the dataset are resolved by applying different methods, including averaging the columns, data scaling to align the data values, Smote approach to balance this medical dataset, Label Encoder to transform categorical characteristics into numerical features, and for filling in missing values.

Table 5: Comparative analysis of diverse ML algorithms based on accuracy, precision, F1 score, and recall

Algorithm	Accuracy %	Precision %	Recal %	F1 Score %
KNN	92.32	89.43	87.95	87.85
Naïve Bayes	87.97	75.66	75.17	75.06
Decision Tree	83.94	89.36	91.23	89.29
Random Forest	91.83	81.84	87.73	81.23
Logistic Regression	80.46	81.22	85.75	80.89
SVM	89.82	81.49	87.6	80.85
Hybrid Model	94.51	91.56	95.06	91.31

Level one of the hybrid models is made up of K-Nearest Neighbors, while level two is mostly made up of the Random Forest classifier, which creates the final prediction using the characteristics that have been chosen. It achieved the highest accuracy result of almost 94%, proving the hybrid model's effectiveness.

V. CONCLUSION

Learning techniques focusing on the effects of feature importance, class imbalance handling, hyperparameter adjustment, and dimensionality reduction.

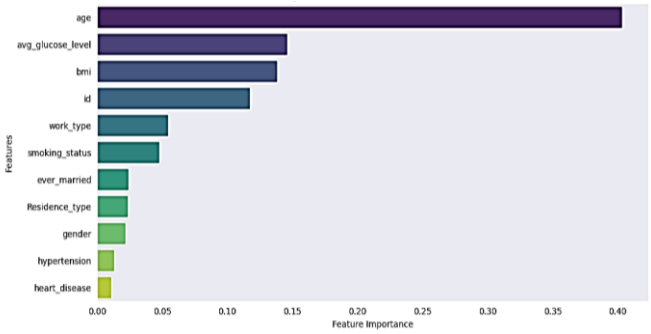


Fig. 6: Importance of features which are highly responsible for stroke

The performance of the KNN, Random Forest, and SVM models was much enhanced by hyperparameter adjustment, underscoring its significance. In terms of all assessment measures, the hybrid model performed the best overall for both the positive (stroke) and negative (no stroke) classes. Age was the most significant predictor for stroke prediction, followed by average blood sugar, BMI, kind of job, smoking status, and marital status, according to feature significance analysis. Future research should examine how well the hybrid model performs in comparison to more sophisticated ensemble techniques and how feature engineering affects the model's overall efficacy. Furthermore, examining the hybrid model's interpretability may provide an important new light on the logic underlying its predictions.

REFERENCES

[1] R. Miao *et al.*, "An Integrated Multi-omics prediction model for stroke recurrence based on Lnet transformer layer and dynamic weighting mechanism," *Comput Biol Med*, vol. 179, p. 108823, Sep. 2024, doi: 10.1016/J.COMPBIOMED.2024.108823.

[2] W. Zou *et al.*, "Risk factors and prediction model for acute ischemic stroke after off-pump coronary artery bypass grafting based on Bayesian network," *BMC Med Inform Decis Mak*, vol. 24, no. 1, pp. 1–12, Dec. 2024, doi: 10.1186/S12911-024-02762-2/TABLES/4.

[3] B. Zhao, R. Song, X. Guo, and L. Yu, "Bridging Interpretability and Performance: Enhanced Machine Learning-Based Prediction of Hematoma Expansion Post-Stroke via Comprehensive Feature Selection," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 1688–1699, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3348244.

[4] H. Bhatt *et al.*, "Artificial neural network-driven federated learning for heart stroke prediction in healthcare 4.0 underlying 5G," *Concurr Comput*, vol. 36, no. 3, p. e7911, Feb. 2024, doi: 10.1002/CPE.7911.

[5] G. Sivapalan, K. K. Nundy, S. Dev, B. Cardiff, and D. John, "ANNet: A Lightweight Neural Network for ECG Anomaly Detection in IoT Edge Sensors," *IEEE Trans Biomed Circuits Syst*, vol. 16, no. 1, pp. 24–35, Feb. 2022, doi: 10.1109/TBCAS.2021.3137646.

[6] K. Shilpa and T. Adilakshmi, "Applying Ensemble Techniques of Machine Learning to Predict Heart Disease," *Cognitive Science and Technology*, pp. 775–783, 2022, doi: 10.1007/978-981-19-2350-0_73.

[7] A. K. Chaudhuri, Prof. D. K. Banerjee, and Dr. Anirban Das, "Selection of Variables in Logistic Regression Model with Genetic Algorithm for Stroke Prediction," *IARJSET*, vol. 8, no. 8, Aug. 2021, doi: 10.17148/IARJSET.2021.8817.

[8] T. I. Shoily, T. Islam, S. Jannat, S. A. Tanna, T. M. Alif, and R. R. Ema, "Detection of Stroke Disease using Machine Learning Algorithms," *2019 10th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies, ICCCNT 2019*, Jul. 2019, doi: 10.1109/ICCCNT45670.2019.8944689.

[9] S. A. Mostafa, D. S. Elzanfaly, and A. E. Yakoub, “A Machine Learning Ensemble Classifier for Prediction of Brain Strokes,” *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 13, no. 12, pp. 258–266, 2022, doi: 10.14569/IJACSA.2022.0131232.

[10] S. Dev, H. Wang, C. S. Nwosu, N. Jain, B. Veeravalli, and D. John, “A predictive analytics approach for stroke prediction using machine learning and neural networks,” *Healthcare Analytics*, vol. 2, p. 100032, Nov. 2022, doi: 10.1016/J.HEALTH.2022.100032.

[11] B. Akter, A. Rajbongshi, S. Sazzad, R. Shakil, J. Biswas, and U. Sara, “A Machine Learning Approach to Detect the Brain Stroke Disease,” *Proceedings - 4th International Conference on Smart Systems and Inventive Technology, ICSSIT 2022*, pp. 897–901, 2022, doi: 10.1109/ICSSIT53264.2022.9716345.

[12] T. Tazin, M. N. Alam, N. N. Dola, M. S. Bari, S. Bourouis, and M. M. Khan, “Stroke disease detection and prediction using robust learning approaches,” *Wiley Online LibraryT Tazin, MN Alam, NN Dola, MS Bari, S Bourouis, M Monirujjaman KhanJournal of healthcare engineering, 2021•Wiley Online Library*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/7633381.

[13] T. Haritha, A. B.-N. C. and Applications, and undefined 2024, “Early-stage stroke prediction based on Parkinson and wrinkles using deep learning,” *SpringerT Haritha, AVS BabuNeural Computing and Applications, 2024•Springer*, Oct. 2024, doi: 10.1007/s00521-024-10189-z.

[14] C. S. Nwosu, S. Dev, P. Bhardwaj, B. Veeravalli, and D. John, “Predicting Stroke from Electronic Health Records,” in *2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 2019, pp. 5704–5707. doi: 10.1109/EMBC.2019.8857234.

[15] C.-Y. Hung, W.-C. Chen, P.-T. Lai, C.-H. Lin, and C.-C. Lee, “Comparing deep neural network and other machine learning algorithms for stroke prediction in a large-scale population-based electronic medical claims database,” in *2017 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 2017, pp. 3110–3113. doi: 10.1109/EMBC.2017.8037515.

[16] M. S. Islam, I. Hussain, M. M. Rahman, S. J. Park, and M. A. Hossain, “Explainable Artificial Intelligence Model for Stroke Prediction Using EEG Signal,” *Sensors*, vol. 22, no. 24, 2022, doi: 10.3390/s22249859.

[17] O. Shobayo, O. Zachariah, M. O. Odusami, and B. Ogunleye, “Prediction of Stroke Disease with Demographic and Behavioural Data Using Random Forest Algorithm,” *Analytics*, vol. 2, no. 3, pp. 604–617, 2023, doi: 10.3390/analytics2030034.

[18] R. S. Jeena and S. Kumar, “Stroke prediction using SVM,” in *2016 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT)*, 2016, pp. 600–602. doi: 10.1109/ICCICCT.2016.7988020.

[19] T. Kansadub, S. Thammaboosadee, S. Kiattisin, and C. Jalayondeja, “Stroke risk prediction model based on demographic data,” *2015 8th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON)*, pp. 1–3, 2015, [Online]. Available: https://api.semanticscholar.org/CorpusID:27089732

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

A Theoretical Analysis of Solar Still Performance under Varying Temperature and Solar Radiation Conditions: Energy and Exergy Efficiencies

Fethi Ahmet Çakmak[1*] , Fatih Selimefendigil[2]

[*1] *Soma Vocational School, Celal Bayar University, Manisa, Turkey*
[2] *Department of Mechanical Engineering, Celal Bayar University, 45140 Manisa, Turkey*

[*] *(fethi.cakmak@cbu.edu.tr) Email of the corresponding author*

Abstract – Solar stills are an efficient method for regions that have difficulty in accessing clean water today. It is based on the principle of evaporating and condensing water thanks to solar energy. Since solar energy is accessible to everyone and is a renewable energy source, these stills are frequently used. In our study, the total amount of water distilled daily from solar stills for the temperature and solar radiation conditions of two different cities in Turkey and the daily average energy and exergy efficiencies were calculated theoretically and compared. For this purpose, the July temperature and solar radiation values of Elazig and Manisa cities located in different regions of Turkey were used. When the results are examined, the daily total amount of water distilled and the daily average energy and exergy efficiencies for Elazig province were 1.3153 kg, 18.55%, 2.25%, respectively. For Manisa province, the daily total amount of water distilled and the daily average energy and exergy efficiencies were 1.282 kg, 14.86%, 1.82%, respectively. The study showed that changes in solar radiation and temperature affected the distiller performance.

Keywords – energy efficiency, solar still, heat transfer, energy, exergy

I. INTRODUCTION

Today, access to clean water is of vital importance for some parts of the world. Approximately 97% of the world's water resources are not considered usable water resources [1]. Only a small part of the remaining part is usable water resources [2,3]. Therefore, distilling dirty or salty water will contribute to the solution of this issue. There are many ways to distill water. Solar stills have the simplest design and are the most economical among stills [4]. In addition, since solar energy is a renewable and clean energy source, environmental problems caused by other distillation methods are not experienced in solar stills [5]. Solar stills consist of a distillation water basin, a condenser surface and environmental equipment. These stills work on the principle of evaporation of water heated by solar energy and condensation of the vapors hitting the condenser surface and the accumulation of this condensed water [6–8]. With traditional solar stills, it is possible to distill 2-5 liters of water per day [9]. Although this amount is insufficient to fully meet daily needs, it is a promising method for accessing clean water. Many studies have been conducted to increase the efficiency of solar stills. Passive methods such as changing the base geometry, color and material [10–12], insulating the base and the surroundings of the still [13–15], using nanofluid as the still fluid [16–18], and adjusting the water depth [19,20] can be used. In this way, it is possible to distill more water. In addition, efficiency can be increased by using active methods with systems added externally to the still systems. With active methods, water temperature can be preheated with external systems and can be supplemented with external systems in order to maintain the water temperature.

II. MATERIALS AND METHOD

In our study, the daily total water amount that can be obtained from the stills and the daily average energy and exergy efficiencies for the temperature and solar radiation values of the cities of Elazig and Manisa in two different regions in Turkey were calculated theoretically. For this purpose, a single-slope solar still model with a base area of 1x1 square meters and a height of 50 cm was used in the analyses. Thanks to our study, the performance of the same-sized solar still for two cities in two different regions was examined. The most important factor affecting the efficiency in solar stills is the degree of solar energy[21]. In addition, another factor affecting the efficiency of the still is the depth of the water in the still. When the studies conducted on this subject were examined, it was seen that the efficiency increased as the water depth decreased. In our study, the water depth was used as 3 cm in the calculations. With this study, the effect of different temperature and solar radiation values on the still performance could be examined. Table 1 and Table 2 show the July temperature and solar radiation values for Elazig and Manisa provinces, respectively.

Table 1. Elazig province July ambient temperature and radiation values [22]

Time	**I (W/m^2)**	**T_a (ºC)**
09:00	560	35
10:00	750	38.5
11:00	910	36
12:00	990	38.5
13:00	980	37.5
14:00	900	38
15:00	740	35
16:00	520	38.5

Table 2. Ambient temperature and radiation values for July in Manisa province [23]

Time	**I (W/m^2)**	**T_a (ºC)**
09:00	770	28
10:00	830	29,5
11:00	885	31
12:00	930	32
13:00	955	32,2
14:00	930	32
15:00	900	31,8
16:00	850	30

In this study, the daily distilled water amount and daily average energy and exergy efficiency values were calculated theoretically.

The total amount of water distilled per day can be calculated by the following equation [24].

$$\dot{m_e} = \frac{h_{e,w-g}(T_s - T_c)}{L_v} * 3600 \quad (1)$$

Here $h_{e,w\text{-}g}$ is the evaporation heat transfer coefficient between water and glass cover. Ts and Tc are the water and glass temperatures, respectively. Lv (J/kg) is the latent heat of water and is obtained from the following equations [25].

$$L_v = 3.1625 * 10^6[1 - (7.616 * 10^{-4} * T_w)] \quad for\ T_w > 70^oC \tag{2}$$

$$L_v = 2.4935 * 10^6[1 - (9.4779 * 10^{-4} * T_w + 1.3132 * 10^{-7} * (T_w)^2 - 4.7974 * 10^{-3} * (T_w)^3)] \quad for\ T_w < 70^oC \tag{3}$$

Energy efficiency is expressed by the following equation [26].

$$\eta = \left[\frac{m_e * Lv}{It * A * 3600}\right] \tag{4}$$

Exergy efficiency can be expressed by the following equation [26].

$$\eta_{EX} = \frac{Exergy\ output\ of\ solar\ still}{Exergy\ input\ of\ solar\ still} = \frac{E_{x_{evap}}}{E_{x_{input}}} \tag{5}$$

$$E_{xout} = \left[\frac{m_e L_v}{3600}\right] * \left(1 - \left(\frac{T_a}{T_W}\right)\right) \tag{6}$$

$$E_{xinput} = A * I_t * \left[1 - \left(\frac{4}{3}\right) * \left(\frac{T_a}{6000}\right)\right] + \left(\frac{1}{3}\right) * \left(\frac{T_a}{6000}\right)^4 \tag{7}$$

III. RESULTS AND DISCUSSION

As a result of theoretical calculations, the total amount of water distilled per day was calculated separately for Elazig and Manisa cities. Calculations were made for the values between 09:00 and 16:00 in the morning. Figure 1 shows the total amount of water distilled per day for the two cities. While this value was 1.3153 kg for Elazig city, it was 1.282 kg for Manisa city. When calculating the amount of water distilled, the values that affected the values the most were the temperature and radiation values, which were higher in Elazig city, resulting in more water distillation.

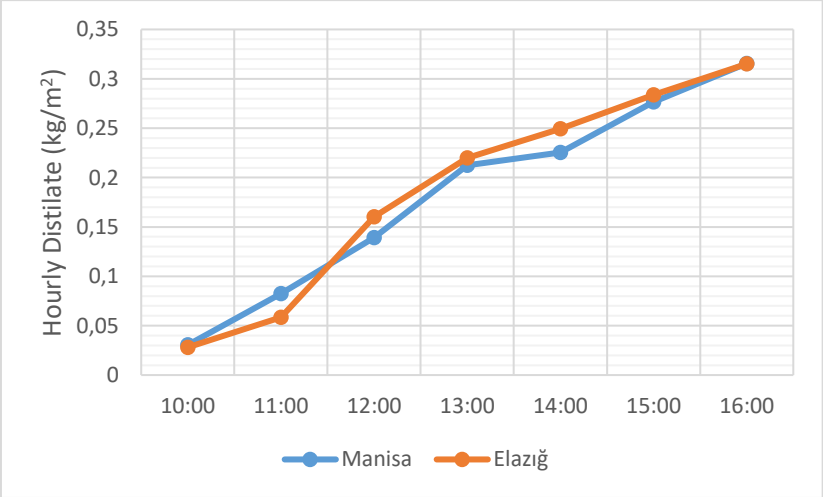


Figure 1. Daily total distilled water amount graph

Figure 2 shows the daily average energy efficiency values obtained for the two cities. When the calculated values are examined, the daily average energy efficiency for Elazig city was 18.55%, while it was 14.86% for Manisa city. When calculating energy efficiency, the amount of distilled water is multiplied by the latent heat of water and divided by the solar radiation value. The reason why the energy efficiency of Elazig city is higher is that the radiation value is lower than that of Manisa city in the last hours when the calculations are made.

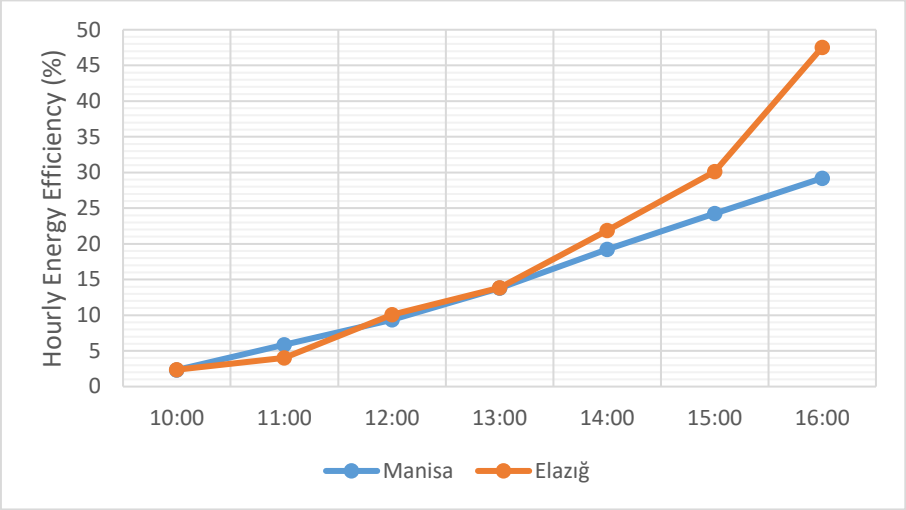


Figure 2. Daily average energy efficiency graph

The daily average exergy efficiency values obtained for two cities are shown in Figure 3. When the calculated values are examined, the daily average exergy efficiency for Elazig city was 2.25%, while it was 1.82% for Manisa city.

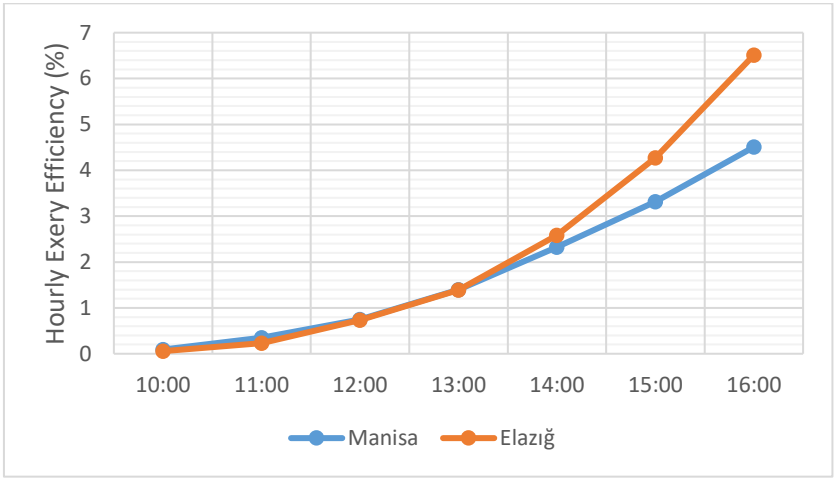


Figure 3. Daily average exergy efficiency graph

IV. CONCLUSION

In our study, the performance of solar stills for July temperature and solar radiation values of two different cities in Turkey was theoretically calculated. The biggest factor affecting the efficiency of solar stills is the intensity of sunlight. When the results are examined, it is seen that the higher temperature and solar radiation values in Elazig province indicate that more water is distilled. The numerical results obtained as a result of the study are presented below.

1. When the total amount of water distilled per day is examined, it is calculated as 1.3153 kg and 1.282 kg for Elazig and Manisa cities, respectively.

2. When the daily average exergy efficiency values are examined, it is calculated as 2.25% and 1.82% for Elazig and Manisa cities, respectively.

3. 2. When the daily average energy efficiency values are examined, it is calculated as 18.55% and 14.86% for Elazig and Manisa cities, respectively.

REFERENCES

[1] Amiri H. Enhancing the stepped solar still performance using a built-in passive condenser. Solar Energy 2022;248:88–102. https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.11.006.

[2] Panchal H, Sadasivuni KK, Ahmed AAA, Hishan SS, Doranehgard MH, Essa FA, et al. Graphite powder mixed with black paint on the absorber plate of the solar still to enhance yield: An experimental investigation. Desalination 2021;520:115349. https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115349.

[3] El-Sebaey MS, Alrashidi A, Suraparaju SK, Sathyamurthy R, Essa FA, Arjun Singh K, et al. Stepped solar Stills: A comprehensive review of Design, Performance, and optimization strategies for sustainable water desalination. Solar Energy 2024;284:113077. https://doi.org/10.1016/j.solener.2024.113077.

[4] Sebastian G, Shah A, Thomas S. The effect of vapour space temperature on the productivity of a passive solar still integrated with multi-functional floating absorber. Journal of Water Process Engineering 2021;44:102349. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102349.

[5] Nian Y-L, Huo Y-K, Cheng W-L. Study on annual performance of the solar still using shape-stabilized phase change materials with economic analysis. Solar Energy Materials and Solar Cells 2021;230:111263. https://doi.org/10.1016/j.solmat.2021.111263.

[6] Elnaby Kabeel A, Abdelgaied Mohamed, Attia MEH, Arıcı M, Abdel-Aziz MM. Performance enhancement of a conical solar still by optimizing inclination angle. Solar Energy 2023;264:112001. https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.112001.

[7] Rashid FL, Al-Obaidi MA, Hussein AK, Akkurt N, Ali B, Younis O. Floating solar stills and floating solar-driven membranes: Recent advances and overview of designs, performance and modern combinations. Solar Energy 2022;247:355–72. https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.10.044.

[8] Sibagariang YP, Napitupulu FH, Kawai H, Ambarita H. Investigation of the effect of a solar collector, nozzle, and water cooling on solar still double slope. Case Studies in Thermal Engineering 2022;40:102489. https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102489.

[9] Sun Z, Zhang L, Liu L, Chen W, Xie G, Zha J, et al. Optimal design for floating solar still by structural modification: A review. Desalination 2023;566:116937. https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.116937.

[10] Njuguna RN, Njoka F, Muguthu J. Solar still basin measurements and liner material variance for improved water desalination efficiency. Desalination and Water Treatment 2024;320:100851. https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100851.

[11] Bakhtierkhalzi Md, Islam MdT, Asnaf KhS, Parvej AM, Sarker MRI. Comparative performance investigation of conventional and modified stepped basin pyramid solar still with improved insulation: Experimental evaluation. Desalination 2024;587:117964. https://doi.org/10.1016/j.desal.2024.117964.

[12] Bady M, El Hadi Attia M, Elnaby Kabeel A. Performance improvement of the conical solar still using hollow copper tubes in the basin with CO2 mitigation and economic analysis. Solar Energy 2024;278:112797. https://doi.org/10.1016/j.solener.2024.112797.

[13] Khanmohammadi S, Khanmohammadi S. Energy, exergy and exergo-environment analyses, and tri-objective optimization of a solar still desalination with different insulations. Energy 2019;187:115988. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.115988.

[14] Samuel Hansen R, Blessy Queen Mary M, Somesh Subramanian S, Aldrin Raj J, Joe Patrick Gnanaraj S, Appadurai M. Utilization of PCM in inclined and single basin solar stills to improve the daily productivity. Materials Today: Proceedings 2022;62:967–72. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.092.

[15] Vigneswaran VS, Kumaresan G, Dinakar BV, Kamal KK, Velraj R. Augmenting the productivity of solar still using multiple PCMs as heat energy storage. Journal of Energy Storage 2019;26:101019. https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101019.

[16] Parsa SM, Rahbar A, Koleini MH, Aberoumand S, Afrand M, Amidpour M. A renewable energy-driven thermoelectric-utilized solar still with external condenser loaded by silver/nanofluid for simultaneously water disinfection and desalination. Desalination 2020;480:114354. https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114354.

[17] Elango T, Kannan A, Kalidasa Murugavel K. Performance study on single basin single slope solar still with different water nanofluids. Desalination 2015;360:45–51. https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.01.004.

[18] Madhu B, Subramanian B, Nagarajan PK, Sathyamurthy R, Mageshbabu D. Improving the yield of freshwater and exergy analysis of conventional solar still with different nanofluids. FME Transaction 2017;45:524–30. https://doi.org/10.5937/fmet1704524M.

[19] Afzal Mohiuddin S, Kumar Kaviti A, Rao Atchuta S, Sakthivel S, Harish T, Vinay Kumar K, et al. Performance analysis of non-contact nanostructure solar desalination system by varying water depth at a constant air gap. Solar Energy 2022;247:485–98. https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.10.042.

[20] Tiwari AKr, Tiwari GN. Thermal modeling based on solar fraction and experimental study of the annual and seasonal performance of a single slope passive solar still: The effect of water depths. Desalination 2007;207:184–204. https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.07.011.
[21] Shoeibi S, Rahbar N, Abedini Esfahlani A, Kargarsharifabad H. A review of techniques for simultaneous enhancement of evaporation and condensation rates in solar stills. Solar Energy 2021;225:666–93. https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.07.028.
[22] Bayrak F. The numerical and experimental analysis of system efficiency effects of different passive methods in integrated photovoltaic panels. Fırat Universty, 2017.
[23] Selimefendigil F, Şirin C, Öztop HF. Experimental Performance Analysis of a Solar Desalination System Modified with Natural Dolomite Powder Integrated Latent Heat Thermal Storage Unit. Sustainability 2022;14:2650. https://doi.org/10.3390/su14052650.
[24] Younes MM, Abdullah AS, Essa FA, Omara ZM, Amro MI. Enhancing the wick solar still performance using half barrel and corrugated absorbers. Process Safety and Environmental Protection 2021;150:440–52. https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.04.036.
[25] Sarhaddi F, Farshchi Tabrizi F, Aghaei Zoori H, Mousavi SAHS. Comparative study of two weir type cascade solar stills with and without PCM storage using energy and exergy analysis. Energy Conversion and Management 2017;133:97–109. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.11.044.
[26] Hammad FA, Shalaby SM, Kabeel AE, Zayed ME. Experimental investigation and thermo-economic performance analysis of a modified solar distiller design with thermal storage material and v-corrugated absorber basin. Journal of Energy Storage 2022;52:105020. https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105020.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Havalı Süspansiyon Sistemlerinde Körük Ömrünü Artırmaya Yönelik Tasarım Önerisi

Osman Yıldırım[1*] ve Mehmet F. Yaren [2]

[1]*Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Türkiye*
[2] *Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Türkiye*

[2]*myaren@sakarya.edu.tr*

Özet **–**Ağır ticari araçlarda kullanılan havalı süspansiyon sistemleri, taşıma kapasitesi, sürüş konforu, yapısal dayanım ve işletme verimliliği açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Hava körükleri bu sistemlerin temel elemanlarından biri olup, yatay yükler altında maruz kaldıkları eğilme gerilmeleri nedeniyle zamanla deformasyona uğrayarak performans kaybı yaşayabilmektedir. Bu çalışmada, hava körüklerinin yatay hareketini sınırlayarak ömrünü uzatmaya yönelik alternatif bir mekanik çözüm önerisi sunulmuştur. Mevcut paralelogram süspansiyon mekanizmalarına alternatif olarak geliştirilen tasarımda, körük bağlantı noktalarına uygulanan yatay kuvvetlerin etkisini azaltmak amacıyla slot (kanal) yapısına sahip bir kol kullanılmıştır. Tasarımda slot geometrisinin körük üzerindeki yatay yüke etkisi sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilmiş, farklı kanal uzunluğu ve açıları iteratif olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, slot boyu ve açısının optimizasyonunun körük üzerindeki yatay kuvvetleri azaltarak yapısal dayanımı artırabileceğini göstermiştir. Bu doğrultuda sunulan tasarım, hava körüklü süspansiyon sistemlerinin dayanıklılığını artırmaya yönelik yenilikçi bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler – Hava körükleri, süspansiyon, hava körüklerinin kullanımı, ticari araçların süspansiyonu

I. GİRİŞ

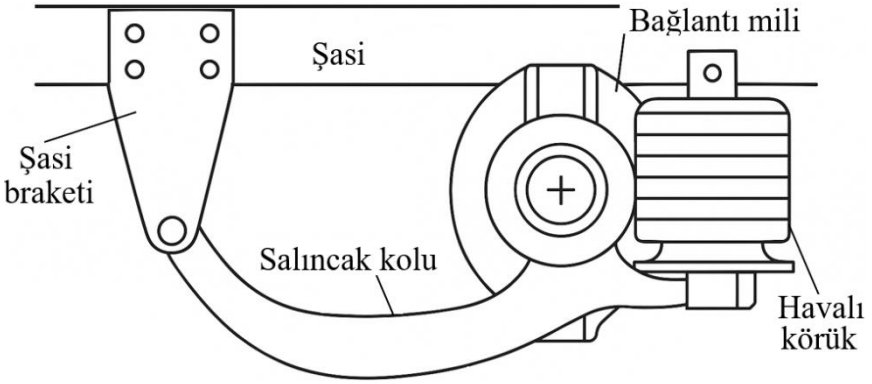
Süspansiyon sistemi sabit parça ile salınım yapan parçanın arasında askıda kalan sistemdir. Bir aracı ele aldığımızda şasiyi sabit olan parça, tekerleği de salınım yapan parça olarak düşünebiliriz. Ağır ticari araçlarda, farklı yol koşullarına ve taşıma ihtiyaçlarına göre çeşitli süspansiyon sistemleri kullanılır. Her bir süspansiyon türü, belirli yük taşıma kapasitesine ve yol koşullarına göre avantajlar sunar. Hangi sistemin kullanılacağı, aracın amacı, taşıma kapasitesi ve kullanım şartlarına bağlı olarak değişir. Çelik yaylı sistemler, basitliği ve dayanıklılığı nedeniyle uzun süre en yaygın tercih olmuşken, hava körüklü sistemler daha fazla konfor ve esneklik sunmaktadır. Çelik yaylı süspansiyonlar çeşitli formlarda metal yayların kullanıldığı sistemlerdir. Çelik yaylar, genellikle bir dizi metal levhanın üst üste konularak birbirine bağlanmasıyla oluşturulur. Bu yaylar, aracın yükünü dengelemek ve sarsıntıları emmek için kullanılır. Aracın yükü arttıkça yaylar daha fazla sıkışır ve esner. Yaylar, aracın yol tutuşunu iyileştirirken, yol darbelerini de emerek sürüş konforu sağlar. Havalı süspansiyon sistemi, kapalı bir hacimde havayı sıkıştırılarak çalışır. Hava, körüklere basılır ve tekrar emilir, böylece yay etkisi oluşturulur. Havalı süspansiyon elemanları, yük değişimine bağlı olarak havanın körüklere yönlendirilmesi ya da boşaltılması işlemi için mekanik ya da elektronik kontrollü seviye kontrol valfleriyle iş birliği yapar. Bu sayede araç, yükten bağımsız olarak sabit bir duruş sergileyebilir. Hem yüklü hem de boş ağırlıkta ideal bir sürüş konforu sağlanır. Ayrıca, yay özellikleri hızlıca ayarlanabilir ve araç manevralara daha düzgün tepki verebilir [1].

Araçta süspansiyon sisteminin sağlamasını beklediğimiz bazı fonksiyonlar vardır. Süspansiyon sisteminin bu fonksiyonları yerine getirebilmesi için karakteristik davranışına havalı körük seçimi yapılır. Araç dinamikleri açısından, süspansiyon sistemi, yüksek sürüş hızlarında yol düzensizliklerine karşı sürüş kalitesini sağlamalı ve yol tutuş performansını korumalıdır. Havalı körükler çalışma sırasında tek yönlü gerilmelere maruz kalmazlar ve doğrusal olmayan davranış sergilerler. Havalı körüklerin kompozit yapısı farklı kalınlıktaki iç ve dış kauçuk arasında çok katmanlı olarak zıt açılarda sarılan kord bezinden oluşur. Körüklerin statik ve dinamik sönümleme özellikleri belirlenirken, farklı basınç ve deplasmanlardan dolayı körüklerde oluşan reaksiyon kuvvet değerleri farklılık göstermektedir [1].

Bu çalışmada, havalı süspansiyon sistemlerinde körüklerin yatay yükler altında maruz kaldığı eğilme etkisini azaltmaya yönelik alternatif bir mekanik tasarım önerilmiştir. Mevcut montaj hatalarının sistem performansı üzerindeki etkileri tartışılmış, sonlu elemanlar analiziyle desteklenen yeni bir braket-konfigürasyonu önerisi sunulmuştur. Tasarımın temel amacı, körüğün yatay yöndeki hareket serbestliğini kontrol ederek deformasyon riskini azaltmak ve böylece sistemin uzun vadeli güvenilirliğini artırmaktır.

II. HAVA KÖRÜKLÜ SÜSPANSİYONUN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Ağır ticari araçlarda hava körükleri, içlerindeki basınçlı havanın yük miktarına göre otomatik olarak ayarlanır ve şasi/dingil üzerindeki yük dağılımını dengelenir. Böylece hem yapısal ömür uzar hem de aşırı yüklenmenin yol açabileceği deformasyon riski azalır. Yol yüzeyinden gelen titreşim ve darbeleri esnek kauçuk membranlarıyla etkili biçimde sönümleyerek sürücü ve yolcular için konforlu bir sürüş ortamı oluşturur ve uzun yolculuklardaki yorgunluğu azaltır. Aynı zamanda viraj alma, ani manevra ve frenleme anlarında tekerleklerin zemine sürekli temasını sağlayarak aracın stabilitesini ve fren performansını iyileştirir. Hava devreleri üzerinden gerçekleştirilen yükseklik ayarı imkânı, farklı yol koşullarına ve geçiş kısıtlamalarına hızlıca uyum verme esnekliği sunar. Metal yaylı sistemlere kıyasla daha düşük bakım gereksinimi ve kauçuğun dayanıklılığı sayesinde işletme maliyetleri azalırken, uzun vadede ekonomik verimlilik sağlanır. Bütün bu avantajlarıyla hava körükleri, ağır ticari araçların performansını, güvenliğini ve işletme verimliliğini bir arada destekleyen vazgeçilmez bir süspansiyon elemanıdır. Şekil 1'de havalı süspansiyon sisteminin temel elemanları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Bir hava körüklü süspansiyon tasarımı

Hava körüklerinin ömrü kullanılan malzeme kalitesinin dışında hava körüklerinin tasarımı ve montajıyla da doğrudan ilişkilidir. Günümüzde farklı veya aynı araçlarda kullanılmak üzere farklı ürün ve süspansiyon sistemi tasarımları bulunmaktadır. Tasarım sırasında hava basıncı, pozisyonlama, üst ve alt bağlantıların durumu, hortumların doğru seçilmesi temelde dikkat edilmesi gereken hususlardır. Ürünlerin doğru montajı ve kullanım şartları da sistemin ömrünü etkilemektedir. Montajla ilgili dikkat edilmesi gereken temel konular aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

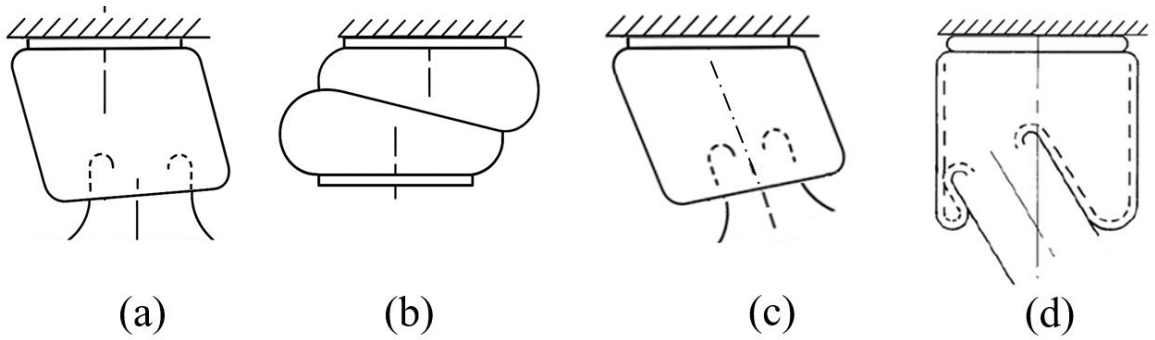
Hava körüğü, şasi ile aks arasına tam dik gelecek şekilde eksenel olarak hizalanmalıdır. Eğik veya açılı montaj, körüğün bir tarafında fazla gerilme ve erken yıpranmaya neden olur. Montaj yapılacak yüzeyler

temiz, pas ve kirden arındırılmış olmalıdır. Körüğün alt ve üst plakaları ile temas edecek yüzeylerde düzgün oturma sağlanmalıdır. Üretici tarafından belirtilen cıvata tork değerlerine mutlaka uyulmalıdır. Fazla sıkma, körük flanşının zarar görmesine sebep olurken az sıkma ise gevşeme, ses ve sızdırmazlık problemlerine sebep olur.

Montaj işlemi sırasında körük hava ile doldurulmamış yani boş olmalıdır. Şişirilmiş körükle montaj yapılması, flanşların veya körük çeperinin deforme olmasına yol açabilir. Körük, her iki flanşına da paralel olacak şekilde yerleştirilmelidir. Körük, çalışırken eksenel bir hareket yapmalıdır. Açısal kaymalar, burulmalar olmamalıdır. Körüğün çalışma hareketi boyunca sıkışma (minimum boy) ve uzama (maksimum boy) değerlerine uygun yer bırakılmalıdır. Aksi halde körük ya tam sıkışamaz ya da aşırı uzayarak patlayabilir.

Hava hortumları körüğe güvenli ve dik açıyla bağlanmalı, hortumlar sürtünmeye maruz kalmamalıdır. Sızdırmazlık için uygun bağlantı elemanları ve conta sistemleri kullanılmalıdır. Körüğün montaj yerinde taş, çamur, kesici/kimyasal sıvılarla doğrudan temastan korunması gerekir. Gerekirse koruyucu kaplama, çamurluk veya muhafaza eklenmelidir.

Havalı körüğün tasarımı veya montajı sırasındaki kusurlardan kaynaklanabilecek bazı istenmeyen körük davranışları Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2a ve b'de üst montaj plakasında ve manşonun piston üzerinde yuvarlandığı yerde daha fazla aşınma ve ayrıca iç sürtünme görülür. Şekil 2c, yükleme kolu ile piston eksenin açılı bağlanması sonucu ortaya çıkar. Pistonun üst montaj plakasına bağlandığı yerde eğilmeden kaynaklı yırtılmalar görülür. Uzun sürede körüğün eğilmesine ve süspansiyon sisteminde yük dengesizliğine sebep olur. Şekil 2d ise yine açılı yük nedeniyle körüğün iç kısmında yüzeylerin sürtünmesi ve iç aşınma durumunu göstermektedir. Tüm bu durumları aynı yöntem ile aşabilmek mümkün olmasa da farklı tasarım konseptleri geliştirilmiştir [3].

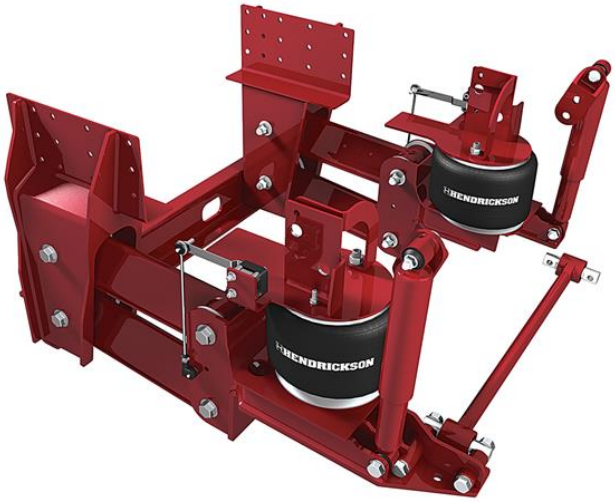


Şekil 2. Havalı körüğün montaj hataları sonucunda oluşabilecek istenmeyen durumlara örnekler. a,b) Merkez hattı kayması, c) piston ekseninin yük kolu ile açılı montajı, d) içten aşınma durumu

III. KÖRÜKLERDEKİ YATAY KUVVETİN ENGELLENMESİNİ SAĞLAYAN YAKLAŞIMLAR

Havalı körüklerdeki deformasyonu engelleyen bazı çözümler mevcuttur. Piyasada yaygın olarak kullanılan çözüm paralelogram süspansiyon sistemidir. Paralelogram süspansiyon sisteminin yatay harekini engellemeye yönelik 2010 yılında yapılmış bir patent çalışması vardır. Ağır ticari araçlarda kullanılan bu tasarım hem körüğün deformasyonu engellemekte hem de bağımsız çalışan bir sistem sağlamaktadır. [4]

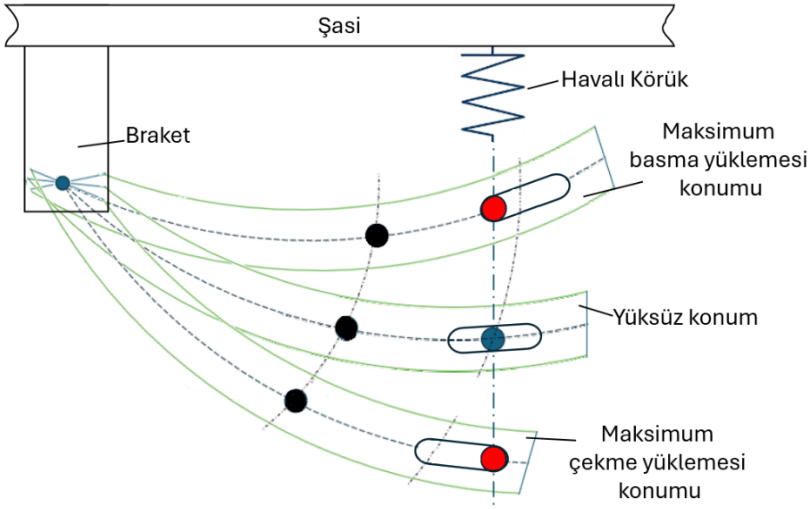
Dört kol mekanizması şeklinde çalışan sistemde körüğün alt braketi ile şasi arasında her zaman paralellik oluşturularak körüğün yatayda yüke maruz kalması engellenmektedir. Dikey eksende körük beklendiği gibi çalışırken yatay eksende yüke maruz kalmayarak doğru bir tasarım metodolojisi uygulanmıştır. Böylece körüğün daha uzun ömürlü olması sağlanmıştır. Farklı markalarında bu metodolojiyi uyguladığı bazı tasarımlar mevcuttur. Şekil 3'te gösterilen tasarım Hendrickson firmasına ait paralelogramlı ön süspansiyon sistemidir [5].



Şekil 3. Hendrickson firmasına ait paralelogram süspansiyon sistemi [5]

IV. BRAKET ÜZERİNE AÇILAN SLOT İLE HAVALI KÖRÜĞÜN YATAY KONUMUNUN SABİT TUTULMASI

Körüğün yatayda gelen yüklere karşı bir hareket alanı sunulan konsept tasarım Şekil 4'te gösterilmiştir. İçi dolu siyah daire aks ile kolun birleştiği noktalar olup tekerlekten gelen yük bu noktadan kola aktarılmaktadır. Bu tasarımda kol bir yay boyunca hareket ederken havalı körüğün ucuna bağlı pim, slot içinde hareket edebilecektir. Kırmızı renk ile gösterilen pim konumları havalı körüğün sıkıştığı veya açıldığı durumu göstermektedir. Şekil 4'te havalı körük ve pimler arasındaki ilişki incelendiğinde her yükleme durumu için pimin havalı körüğün ekseni üzerinde kaldığı görülmektedir. Böylece pim ile kol arasındaki yatay eksende gerçekleşen göreceli hareket havalı körüğü eğmeye çalışmayacaktır. Diğer bir ifade ile havalı körük genişlerken veya sıkışırken sistemin süspansiyon hareketi sağlanmış olacak fakat körükte eğilme/yan yatma gibi bir durum oluşmayacaktır.



Şekil 4. Farklı yükleme durumları için slot açılmış braketin görünümü

Bu çalışmada, körük alt braketinin yatay hareketine izin verecek kanal geometrileri iteratif yöntemlerle değerlendirilmiştir. Körük sıkışma miktarı, pim ile slot arasındaki sürtünme katsayısı, braket boyutları sonlu elemanlar analizi yardımıyla incelenmekte ve en uygun boyutlar üzerinde çalışılmaktadır.

V. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmalarda farklı kanal geometrileri incelenmiştir. Açılan delik kanalının geometrik özellikleri yatayda gelen kuvveti etkilemektedir. Slot boyunun değişmesi ile yatayda körüğe gelen kuvvetin değiştiği iteratif sonlu elemanlar analizleri ile görülmüştür. Ancak slot boyunu çok uzun tutmak süspansiyon sisteminin tasarımı açısından mümkün olmayacaktır. Körüğün yukarı ve aşağı hareket mesafesi kanalın uzunluğunu da etkilemektedir.

Süspansiyon sistemlerinin hareket aralığına bağlı olarak farklı yaklaşımlar belirlenebilir. Bu çalışmada ağır ticari araçlar için kullanılan bir süspansiyon sisteminin hareket değerleri referans alınarak bir çözüm önerilmiştir. Optimizasyon çalışması olarak kanalın uzunluğu, deliğin çapı parçanın kalınlıkları arasında iteratif analizler yapılarak belirlenmiştir. Yapılan iteratif çalışmalar kanalın yatay açısının 20° civarında kalarak ve kanal uzunluğu olarak 140 mm civarı seçilmesi yatayda gelen kuvveti minimum seviyede tuttuğu görülmüştür. Bu değerler farklı tasarım boyutları, sönümleme katsayısı, havalı körük deplasman değeri, sürtünme katsayısı için değişecektir. Farklı süspansiyon parametrelerine göre farklı değerler bulunması mümkündür.

Bu çalışmada önerilen tasarımın pimin slot içindeki sürtünmesi ve ani yükleme durumunda pimin slot içinde aşırı hızla slot kenarına kayması gibi problemler üzerinde çalışılması gerekmektedir. Ayrıca tasarımın üretim süreçleri, bakım, maliyet ve süspansiyon sistemi paketleme alanı açısından da değerlendirilmesi uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Kuralay, N. S. (2008). Motorlu Taşıtlar: Temel ve Tasarım Esasları, Yapı Elemanları Cilt 1 tahrik ve Sürüş Sistemeleril. TMMOB, İzmir.

[2] Kasım, H., Özkan, E., Yazıcı, M. (2021). Hava Körüklerinin Statik ve Dinamik Sönümleme Özelliklerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (21), 12-22.

[3] Goodyear. (n.d.). Basic principles of air springs (Technical catalog, 157 sayfa.). Goodyear Engineered Products. Erişim tarihi: 29 Nisan 2025, https://lhtech.com/pdf/automation/pneumatic/Goodyear-Air-Spring-Data.pdf

[4] https://patents.google.com/patent/US20100264613A1/en

[5] https://www.hendrickson-intl.com/products/parasteer/parasteer

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Analysis of Low Frequency Magnetic Fields used for High Voltage Overhead Electric Transmission Lines

Salah-Eddine Houicher[1*], Rabah Djekidel [1] and Sid Ahmed Bessedik [1]

[1]*Department of Electrical Engineering, LACoSERE laboratory, Ammar Telidji University, Laghouat 03000, Algeria*

[*]*Email of the corresponding author: houichersalah@gmail.com*

Abstract – The constraint limit of the magnetic field produced by transmission power lines is calculated and measured in an urban area, and consideration of menace perception on the environment, recommends numerous analysis of this field. In this paper, the level of magnetic field is presented for three different configurations of high voltage overhead electric transmission lines. The proposed computational method is founded on the symmetrical configuration of these lines, exerted to the three current-carrying conductor's vectors. This approach leads to a simple formulation pertaining to the distance between phase conductor and the specific point of interest in space. This analytical study takes into account the real situations of catenary curve of the power line and was prepared at a maximum distance as 50 m from the tower placement in the height of 26m, 30m and 34m, respectively from the ground, in order at different heights of observation point. The calculated and simulated results of the magnetic field intensity were assessed and evaluate to verify the recommended limits by international standards and the possible hazard from exposure of the magnetic field configurations on the human and environment.

Keywords – Overhead transmission line, magnetic field strenght, interest point, height of conductors, power line configuration, simulation approach

I. INTRODUCTION

The issues associated with overhead transmission lines and their equipment have been recognized for many years. However, these lines generate a magnetic field, which can have harmful effects on the surrounding environment when the levels exceed certain limits [1-3]. This worry has gained extensive recognition only in the past decade, due to progressions in environmental awareness and the growing efforts to find solutions for reduce the magnetic field near the high-voltage electric power lines.Numerous studies have been conducted and made by various funders to derive a formula for the magnetic fields formed by the power lines and show their concern impact. Toward establish this association; extensive researches have been carried out, involving and studying the source by both theoretical and experimental calculations of this field in proximity to the power lines [4-6]. This work focuses on the sources produced by electric power line, including single circuit lines (in flat, vertical, ordelta configurations), in addition to double circuit lines, as referenced in [7]. The calculation of magnetic field strength near distribution and transmission lines is presented by [8]. Various hypothetical scenarios have been developed. The measurement results as reported in [9], were determined to assess the levels of electric and magnetic fields in different environments, such as substations, power transmission lines, and underground cables, relevant to residential and occupational exposure. In [10] examines the electric and magnetic fields at a frequency of 50 Hz resulting from the operation of indoor power distribution substations.In recent times, with increasing rate of power consumption has led to a rise in extremely low-frequency (ELF) magnetic fields generated by transmission lines, commonly recognized to as electromagnetic pollution [11]. Several studies are executed to measure the ELF magnetic flux density in urban areas, while others have focused on inhabitants living a close proximity to overhead power lines. With the development of Extra-High

Voltage (EHV) transmission lines and the likely emergence of Ultra-High Voltage (UHV) lines, accurately describing the interaction between transmission line electromagnetic field and living organisms has become increasingly crucial. This document [12] proposes a numerical method to review the current and normal electric field distributions induced on humans sited near these lines. Additionally, this work [13] presents the measurements of magnetic field created by high voltage electric power lines, then estimates the degree of compliance with European regulations, and demonstrates that the simulation results obtained of these fields are similar with to the measured values.Most researchers have not simultaneously investigated the connection of magnetic fields under maximum scenarios, and with different transmission line designs, which could later serve as a source of disturbance in densely populated areas. To address this gap, we developed diverse configuration models to determine the limit potential danger posed by magnetic field exposure on the environment. Our theoretical and computational study aims to analyze and elaborate on the levels of magnetic field generated by high voltage overhead transmission lines.

II. Computation Modeling for the Magnetic Field Under Overhead Transmission Lines

A number of methods research in the literature background for the calculation of magnetic field intensity in the vicinity of overhead transmission lines it often needs many models to determine the potential risks of exposure to this field in human health and the environment. To confirm the limit levels mentioned of this field, we have covered different configurations of model 400 kV overhead power line.

A. Magnetic Induction Formulation

The statement of magnetic flux density B_i created by several configurations in the line conductor i is specified by using the Biot-Savart law that is observed in Fig. 1.

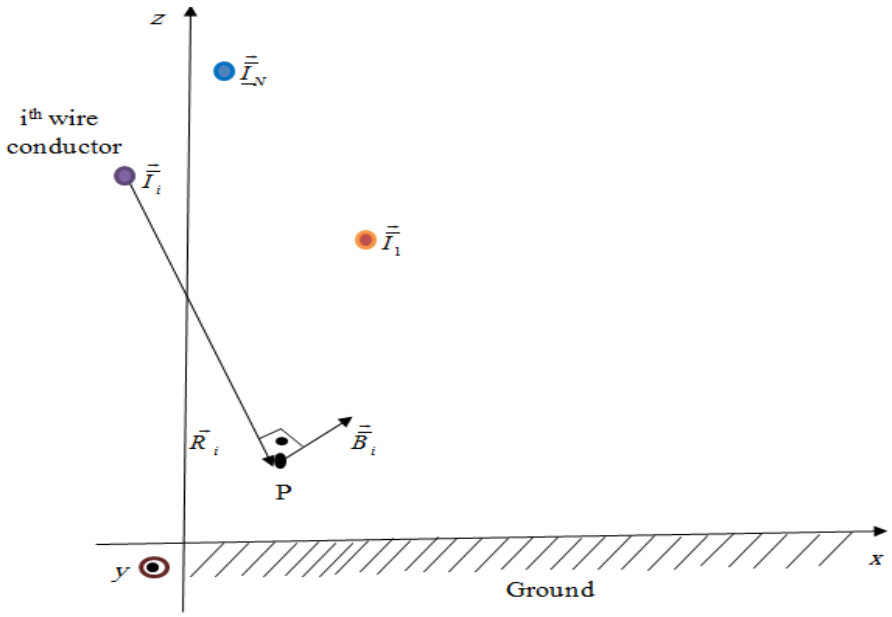


Fig. 1 Displaying portion of the study power line sample

In the power lines, the magnetic field produced by different conductors i (i=1, 2 and 3) carrying eddy current I_i, is represented in the general status with the superposition theorem [14, 15, 16]:

$$\bar{\bar{B}}_i = \mu_0 \sum_{i=1}^{3} \frac{\bar{\bar{I}}_i \times \vec{R}_i}{2\pi R_i^2} \quad (1)$$

Where, $\bar{\bar{I}}_i = \bar{\bar{I}}_i \vec{e}_y$ indicates the vector of the current phasor $\bar{\bar{I}}_i$ and $\vec{e}_y$ is the unit vector trend the route of y axis, $\vec{R}_i$ is the vector distance from the conductor to the interest point P, and the symbol $\times$ refer the cross product of the vectors $\vec{e}_y$ with $\vec{R}_i$.

Figures 2 to 4 illustrate three different geometry models of the power line with changed actual dimensions; as a result to simulate and measure the total magnetic field *B*, we supposed a vector superposition of the fields induced from the dissimilar single straight currents.

We have suggested three configurations of high voltage 400 kV overhead transmission line: vertical power line, horizontal power line and delta (triangular) power line, respectively. This distinct geometry is used to represent and assess the magnetic fields generated by these lines. The normalized location from the conductor to the point of interest P is regularly characterized by its resulting value R_i.

B. Method of the Configuration Models

On show in figures 2-4 the vertical, flat horizontal and triangular configuration of three-phase single circuit overhead power line. These lines contain of three distances from the conductor to the interest point P, we can compose R_i for each line configuration in this way as defined from pattern observed:

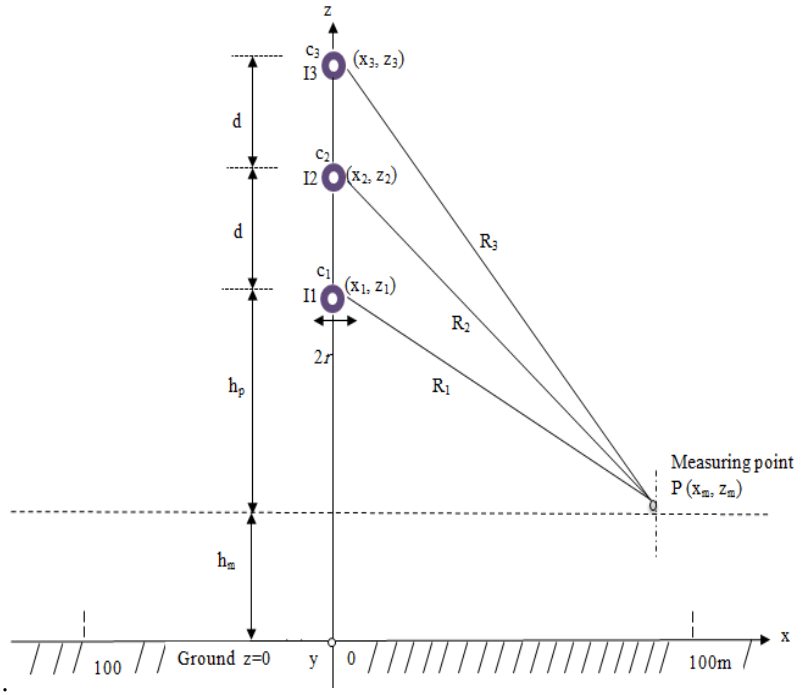


Fig. 2 Model division of a vertical power line

For the magnetic field calculation, the general expression term is common categorized by its resultant value *B*, and was presented by [7]. Supporting a three-phase line system through straight, long and parallel conductors of infinite length (see Fig. 2); the resultant distance from the conductor to the interested point P can be expressed as a follow:

$$R_1^2 = x_m^2 + h_p^2$$
$$R_2^2 = x_m^2 + (h_p + d)^2 \quad (2)$$
$$R_3^2 = x_m^2 + (h_p + 2d)^2$$

In this part a diverse approach is approved, based on the formulation of symmetrical components method to the geometrical vectors R_i, reflected as per a triplet structure.

From overhead power line existing in Fig. 3, the geometrical vectors distance can be simplified as a shown below:

$$R_1^2 = (x_m - d)^2 + h_p^2$$
$$R_2^2 = x_m^2 + h_p^2$$
$$R_3^2 = (x_m + d)^2 + h_p^2 \quad (3)$$

On observe according obtained in Eq. 3 the distances R_1, R_2, and R_3 signify the zero, positive, and negative symmetrical sequence components of the geometrical vectors R_i.

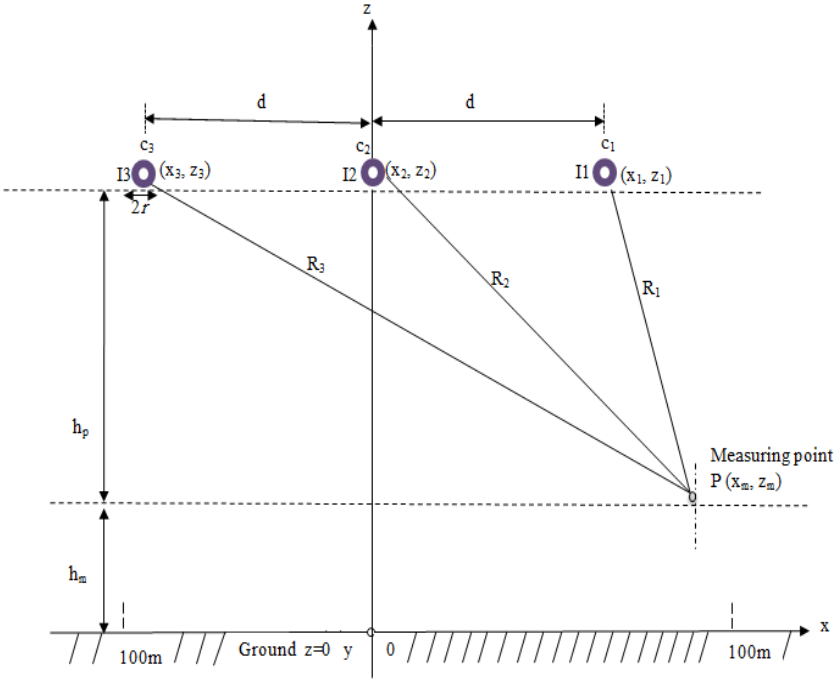


Fig. 3 Segment presentation of a horizontal power line

The counting distance from the conductor to interest point P represented in Fig.4 is formulated as a follow:

$$R_1^2 = \left(x_m - d\right)^2 + h_p^2$$
$$R_2^2 = x_m^2 + \left(h_p + h_c\right)^2$$
$$R_3^2 = \left(x_m + d\right)^2 + h_p^2 \quad (4)$$

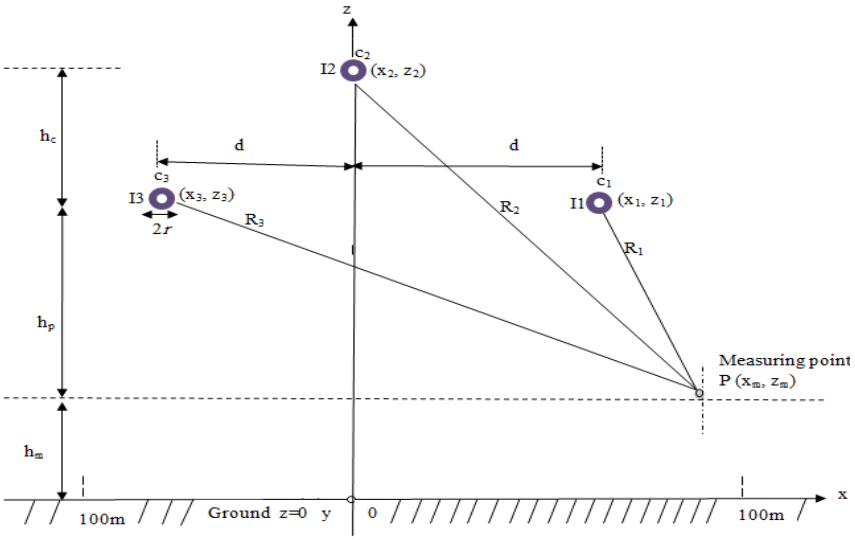


Fig. 4 Cross-section view of a triangular power line

The phase spacing *d* between phase conductors is defined by:

$$d = \sqrt[3]{d_{12}^{\,2} + d_{13}^{\,2} + d_{23}^{\,2}} \tag{5}$$

By replacing Eq. (5) into Eqs. (3) and (4), we found the resultant value of the magnetic field *B*, for three line elements. Employing these defined equations, the simulation procedure of this field is calculated precisely with using the Biot-Savart theorem because the magnetic measuring conception is much essential when we consider the computing points nearby away from the line.

III. Results and Discussions

The theoretical results of the magnetic field were completed under MATLAB environment codes, using the Biot-Savart law, Eq. (1). The transmission line parameters of the "vertical", "horizontal" and symmetrical "triangular" line configurations are believed, accounting the same RMS wire spacings d_{ij} = 10m (Figs. 2 to 4, respectively). The corresponding line heights are given, having the distance: h_p+h_m=36m and h_c=5m, respectively. The comparison is drawn between the results from the traditional method, where current-carrying power line conductors are treated as straight, parallel, horizontal wires and the magnetic field is calculated using Eq. (1), then the proposed method, where the approximated RMS field is given by incorporating Eqs. (2), (3), and (4) into Eq. (1).

The simulation results present the lateral distribution of the magnetic field profile around three diverse configuration towers of high-voltage overhead electric power transmission lines (400 kV) according to the distance x_m. Figures 5-7 display the deviation of magnetic fields for different height relative to the ground from different circuit line configurations at 1m from the ground, and observe when we are near to the tower, there is a significant change in horizontal configuration which ranges a maximum value and the triangular configuration contains a minimum value. Certainly, this significant difference in Fig. 7 is remarked when it is near to the tower. However, there is no variance between the configurations farther from the tower when compared to power line, and the magnetic field level converges to the same point for all settings which are installed and situated a close proximity to the transmission line in the surface space.

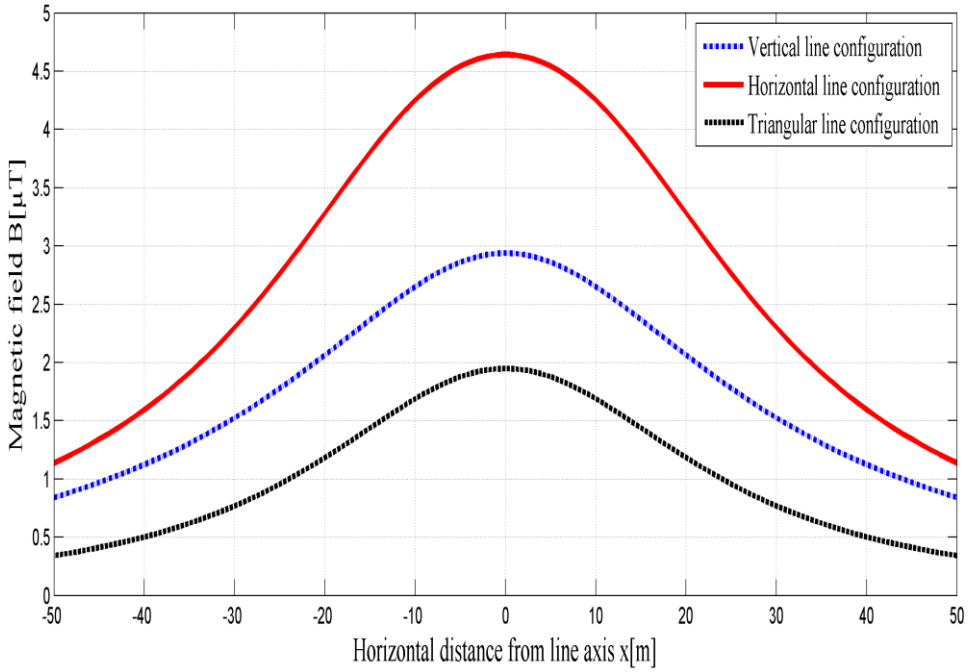


Fig. 5 Distribution of the magnetic field intensity generated by different overhead transmission lines at the height 26m of the phase conductors

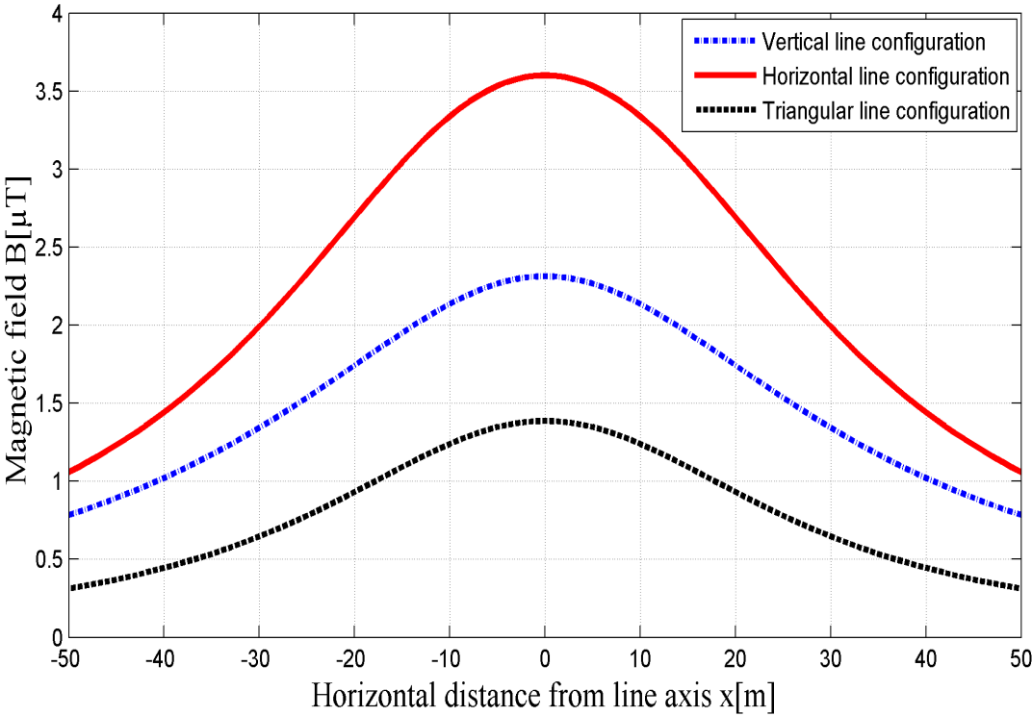


Fig. 6 Distribution of the magnetic field intensity generated by different overhead transmission lines at the height 30m of the phase conductors

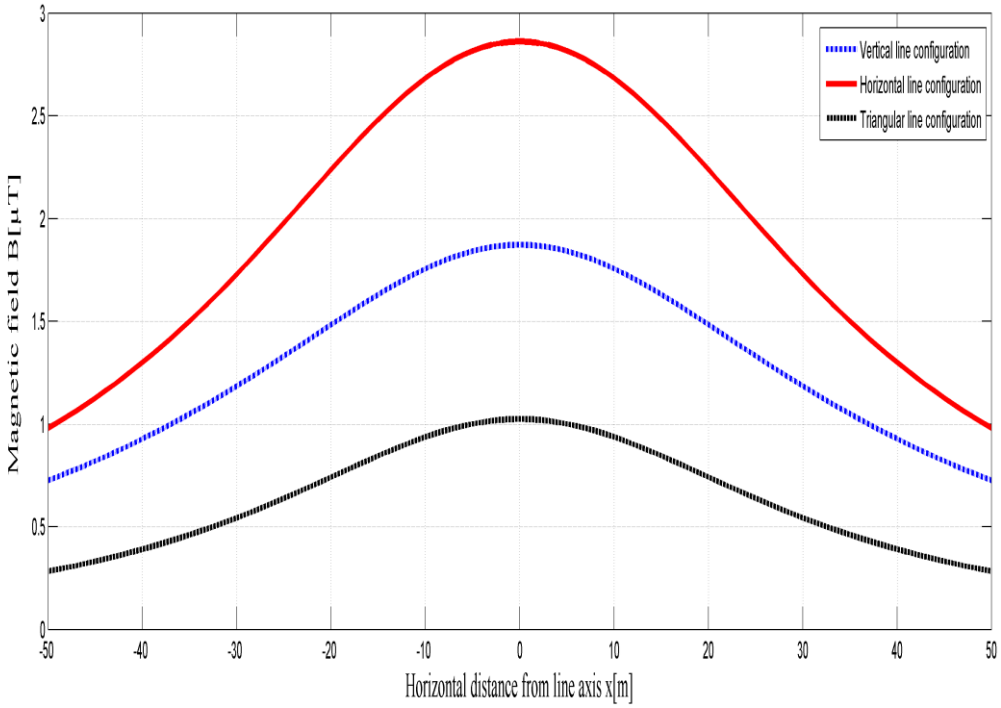


Fig. 7 Distribution of the magnetic field intensity generated by different overhead transmission lines at the height 34m of the phase conductors

Table 1. Magnetic field intensity of different line configurations according to the height of phase conductors above ground

Maximum magnetic field B(µT)	**Vertical line**	**Horizontal line**	**Triangular line**
Height of conductors H=26m	2.94	4.64	1.95
Height of conductors H=30m	2.31	3.60	1.39
Height of conductors H=34m	1.87	2.86	1.02

The maximum values of calculated magnetic field generated from different overhead power line configurations of single circuit three-phase vertical, horizontal and triangular line at 1m above ground shown in Table. 1 above with various heights of the phase conductors H= 26, 30 and 34m, respectively in terms of the distance x from the power line.

In Figure 5, we see that the magnetic field level of triangular configuration is more important compared to other configurations. Indeed, the simulation result is not similar due to the influence of high voltage overhead transmission line design, which can affect the calculated fields, and produces a resultant magnetic intensity generated by the power lines.

The vertical configuration always reaches a minimum intensity of the magnetic field. The theoretical calculation based on the Biot-Savart law is made for power lines parfaitement long, and it does not correspond the simulation results. In Figs. 6 and 7, when we are near from the horizontal line configuration, the intensity reaches a maximum magnetic field, the simulation result was similar and identical. When we are far away from the line, In Fig. 6, the magnetic field variation in the intervals [-50, -30] and [30, 50] increase for maximal value in the desired point for triangular configuration, then this field in Fig. 7, decreases in a minimum value for the same interval relative at the horizontal configuration.

Concerning the magnetic field *B* depicted in Fig. 6, it is shown that at the distance away far from the power line, the magnetic field of horizontal configuration becomes more intensified compared to other

power line configurations, which explain that the magnetic field is depending on the geometry of conductor wires.

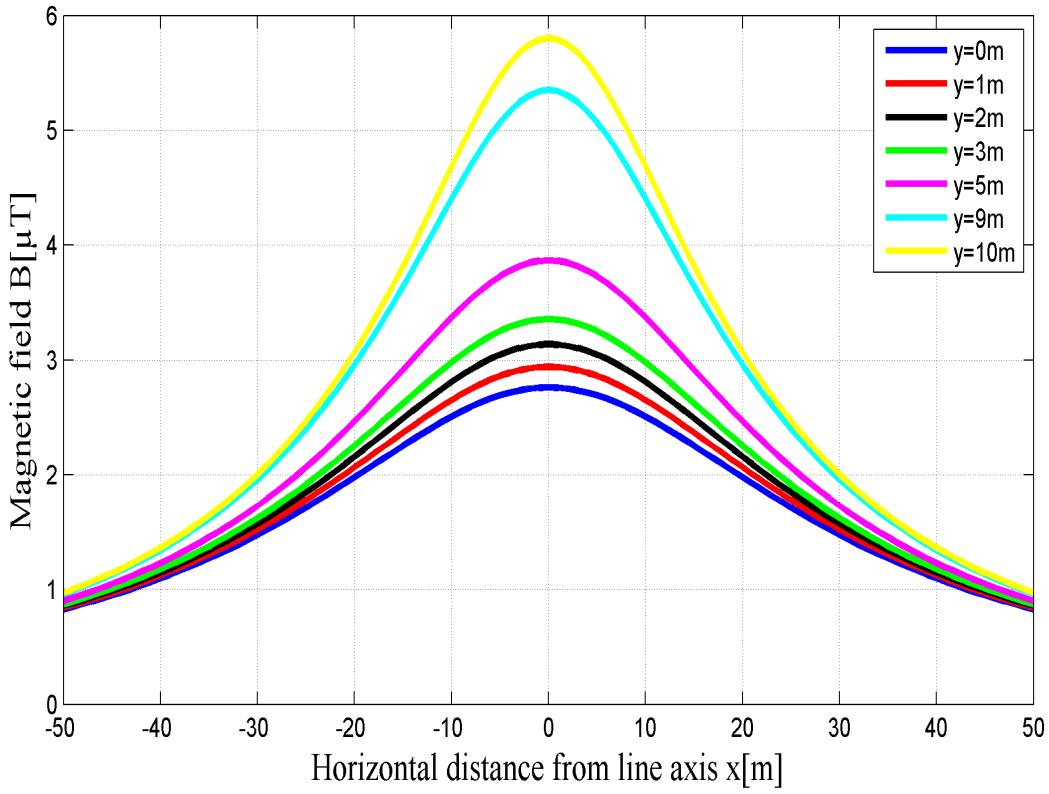


Fig. 9 Magnetic field at different heights of observation point above the ground level for the vertical power line

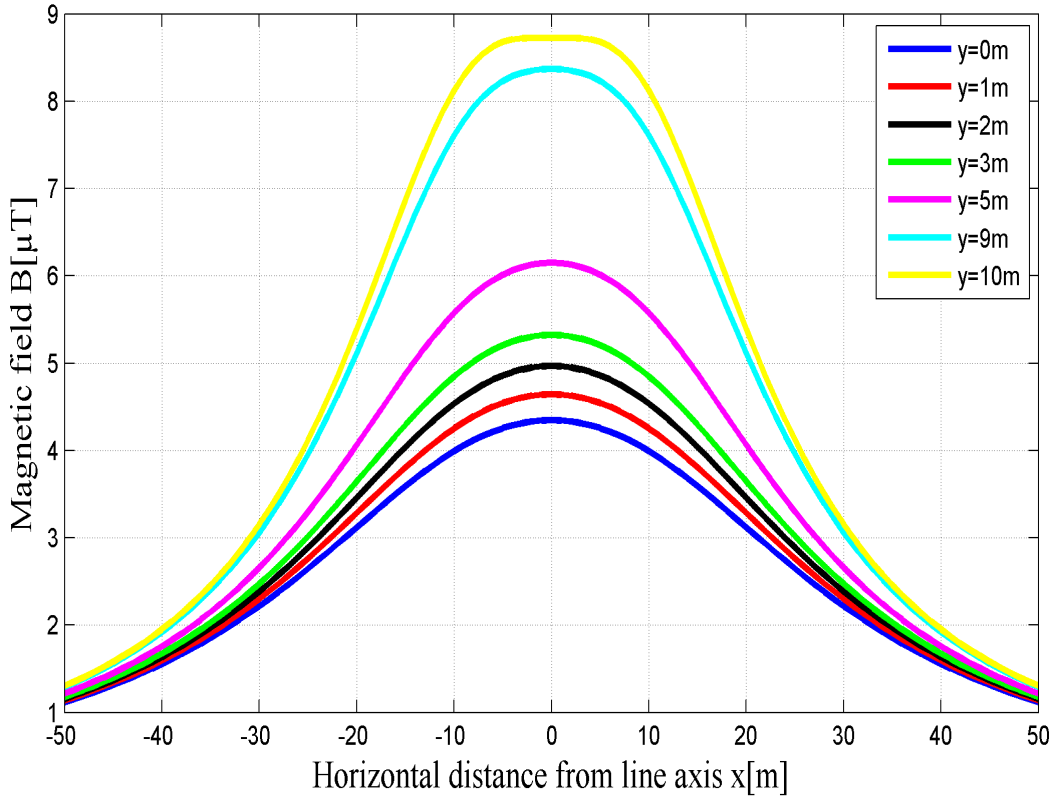


Fig. 9 Magnetic field at different heights of observation point above the ground level for the horizontal power line

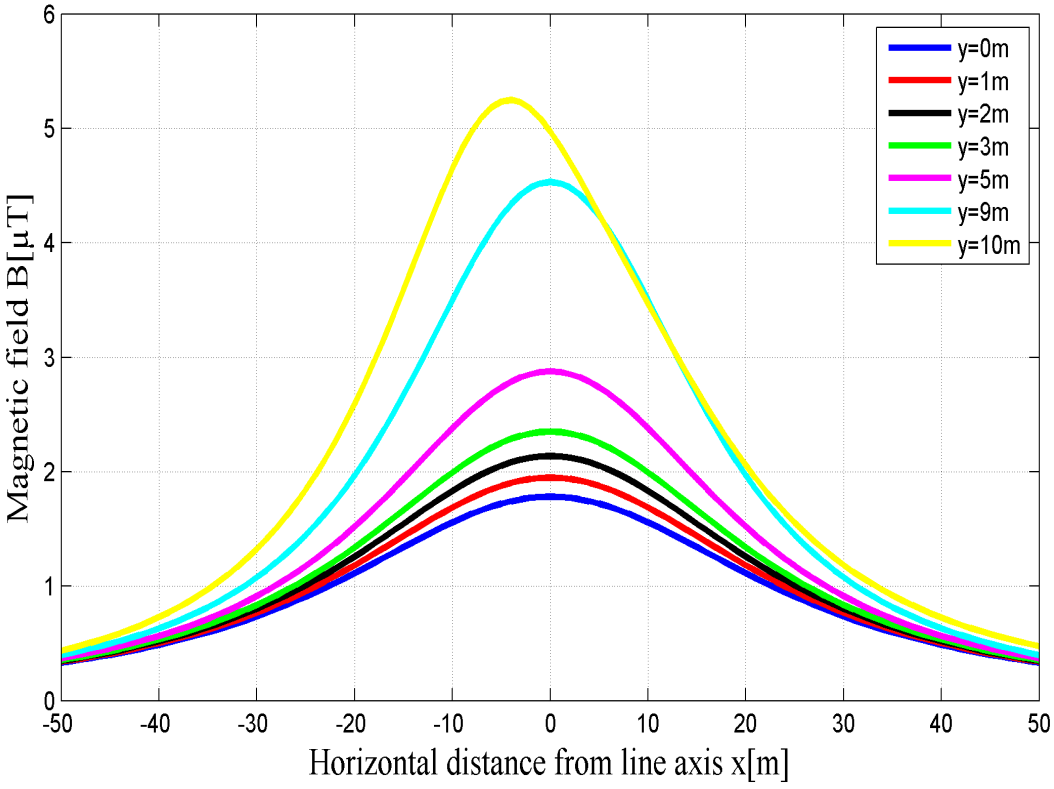


Fig. 10 Magnetic field at different heights of observation point above the ground level for the triangular power line

Figures 8-10 show the comparison of the magnetic field calculations at various heights of observation point y=0, 1, 2, 3, 5, 9 and 10m above ground level for different arrangements of 400 kV single circuit three-phase overhead transmission line: vertical, horizontal and triangular power line under normal condition. From the graph, it can be seen that the magnetic field computed is supplemental and increases as

the height of observation point rises from the ground level. According to the present graph, it can also be observed that the safety threshold of magnetic field 100 μT is exceeded at a height of 3 m from the ground level. The safety limit is surpassed beyond 40 m at both sides of the central conductor, considering the median conductor is at the origin. The magnetic field is stronger directly under overhead conductors.

Table. 2 describes below the maximum magnetic field calculated from vertical, horizontal and triangular power lines, respectively for different heights of observation point y= 0, 1, 2, 3, 5, 9 and 10m above the ground level.

Table 2. Calculated magnetic field from various power line configurations in many heights of observation point above ground

Maximum magnetic field B(μT)	**Vertical line**	**Horizontal line**	**Triangular line**
y= 0m	2.76	4.35	1.78
y= 1m	2.94	4.64	1.95
y= 2m	3.14	4.97	2.14
y= 3m	3.36	5.32	2.35
y= 5m	3.87	6.15	2.88
y= 9m	5.35	8.37	4.53
y= 10m	5.80	8.73	4.97

IV. CONCLUSIONS

In this study the theoretical results of simulation the magnetic fields produced by high voltage overhead transmission line configurations (vertical, horizontal, and triangular power line) are presented. The obtained results by the proposed method have been discussed and examined. The magnetic field was characterized for three configurations to measure compliance with international regulations. Various magnetic field properties were analyzed, providing valuable support for the planning of electrical lines systems. It is shown that at the distance near to the transmission lines and away far from the line conductors. The magnetic field in a horizontal configuration becomes higher compared to other line configurations, indicating that the magnetic field depends on the geometry of the circuit line. As we move further away from the center of power line, the maximum value of the magnetic field at the measurement point decreases to its minimum value over the same relative distance. For the power transmission lines, the horizontal span over which can the safety limit for magnetic field is exceeded depends on the height and spacing of overhead conductors. The horizontal extension ended which safety limit destructions occur is greater for horizontal configuration than triangular configuration. From different three line configurations, the magnetic field at many levels from the ground was compared. The analysis revealed that the horizontal span where the magnetic field exposure safety limit is violated for the same conductor configuration expands as the observation point height increases. Based on the calculations conducted for various height levels in this study, it is evident that the right of way width is adequately addressed.

ACKNOWLEDGMENT

The authors of this article we gradually thanks to the Laboratory for Analysis and Control of Energy Systems and Electrical Systems (LACoSERE) from Electrical Energineering Department, Ammar Telidji University of Laghouat, Algeria for their support and greater contribution to made this work successfully, we appreciate thankful the collegues for the assistance and responses to facilitate this study.

REFERENCES

[1] Miller, R. D., Anderson, L., Beers, J., Bergeron, J., Blanchard, J., Erdreich, L., & Swicord, M. (2000). Possible health hazards from exposure to power-frequency electric and magnetic fields-A COMAR technical information statement. IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, 19(1), 131–137.
[2] ICNIRP. (1998). Guidelines for limiting exposure to time -varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics, 75(4), 494-552.
[3] Bailey, W. H., Su, S. H., Bracken, T. D., & Kavet, R. (1998). Summary and evaluation of guidelines for occupational exposure to power frequency electric and magnetic fields. Health Physics, 73(3), 433–453.
[4] Radwan, R. M., Mahdy, A. M., Abdel-Salam, M., & Samy, M. M. (2013). Electric field mitigation under extra high voltage power lines. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 20(1), 54-62.
[5] Petrović, G., Kilić, T., & Garma, T. (2013). Measurements and Estimation of the Extremely Low Frequency Magnetic Field of the Overhead power Lines. Elektronika ir Elektrotechnika, 19(7), 33-36.
[6] Ghnimi, S., & Gharsallah, A. (2016). A New Experimental Study of Magnetic Field Configuration in the Vicinity of the Medium-Voltage Electric Lines. Journal of Engineering Science and Technology, 11(6), 848-860.
[7] George, F., & Dimitris, T. (2005). Analytical calculation of the magnetic field produced by electric power line. IEEE Transactions on Power Delivery, 20(2), 1474-1482.
[8] Shunmugam, S., & Rastgoufard, P. (1990). Algorithmic approaches for quantification of 60 Hz magnetic fields (from power lines). IEEE Proceedings Southeastcon. New Orleans, LA, USA, 3, 817-821.
[9] Farag, A. S., Dawoud, M. M., Cheng , T. C., & Cheng, J. C. (1999). Occupational exposure assessment for power frequency electromagnetic fields. Electric Power Systems Research, 48(3), 151–175.
[10] Safigianni, A. S., & Tsompanidou, C. G. (2005). Measurements of Electric and Magnetic Fields Due to the Operation of Indoor Power Distribution Substations. IEEE Transactions on Power Delivery, 20(3), 1800-1805.
[11] Karawia, A. (2013). Extremely low frequency magnetic field measurements near overhead power lines. 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, CIRED2013 Session 2, Stockholm, 0537.
[12] Taheri, P., Kordi, B., & Gole, A. (2009). Transient Electromagnetic Fields associated with a power transmission line above a lossy ground. 2009 13th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics and the Canadian Radio Science Meeting. Banff, AB, Canada, 1-4.
[13] Garrido, C., Otero, A. F., & Cidras, J. (2003). Low-frequency magnetic fields from electrical appliances and power lines. IEEE Transactions on Power Delivery, 18(4), 1310-1319.
[14] Hanafy, M. I. (2008). Effect of Tower Displacement of Parallel Transmission Lines on the Magnetic Field Distribution. IEEE Transactions on Power Delivery, 23(4), 1705-1712.
[15] Kaune, W. T., & Zaffanella, L. E. (1992). Analysis of magnetic fields produced far from electric power lines. IEEE Transactions on Power Delivery, 7(4), 2082–2091.
[16] Tourab, W., Babouri, A., & Nemamcha, M. (2011). Experimental study of electromagnetic environment in the vicinity of high voltage line. American Journal of Engineering and Applied Sciences, 4(2), 209-213.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

ICSIS

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

TÜRKİYE BANKACILIK SEKTÖRÜNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ODAKLI REKLAMCILIK: LİTERATÜR TEMELLİ BİR DEĞERLENDİRME

Sena Akkuş[1*]

[1]*İletişim Bilimleri / Sosyal Bilimler Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Türkiye*

[*]*senaharoglu1223@gmail.com*

Özet – Sürdürülebilirlik, küresel kalkınma söyleminin temel taşı haline gelirken, özel sektörün bu kavramı iletişim stratejilerine nasıl entegre ettiği giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Özellikle bankacılık gibi yüksek güven gerektiren sektörlerde, sürdürülebilirlik odaklı reklamcılık, kurumsal itibarı şekillendiren başlıca araçlardan biri haline gelmiştir. Bu çalışma, Türkiye bankacılık sektörünü odağına alarak, sürdürülebilirlik temalı reklam uygulamalarını literatür taraması yöntemiyle değerlendirmektedir. Çalışmada, sürdürülebilirliğin tarihsel gelişimi ve kavramsal çerçevesi sunulduktan sonra, reklamcılık ile kurumsal sürdürülebilirlik arasındaki ilişki akademik kaynaklar ışığında ele alınmıştır. Küresel literatürde yer alan greenwashing (yeşil aklama), şeffaflık eksikliği, etik söylemlerin yüzeyselliği, ölçülebilirlik sorunları ve reklam-strateji uyumsuzluğu gibi başlıca eleştiriler bu çerçevede analiz edilmiştir. Bulgular, sürdürülebilirlik temalı reklamların yalnızca görsel ve söylemsel düzeyde kalmasının, kurumların toplumsal güven ve itibarına zarar verebileceğini ortaya koymaktadır. Buna karşılık, samimi ve stratejik olarak bütünleşmiş sürdürülebilirlik iletişiminin, bankaların kurumsal marka değerini güçlendirdiği ve tüketici bağlılığını artırdığı görülmektedir.Bu bağlamda çalışma, sürdürülebilirlik odaklı reklamcılık üzerine yapılan tartışmaları Türkiye örneği üzerinden değerlendirmekte ve gelecekteki araştırmalar için kuramsal bir zemin sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Sürdürülebilirlik, bankacılık, reklamcılık, kuramsal çerçeve, çevre

I. GİRİŞ

Sürdürülebilirlik, çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlarıyla küresel kalkınma gündeminin merkezine yerleşmiş çok yönlü bir kavramdır. Brundtland Raporu (1987) ile tanımlanan bu anlayış, yalnızca çevre koruma değil, aynı zamanda nesiller arası adalet, sosyal kapsayıcılık ve ekonomik istikrarı da içermektedir. Bu bağlamda, sürdürülebilirlik hedeflerinin hayata geçirilmesinde finans sektörünün rolü kritik hale gelmiştir. Özellikle bankacılık sektörü, hem kaynak tahsisi hem de kurumsal etki alanı açısından sürdürülebilir kalkınmanın ana aktörlerinden biri olarak öne çıkmaktadır.

Bankaların bu alandaki çabalarını kamuoyuna aktarma biçimleri arasında reklamcılık özel bir yer tutar. Sürdürülebilirlik temalı reklamlar, yalnızca ürün ve hizmet tanıtımı değil; aynı zamanda kurumsal değerlerin, çevresel ve sosyal duyarlılığın ifade edildiği bir iletişim stratejisine dönüşmüştür. Türkiye bankacılık sektörü de yeşil finansman, dijitalleşme ve sosyal sorumluluk temelli kampanyalar yoluyla bu eğilime katılmıştır. Ancak, bu reklamların samimiyeti ve etkililiği konusunda çeşitli akademik tartışmalar bulunmaktadır. Greenwashing, şeffaflık eksikliği, etik söylemlerin yüzeyselliği gibi eleştiriler, sürdürülebilirlik odaklı reklamcılığın sınırlarını ortaya koymaktadır. Bu çalışma, literatür taraması yoluyla bu eleştirileri ve bankacılık sektöründeki yansımalarını incelemeyi; sürdürülebilirlik-reklam ilişkisini eleştirel bir çerçevede değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

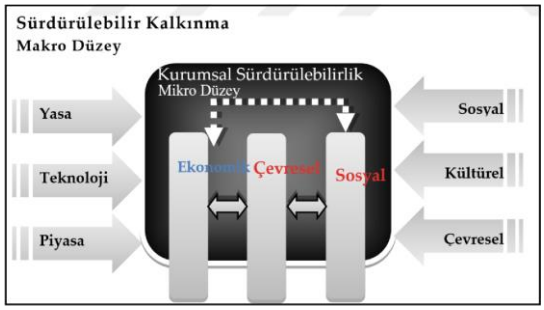
II. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAVRAMI VE TARİHSEL GELİŞİMİ

Brundtland Raporu - Ortak Geleceğimiz (1987), sürdürülebilirlik kavramını küresel düzeyde yaygınlaştıran ve halkın farkındalığını artıran önemli bir dönüm noktasıdır. Rapor, sürdürülebilirlik kavramını şu şekilde tanımlar: "Günümüzün ihtiyaçlarını sağlarken, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilecekleri bir yaşam sağlama imkanını göz önünde bulundurarak hareket etmek." Bu tanım, hem mevcut nesillerin ihtiyaçlarını karşılamanın önemini vurgularken hem de gelecekteki kuşakların hayat kalitesini ve fırsatlarını tehlikeye atmamak gerektiğine dikkat çeker. Bu perspektif, sürdürülebilirliğin sadece çevresel değil, aynı zamanda ekonomik ve sosyal boyutlarını da içeren bir kavram olduğunu ortaya koymaktadır. Brundtland Raporu ayrıca şu temel ilkeleri benimsemiştir: Çevresel Sürdürülebilirlik: Doğal kaynakların korunması, çevre kirliliğinin azaltılması ve ekosistemlerin devamlılığının sağlanması. Ekonomik Sürdürülebilirlik: Ekonomik büyümenin çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik ile uyumlu olmasını sağlamak. Bu, kaynakların etkin kullanımı, yenilikçi iş modelleri ve uzun vadeli finansal istikrar gerektirir. Sosyal Sürdürülebilirlik: İnsan hakları, eşitlik, eğitim, sağlık ve toplumsal kalkınmayı içeren boyutlar. Sosyal sürdürülebilirlik, toplumların refahını ve bireylerin yaşam kalitesini artırmayı amaçlamaktadır. Bu rapor, sürdürülebilirlik anlayışının sadece çevreyi koruma amacı taşımadığını, aynı zamanda ekonomik gelişme ve toplumsal eşitlik ile de ilişkilendirildiğini belirterek daha kapsamlı bir yaklaşımı savunmuştur. Bununla birlikte, "kapsayıcı kalkınma" ve "fırsat eşitliği" gibi temel ilkeleri de gündeme getirmiştir. Brundtland Raporunun Küresel Farkındalık Üzerindeki Rolü: Küresel Kalkınma Stratejisi: Rapor, sürdürülebilir kalkınmanın yalnızca gelişmiş ülkelerin değil, tüm dünya ülkelerinin sorumluluğu olduğuna dikkat çeker. Toplumsal ve Çevresel Etkiler: Çevresel bozulmanın toplumsal eşitsizlikleri derinleştirebileceğini ve bu durumun daha geniş bir sosyal sorumluluk anlayışı gerektirdiğini vurgular. Uzun Vadeli Perspektif: İnsanların çevresel ve ekonomik kararlarının uzun vadeli etkilerini göz önünde bulundurarak hareket etmeleri gerektiğini vurgular, çünkü kısa vadeli çıkarlar uzun vadeli zararlara yol açabilir. Brundtland Raporu, sürdürülebilir kalkınmanın temelini atarken, çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliğin birlikte ele alınmasını savunarak, günümüzdeki kalkınma politikalarına önemli bir yön vermektedir [1]. Sürdürülebilirlik kavramı, günümüzde daha fazla önem kazansa da aslında kökleri çok daha eski zamanlara dayanmaktadır. Bu düşüncenin temelleri, eski kültürlerde doğaya saygı ve dengenin korunması gibi temalarla şekillenmiştir. Yunan mitolojisindeki Gaia örneği, bu anlayışın erken bir temsilidir. Gaia, doğanın koruyucusu olarak kabul edilen bir figürdür ve bu mitolojik hikaye, doğa ile insan arasındaki dengenin korunmasının önemini vurgulamaktadır. Bu eski anlayış, sürdürülebilirlik düşüncesinin tarihsel kökenlerine ışık tutmaktadır [2]. Sürdürülebilirlik, zaman içinde daha geniş bir perspektife taşınmış ve çeşitli alanlarda uygulanmaya başlanmıştır. Ormancılık, balıkçılık ve tarım gibi yenilenebilir kaynaklarla ilgili ilk sürdürülebilirlik anlayışları, özellikle 19. yüzyılda literatüre girmeye başlamıştır. Bu dönemde, çevrenin korunması ve doğanın sürdürülebilir şekilde kullanılması gerektiği fikri, pek çok düşünür tarafından dile getirilmiştir. Örneğin, Hans Carl Von Carlowitz, 19. yüzyılda ormanların sürdürülebilir şekilde kullanılmasını savunmuş ve bu konuyu "Sylvicultura Oeconomica" adlı eserinde detaylandırmıştır [3]. 1950'lerde, balıkçılık sektöründe sürdürülebilirlik düşüncesi daha belirgin hale gelmiş, "minimum sürdürülebilir avlanma" gibi kavramlar ortaya çıkmıştır. Bu dönemde çevresel bozulmaların önüne geçilmesi amacıyla, doğanın limitlerini zorlamadan, uzun vadede sürdürülebilir bir kaynak kullanımı benimsenmeye başlanmıştır. Sanayi devriminin ardından, 1970'lerde çevreye dair ciddi sorunlar ortaya çıkmış ve çevre kirliliği, kaynak tükenmesi gibi sorunlar büyük bir tehdit oluşturmuştur. Bu dönemde, özellikle Birleşmiş Milletler tarafından düzenlenen çevre konferansları ile çevresel sürdürülebilirlik daha da önem kazanmıştır. 1972'de İsveç'in Stockholm şehrinde düzenlenen Birleşmiş Milletler Çevre Konferansı, çevre sorunlarının dünya çapında bir mesele haline gelmesine ve çevresel sürdürülebilirliğin kavramsallaşmasına zemin hazırlamıştır. 1960'lar ve 1970'lerde yayımlanan çalışmalar, ekonomik büyümenin sınırlarını ve kaynakların tükenişini ele alarak, dünya için tehdit oluşturan çevre sorunlarına dikkat çekmiştir. Bu dönemde yapılan çalışmalar, sürdürülebilirliğin ekonomik kalkınma ile çevreyi uyumlu hale getirmek gerektiğini savunmuştur.

Bankacılık tarihi, zamanla gelişen ve karmaşıklaşan bir sektör olarak, çeşitli kavramların evrimleşmesine neden olmuştur. Lombardiyalı Yahudi tüccarlarının pazarlarda bankacılık işlemleri yaparken kullandıkları "banco" (masa) terimi, bankacılık faaliyetlerinin kökenini anlamamıza yardımcı olur. Bu nedenle banka kelimesinin, İtalyanca "banço"dan türediği düşünülmektedir [4], [5]. Bankaların işlevlerini tanımlamak, sektörün çeşitlenmesi nedeniyle zamanla daha zor hale gelmiştir. Avrupa Ekonomik Topluluğu'nun 1977 yılında yayımladığı yönerge, banka terimini şu şekilde tanımlamaktadır: "Halktan mevduat toplayan veya geri ödenmesi kararlaştırılmış fonlar kabul eden, ayrıca kendi hesabı için kredi verebilen girişim." [6]. Bu tanım, bankaların temel işlevlerini açıklasa da, günümüzde bankaların faaliyetleri çok daha karmaşık hale gelmiştir. Bankacılığın tarihi, çok eski zamanlara dayanan köklü bir geçmişe sahiptir. Sümerler, M.Ö. 3500 civarında kurdukları "market" adı verilen kuruluşlarda, çiftçilere ayni ve nakdi kredi vererek, aynı zamanda mevduat kabul ederek bankacılığın temellerini atmışlardır. Bu ilk bankacılık faaliyetleri, düzenli bir evrak sistemiyle yapılmış ve bu kuruluşlar oldukça iyi örgütlenmişlerdir. Roma, Antik Yunan ve Eski Mısır gibi medeniyetlerde de benzer bankacılık işlemleri yapıldığına dair kanıtlar bulunmaktadır. Bu dönemlerde ticaretin gelişmesiyle birlikte, bankacılık işlemleri daha zengin grupların eline geçmiş ve marketlerden tacirlerin uzmanlaştığı bir alan haline gelmiştir [7]. İlk bankaların kuruluşu, Orta Çağ'da İtalya'da başlamıştır. 1462 yılında, Perugia'da kurulan Monte de Pietà adlı banka benzeri kuruluşlar, başlangıçta yoksullara yardım etmek amacıyla kurulmuş, ancak zamanla bankacılık işlevlerine evrilmiştir. Bu bankaların en bilinen örneği Banca Monte dei Paschi di Siena, 1472 yılında Siena şehrinde kurulmuş olup, bugün bile varlığını sürdüren dünyanın en eski bankası olarak kabul edilmektedir. İtalya'daki bu tür bankacılık kuruluşlarının yayılmasıyla birlikte, Amsterdam, Paris ve Hamburg gibi Avrupa'nın diğer önemli şehirlerinde de benzer bankalar açılmaya başlanmıştır. Bu gelişmeler, 18. yüzyılda bankacılığın Avrupa'ya yayılmasını sağlamıştır. Ayrıca, Avrupa'da 18. yüzyıldan 20. yüzyıla kadar bir dizi köklü banka kurulmuş, merkezi yönetimle bankacılık faaliyetleri genişlemiş ve hukuki düzenlemeler yapılmıştır. Bankacılık faaliyetlerinde önemli gelişmeler, İngilizler'in ilk merkez bankasını kurmasıyla başlamış, daha sonra Fransızlar da emisyon bankasını kurmuştur. Bu süreç, Endüstri Devrimi ile hız kazanmış, yatırım için gerekli kredi ihtiyacı artmış, uluslararası ticaret yaygınlaşmış ve yeni bankacılık enstrümanlarına duyulan ihtiyaç modern bankacılığın doğmasına zemin hazırlamıştır. Teknolojik ilerlemeler ise bankacılığın bugünkü modern haline gelmesine katkı sağlamıştır [7]. Bankacılığın gelişimi, ilk kez Antik Mezopotamya'da görülen basit finansal işlemlerden, Orta Çağ'da kurulan yoksul yardım amaçlı kuruluşlara, ardından modern bankacılık yapılarının evrilmesine kadar uzun bir yolculuk geçirmiştir. Bu gelişmeler, günümüzdeki finansal sistemin temellerini atmıştır. İktisat bilimi, sınırsız insan ihtiyaçlarının sınırlı kaynaklarla nasıl karşılanabileceğini araştıran bir disiplindir. 1760'larda başlayıp 1830'lara kadar süren sanayi devrimi, ülkelerin üretime yönelmesiyle birlikte doğal kaynakların hızlı bir şekilde tükenmesine ve doğanın dengesinin bozulmasına neden olmuştur. Bu süreçle birlikte, sanayileşmenin büyümesi adına çevresel ve sosyal faktörlere daha fazla dikkat edilmesi gerektiği fark edilmiştir. Sürdürülebilir kalkınma, ekonomik gelişmenin yanı sıra çevresel ve sosyal gelişmeleri de desteklemeyi amaçlayan bir anlayıştır [8]. Bu kavram, büyük ülkeler tarafından kabul edilmeye başlanırken, küçük ölçekli işletmeler de zamanla bu anlayışı benimsemiştir. Günümüzde işletmeler, başarılarını yalnızca ekonomik performanslarıyla değil, aynı zamanda çevresel ve sosyal sorumluluklarıyla da ölçmektedir. İşletmelerin sürdürülebilirlik uygulamaları "kurumsal sürdürülebilirlik" olarak adlandırılmaktadır. Kurumsal sürdürülebilirlik, işletmelerin çevresel faktörlere olan duyarlılıklarını ön planda tutarak, çevreye duyarlı tüketicilerin ilgisini çekmelerini sağlar. Bu sayede işletmelerin itibarı artar ve piyasalarda sürdürülebilirlik endeksleri oluşturulmaya başlanır. Türkiye'deki BİST Sürdürülebilirlik Endeksi de bu tür endekslerden biridir. İngilizce "sustainability" kelimesi Türkçeye "sürdürülebilirlik" ve "süreklilik" olarak çevrilir. "Süreklilik" kelimesi, TDK'ye göre "kesintisiz olarak devam etme durumu" anlamına gelir.

Sürdürülebilirlik kavramı, tarihsel olarak ilk kez iktisat literatüründe "sürdürülebilir kalkınma" olarak ortaya çıkmıştır. 1987 yılında, Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından hazırlanan Brundtland raporunda, sürdürülebilir kalkınmanın en yaygın tanımı yapılmıştır. Bu raporda, sürdürülebilir kalkınma, "şu anki neslin ihtiyaçlarını karşılayarak, gelecek nesillerin refahını tehdit etmeden" tanımlanmıştır. 1992 yılında yapılan Rio Konferansı, bu kavramın dünya genelinde daha fazla önem kazanmasına zemin hazırlamıştır. 10 yıl sonra, Güney Afrika'da yapılan Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi, Rio'daki

kararların uygulanması ve karşılaşılan zorlukların aşılması için çözüm önerileri sunmuştur. Sürdürülebilir kalkınma daha çok ülkeler için geçerli iken, firmalar için kurumsal sürdürülebilirlik terimi kullanılmaktadır. Kurumsal sürdürülebilirliğin temeli çevresel, sosyal ve ekonomik faktörlere dayanır ve bu faktörlerin işletmelerin faaliyetlerine entegre edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır [9].



Şekil 1. Sürdürülebilir Kalkınma ve Kurumsal Sürdürülebilirlik [9]

Çevreyle ilgili meseleler uluslararası düzeyde uzun yıllardır tartışılmakta olup, önemli yasal düzenlemeler ve anlaşmalar yapılmıştır. 1980 yılında ABD Kongresi, çevreye verilen zararın tazmin edilmesi ve sorumluların belirlenmesi amacıyla Kapsamlı Çevresel Müdahale, Tazminat ve Sorumluluk [10] Yasası'nı (CERCLA) kabul etmiştir. Bu yasa, özellikle tehlikeli atıkların yönetimi ve bu atıklardan sorumlu kişi ya da kurumların belirlenmesi konusunda önemli adımlar atılmasını sağlamıştır. 1960'lı yıllarda, savaşların olumsuz etkileri ve çevre kirliliği karşısında doğayı korumaya yönelik küresel bir tepki ortaya çıkmıştır. ABD ve İngiltere başta olmak üzere, çevre koruma bilincinin arttığı bu dönemde, Birleşmiş Milletler 1972 yılında İsveç'in başkenti Stockholm'de İnsan Çevresi Konferansı'nı düzenlemiştir. Bu konferans, çevre hakkı ve ortak sorumluluk gibi kavramların ilk defa geniş çapta tartışıldığı bir platform olmuştur [11]. Bir diğer önemli kilometre taşı ise 1992 yılında Brezilya'nın Rio de Janeiro şehrinde gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'dır. Bu konferans, dünya genelindeki çevre sorunlarına karşı ortak bir çözüm bulmayı amaçlamış ve iklim değişikliği, ozon tabakasının incelmesi, su ve hava kirliliği gibi sorunların çözülmesi için global bir eylem planı oluşturulmasına yönelik kararlar alınmıştır. Konferans sonucunda yayımlanan Rio Deklarasyonu, çevreyi korumanın kalkınma sürecinin ayrılmaz bir parçası olduğunu vurgulamaktadır. Reel sektör, fon ihtiyacı duyduğunda genellikle bankalara başvurmaktadır. Bankalar, finansal aracılık hizmeti sağladıkları için çevreye genellikle düşük düzeyde etki ederler, ancak sağladıkları fonlarla, çevre, sosyal adalet ve ekonomi üzerinde önemli etkiler yaratabilirler. Bankalar, sürdürülebilir yatırımlar gibi uzun vadeli, düşük getirili projelere fon sağlarken, bu yatırımların çevre ve toplum üzerindeki etkileri de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, bankaların tutumları, şirketlerin sürdürülebilir planlarını olumlu ya da olumsuz bir şekilde etkileyebilmektedir [12]. Bankaların çevresel ve sosyal etkileri, içsel ve dışsal olmak üzere iki ana kategoriye ayrılabilir. İçsel etkiler, bankaların faaliyetleri sırasında ortaya çıkan çevresel etkiler, örneğin enerji ve su tüketimi ile kâğıt kullanımı gibi unsurları içerir. Bankalar, bu etkiyi azaltmak amacıyla e-imza, e-kâğıt gibi dijital uygulamalara geçebilir ve enerji tüketimini azaltmak için binalarında yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanabilirler. Bu tür uygulamalar, bankaların sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlayan pozitif adımlarıdır. Dışsal etkiler ise bankaların finansman sağladığı sektörler, verdiği krediler ve yaptığı yatırımlar aracılığıyla çevre ve toplum üzerinde yarattığı olumsuz ya da olumlu etkileri kapsamaktadır [13]. Bankaların sürdürülebilirlik konusundaki sorumlulukları yalnızca iç paydaşlarla sınırlı değildir. Hem dış paydaşlar hem de çevreye karşı da sorumluluk taşırlar. Bu sorumlulukları yerine getirebilmek için bankalar, sürdürülebilirlik politikalarını benimsemeli ve uygulamalıdırlar. Ancak sürdürülebilir politikaların maliyetleri yüksek olabilir, bu nedenle düzenleyici ve denetleyici kurumların bu süreçleri izlemesi önemlidir [14]. Sürdürülebilir bankacılığın en yüksek aşaması, bankaların çevresel ve sosyal etkilerini minimize etmek amacıyla yeşil bankacılık uygulamalarını hayata geçirmeleridir. Bu, bankaların yalnızca finansal getiriyi değil, çevreyi ve toplumu da gözeterek karar almalarını ifade eder. Sürdürülebilir bankacılık, çevresel, sosyal ve etik hususları iş stratejilerine entegre ederek sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmeyi hedeflemektedir.

IV. REKLAMCILIK VE KURUMSAL İLETİŞİMDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Reklam, insanların davranışlarını istenilen şekilde değiştirmeyi hedefleyen, kitlesel iletişim araçlarıyla gerçekleştirilen etkili bir iletişim biçimidir. Bu kavram, kökeni Fransızca "reclamer" kelimesine dayanır ve günümüzde ticari amaçlarla kullanılan önemli bir araçtır. Reklamlar, ürün veya hizmetlerin tanıtılmasını, talebin artmasını ve marka bilinirliğinin güçlenmesini sağlamaktadır. Türk Dil Kurumu'na göre reklam, "bir şeyi halkla tanıştırmak ve beğendirerek satışını sağlamak için uygulanan yöntemler" olarak tanımlanır [15]. Diğer taraftan, reklamlar genellikle sadece ürün hakkında bilgi sunmakla kalmaz, aynı zamanda belirli bir yaşam tarzını ve kültürel normları da yansıtarak toplumsal algıları şekillendirir. Reklamcılığın tarihsel gelişimi, Orta Çağ'dan başlayarak, matbaanın icadıyla birlikte daha geniş kitlelere ulaşan bir süreç izler. 1450'de Gutenberg'in matbaanın bulunması, reklamların yayılmasını hızlandırmış ve el ilanları aracılığıyla daha fazla insana ulaşılmasını sağlamıştır. Sanayi Devrimi ile üretim artışı ve endüstrileşme reklamı daha önemli hale getirmiştir. 19. yüzyılda gazetelerle birlikte reklamlar daha fazla görünür olmuş, radyo ve televizyonun yaygınlaşmasıyla reklamcılık sektörü hızlı bir şekilde büyümüştür [16]. 1957'de Türkiye2de, sadece Resmi İlanlar Şirketi2ne reklam verme hakkı tanınmıştır. 1968'de TRT'nin yayın hayatına başlamasıyla birlikte, Türkiye'deki reklamcılık daha da çeşitlenmiş ve televizyon da reklamcılığın önemli bir aracı haline gelmiştir.

Tablo 1. 1908-1909(Kasım-Aralık) Yıllarında Tanin Gazetesi'nde Yayınlanan Reklamların Analizi [17]

Reklam Türleri	1908	1909	Toplam	Yüzde (%)	Millî İşletme Sayısı
Kültür-Sanat ve Eğitim	99	106	205	35	-2
Hazır Giyim ve Manifatura	46	47	93	15	7
Sağlık İlaç ve Doktor İlanları	24	105	129	22	6
Makine ve Teçhizat Satış	3	44	47	8	
Gıda (çikolata ve hububat)	3	28	31	5	
Kozmetik	-	20	20	3	3
Kurumsal tanıtım ve duyuru	9	5	14	2	
Emlak	5	14	19	3	19
Banka	3	8	11	1,8	-
Turizm ve Eğlence (Piyango)		5	5	0,8	1
Alkol ve Tütün	-	11	11	1,88	1
TOPLAM	192	393	585	100	37

Sürdürülebilir reklamcılığın, çevre bilinci ve etik değerler ile ilişkilendirilerek markaların tüketici davranışlarını nasıl şekillendirdiğini ve çevresel sürdürülebilirliği nasıl teşvik ettiğini kapsamlı bir şekilde ele almaktadır [18]. Öne çıkan bazı önemli noktalar şunlardır:

Sürdürülebilir reklamcılık, çevre dostu ürünler ve hizmetlerin pazarlanmasını teşvik etmekle kalmaz, aynı zamanda etik ve çevresel değerleri vurgulayan mesajlarla tüketici talebini yönlendirir. Bu, markaların sadece finansal karlar değil, aynı zamanda çevresel ve toplumsal sorumluluklar göz önünde bulundurularak

hareket etmelerini gerektirir [19]. Sürdürülebilirlik, çok yönlü bir kavram olarak, çevresel etkiler, toplumsal değerler ve ekonomik boyutlar arasında denge kurmayı gerektirir. Bu nedenle reklamcılıkla ilgili stratejilerin yalnızca tüketici davranışlarını etkilemekle kalmayıp, çevresel etkileri de göz önünde bulundurması önemlidir. Ayrıca, markaların sürdürülebilirlik mesajlarını iletme şekli, tüketicilerin bu mesajlara olan güvenini doğrudan etkileyebilir. Dijital Pazarlama ve Etkili Reklam Stratejileri: Sürdürülebilir reklamcılığın etkisi, dijital pazarlama araçlarıyla daha da güçlenmektedir. İnternette ve sosyal medyada yayılan çevre dostu ürün reklamları, markaların hedef kitlesiyle daha güçlü bir bağ kurmalarına yardımcı olabilir. Ayrıca, geri dönüştürülmüş malzemelerle yapılan dış mekan reklamları gibi yenilikçi reklam yöntemleri, çevre dostu uygulamaların teşvik edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır [20]. Tüketici Davranışları ve Marka Sadakati: Araştırmalar, sürdürülebilir reklamların tüketici sadakatini artırmada ve çevreye duyarlı tüketim alışkanlıklarını teşvik etmede önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Tüketiciler, çevresel sorumluluklarını paylaşan markaları tercih etmekte ve bu da markaların daha geniş ticari faydalar elde etmelerini sağlamaktadır. Yeşil Reklamcılığın Etkisi: Yeşil reklamcılık, tüketicilerin çevresel değerlerine hitap ederek daha fazla etkileşim sağlar. Bu tür reklamlar, çevreye duyarlı davranışları teşvik eder ve markaların etik sorumluluklarını yerine getirmelerini sağlar. Aynı zamanda markalar, bu tür reklamlar aracılığıyla çevresel sürdürülebilirliği sağlama yolunda daha fazla sorumluluk üstlenebilir [21]. Sürdürülebilir reklamcılık, sadece çevresel sorumluluk taşımakla kalmaz, aynı zamanda şirketlerin uzun vadeli başarılarını ve toplumsal katkılarını artıran önemli bir stratejidir. Bu alandaki araştırmalar, reklamcılığın çevre bilinci oluşturma ve tüketici davranışlarını sürdürülebilirlik yönünde şekillendirme potansiyelini vurgulamaktadır.

V. LİTERATÜRDEKİ ELEŞTİRİLER VE TARTIŞMALAR

Sürdürülebilirlik odaklı reklamcılık, son yıllarda önem kazanan bir yaklaşım olmakla birlikte küresel akademik literatürde çeşitli eleştirilere konu olmaktadır. Özellikle greenwashing (yeşil aklama), şeffaflık eksikliği, yüzeysel etik söylemler, tüketici güveni, ölçülebilir etki sorunları ve reklam-strateji uyumsuzluğu gibi başlıklarda yoğun tartışmalar mevcuttur. Aşağıda, literatürde öne çıkan bu eleştiri ve tartışmalar her bir başlık altında örnek akademik çalışmaların bulgularıyla incelenmektedir. Greenwashing (yeşil aklama), şirketlerin önemli çevresel uygulamaları gerçekten hayata geçirmeksizin kendilerini veya ürünlerini çevre dostu gibi göstermeye çalıştıkları aldatıcı pazarlama uygulamalarını ifade eder [22]. Bu strateji, çevresel faydaların abartılması veya çarpıtılması yoluyla tüketicilere ürünü "yeşil" olduğu izlenimini verme üzerine kuruludur. Literatürde, greenwashing uygulamalarının çeşitli biçimleri tanımlanmıştır. Örneğin, TerraChoice tarafından ortaya konulan "yeşile boyamanın yedi günahı" çerçevesinde kanıt sunmama (ileri sürülen çevreci iddiaların güvenilir bilgi veya sertifikalarla desteklenmemesi) ve belirsiz ifadeler kullanma (anlamı muğlak veya aşırı genel kalan çevreci söylemler) en yaygın greenwashing taktikleri arasında sayılmaktadır [23]. Bu tür uygulamalar, şirketlerin gerçekte olduklarından daha çevreci görünmelerini sağlarken, tüketiciyi yanıltmaktadır. Sonuç olarak, greenwashing gerçek sürdürülebilirlik çabalarını gölgeler ve paydaşların şirkete duyduğu güveni zedelediği için akademik çevrelerce yoğun biçimde eleştirilmektedir [23]. Sürdürülebilirlik temalı reklamların bir diğer eleştirilen yönü, iletilen çevresel iddiaların şeffaf bir biçimde desteklenmemesidir. Pek çok reklam kampanyasında "yeşil" iddiaları doğrulayacak somut verilerin veya bağımsız üçüncü taraf onaylarının eksik olduğu belirtilmektedir [23] Örneğin, çevreye dair büyük vaatler içeren bir reklamda bu vaatlerin hangi somut verilere dayandığı veya nasıl ölçüldüğü çoğu zaman belirsiz bırakılır. Bu şeffaflık eksikliği nedeniyle tüketiciler şirketin iddialarını kendi başlarına doğrulamakta zorlanmakta, bu da iddialara duyulan güveni sarsabilmektedir. Nitekim literatürde, sürdürülebilirlik iletişiminde tutarlı ve şeffaf bilgilendirmenin tüketici güvenini inşa etmek ve itibar risklerini önlemek açısından kritik olduğu vurgulanmıştır. Şeffaf olmayan iletişim, şirketleri greenwashing suçlamalarına da açık hale getirmekte ve uzun vadede kurumsal itibar üzerinde olumsuz etkilere yol açabilmektedir. Şirketlerin sürdürülebilirlik odaklı reklamlarında etik değerlere ve toplumsal sorumluluğa vurgu yapmaları olumlu bir yaklaşım olmakla birlikte, bu söylemlerin gerçek kurumsal uygulamalara yansımadığı durumlarda yüzeysel ve göstermelik kaldığı yönünde eleştiriler yapılmaktadır. Akademik çalışmalar, bazı kampanyalardaki etik dil kullanımının derinlikten yoksun olduğunu ve şirketin somut eylemleriyle desteklenmediğini ortaya koymaktadır. Tüketiciler, böyle durumlarda şirketin verdiği

mesajların samimiyetini sorgulamakta ve bu tür yüzeysel etik söylemlere karşı giderek daha şüpheci bir tutum sergilemektedir. Buna karşın, gerçekten samimi ve iyi planlanmış sürdürülebilirlik girişimlerinin tüketici nezdinde çok daha olumlu etki bıraktığı aynı çalışmada vurgulanmıştır [24]. Reklamlarda içi doldurulmadan kullanılan geniş kapsamlı sloganlar da bu bağlamda eleştiri almaktadır. Örneğin "çevre dostu", "yeşil" veya "eko-bilinçli" gibi tanımlayıcı detayı olmayan ifadeler, tüketiciye hoş gelen bir izlenim yaratsa da somut bilgi içermediği için anlamını yitirerek yanıltıcı olabilmektedir [23]. Literatürde bu tür belirsiz söylemlerin, şirketlere kısa vadede bir erdem gösterisi avantajı sağlasa da uzun vadede bilinçli tüketiciler tarafından güvenilmez bulunabildiği ifade edilmektedir. Sonuç olarak, yüzeyde kalan etik mesajlar şirketin itibarına katkı sunmamakta; aksine, mesaj-eylem tutarsızlığı algısını güçlendirmektedir. Sürdürülebilirlik odaklı reklamlarda tüketici güveni kritik bir başarı faktörü olarak görülmektedir. Eğer verilen mesajların doğruluğuna ve samimiyetine inanılmazsa, reklamların hedeflediği etki gerçekleşmeyeceği gibi şirket imajı zarar görebilir. Örneğin, greenwashing ile suçlanmanın bir şirketin itibarı ve reklam mesajlarının inandırıcılığı üzerinde son derece olumsuz etkileri olabileceği belirtilmiştir [25]. Tüketiciler, şirkete dair böyle bir güvensizlik geliştirdiğinde sürdürülebilirlik mesajlarını görmezden gelebilir, hatta şirkete karşı negatif bir tutum geliştirebilir. Nitekim, araştırmalar kurumsal sosyal sorumluluk (KSS/CSR) konusundaki şüpheciliğin, olumsuz ağızdan ağıza iletişim, satın alma niyetinde azalma ve markaya yönelik tutumun kötüleşmesi gibi sonuçlar doğurabildiğini ortaya koymaktadır [24]. Bu durum, tüketici nezdinde güven kaybının somut davranışsal sonuçlara yol açtığını göstermektedir. Güven bir kez sarsıldığında yeniden tesis edilmesi güç olduğu için, akademisyenler sürdürülebilirlik iletişiminde dürüstlük, tutarlılık ve doğrulanabilirlik ilkelerinin merkeze alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Sürdürülebilirlik odaklı reklamların gerçek etkisinin ölçümlenmesi de literatürde tartışılan bir konudur. Şirketlerin bu reklam kampanyaları sonucunda çevresel veya sosyal anlamda somut bir fayda sağlayıp sağlamadığı her zaman net değildir. Akademik çalışmalar, bu tür girişimlerin etkisini değerlendirmenin oldukça karmaşık olabileceğini belirtmektedir. Ölçüm konusunda standartlaşmış metriklerin eksikliği ve reklamların gerçek çevresel/ toplumsal sonuçlar üzerindeki etkisini diğer faktörlerden yalıtmanın zorluğu sıkça vurgulanan problemlerdir (). Örneğin, bir şirketin sürdürülebilirlik reklam kampanyasının karbon emisyonlarında somut bir azalmaya mı yoksa sadece tüketici algısında bir iyileşmeye mi yol açtığını bilimsel olarak ortaya koymak güç olabilir. Üstelik birçok sürdürülebilirlik hedefinin uzun vadeli olması, kısa vadede etki ölçümünü daha da zorlaştırmaktadır [26]. Buna ek olarak, bu tür reklamların istenen davranış değişikliklerini gerçekten tetikleyip tetiklemediği de sorgulanmaktadır. Davranış bilimleri alanındaki bazı çalışmalar, "ahlaki lisanslama" (moral licensing) etkisine dikkat çekerek, çevreci mesajlara maruz kalan bireylerin paradoksal biçimde daha sonra daha az çevre dostu davranışlar sergileyebileceğini öne sürmektedir [27]. Örneğin, bir deneysel çalışmada "yeşil" ürün tercihi yapan katılımcıların, sonrasında çevreye bağış yapma olasılıklarının azaldığı gözlemlenmiştir [27]. Bu tür bulgular, sürdürülebilirlik odaklı iletişimin her zaman beklenen pozitif davranışsal sonuçları doğurmayabileceğine işaret etmektedir. Ölçülebilir etkinin belirsizliği, şirketlerin sürdürülebilirlik reklamları aracılığıyla öne sürdükleri iddiaların somut karşılığının olup olmadığı konusunda akademik tartışmaları canlı tutmaktadır. Sonuç olarak, güçlü kanıt ve metrikselleştirme olmaksızın bu reklamların gerçek dünyadaki faydasını kanıtlamak zorlaşmakta, bu da girişimlerin güvenilirliği üzerinde soru işaretleri yaratmaktadır. Literatürde, reklam-strateji uyumsuzluğuna dair somut örnekler de incelenmiştir. Özellikle fosil yakıt ve enerji şirketleri bağlamında, şirketlerin yeni temiz enerji yatırımlarını ve çevresel duyarlılıklarını vurgulayan reklam kampanyaları yürütürken eş zamanlı olarak yeni petrol/doğal gaz rezervleri geliştirmeye devam etmeleri klasik bir *"gizli taviz"* (hidden trade-off) örneği olarak gösterilmektedir [23]. Bu durumda şirket, bir yandan yenilenebilir enerjiye yatırım yaptığını duyurarak çevreci bir imaj çizerken, diğer yandan asıl faaliyetlerinde çevreye büyük zararlar vermeyi sürdürmektedir. Böylesi bir ikircikli tutum, greenwashing'in en uç biçimlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Reklam ve strateji arasındaki uyumsuzluk, şirketin dış mesajları ile iç gerçekliği arasındaki güven boşluğunu derinleştirerek hem tüketici nezdinde hem de yatırımcılar ve çalışanlar gibi paydaşlar nezdinde güven erozyonuna yol açabilir. Sonuç olarak, akademik çalışmalar sürdürülebilirlik odaklı reklamcılıkta iletişim ile eylemin tutarlılığı sağlanmadığında, uzun vadede kurumsal itibarın zarar göreceğini ve bu nedenle

reklam mesajlarının şirketin gerçek sürdürülebilirlik performansı ile desteklenmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

KAYNAKLAR

[1] G. Yücel, "Sürdürülebilirlik–Nasıl Tasarlayacağız?.," Işık Üniversitesi, 2020.

[2] E. Kula, *History of Environmental Economic Thought*. United Kingdom: Routledge, 1998.

[3] D. Meadows, D. Meadows, J. Randers, and W. Behrens, *The limits to growth*. New York: Universe Books, 1973.

[4] M. Takan, *Bankacılık teori uygulama ve yönetim*. Ankara, Turkey: Nobel Yayınevi, 2001.

[5] F. Kaya, *Bankacılık Giriş ve İlkeleri*. İstanbul: Beta Yayıncılık, 2012.

[6] O. Altuğ, *Banka işlemleri ve muhasebesi*. İstanbul: Türkmen Kitabevi, 2000.

[7] İ. Parasız, *Para Banka ve Finansal Piyasalar*. Bursa: Ezgi Kitabevi, 2000.

[8] M. Saban, H. Küçüker, and M. Küçüker, "KURUMSAL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İLE İLGİLİ RAPORLAMA ÇERÇEVELERİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK RAPORLAMASINDA MUHASEBENİN ROLÜ," *İşletme Bilimi Dergisi*, vol. 5, no. 1. Sakarya Üniversitesi WT - DergiPark, pp. 101–115, 2017, doi: 10.22139/jobs.291818.

[9] D. Ebner, D. Rupert, and R. Baumgartner, "The relationship between sustainable development and corporate social responsibility," *Corporate Responsibility Research Conference (CRRC)*, Jan. 2006.

[10] Ş. Kaypak, "ÇEVRE HUKUKUNUN ULUSAL VE ULUSLARARASI BOYUTLARI TT - NATİONAL AND INTERNATİONAL DIMENTIONS OF ENVIRONMENTAL LAW," *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, no. 10, pp. 205–242, 2012, doi: 10.14520/adyusbd.256.

[11] M. Öztürk and A. Öztürk, "BMİDÇS'den Paris Anlaşması'na: Birleşmiş Milletler'in İklim Değişikliğiyle Mücadele Çabaları," *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 12, no. 4, pp. 527–541, 2019, doi: 10.25287/ohuiibf.494667.

[12] E. Kaya, "Sürdürülebilir Kalkınma Sürecinde Bankaların Rolü ve Türkiye ' de," *İşletme Araştırmaları Dergisi*, vol. 3, p. 2010, 2010.

[13] R. Yazıcı, S. Varsak, and A. Yazıcı, "Asimetrik Bilgi Sorununun Çözümünde Bağımsız Denetimin Önemi," *Balkan ve Yakın Doğu Sosyal Bilimler Dergisi*, vol. 06, no. 02, 2020.

[14] M. H. A. Jeucken and J. J. Bouma, "The Changing Environment of Banks," *Greener Management International*, no. 27, pp. 21–35, Apr. 1999.

[15] U. Batı, *Reklamın dili*. İstanbul: Alfa Yayınları, 2012.

[16] M. Örs, "Günümüz Toplumunda Reklam-Sanat İlişkisi," *Tykhe Sanat ve Tasarım Dergisi*, vol. 2, no. 3, pp. 142–158, 2017.

[17] A. H. Kocakaya, "Advertising Intellection in Ottoman Empire Period end Sample of Tanin Newspaper between 1908 and 1909 Years," *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, vol. 15, no. 24218, pp. 119–148, 2016, doi: 10.21547/jss.256737.

[18] P. C., R. Aggarwal, S. P., and P. K., "Sustainable Advertising based Optimal Media Selection for Segmented Market," *International Journal of Computer Applications*, vol. 178, no. 30, pp. 36–40, 2019, doi: 10.5120/ijca2019919198.

[19] S. Rathee and T. Milfeld, "Sustainability advertising: literature review and framework for future research," *International Journal of Advertising*, vol. 43, no. 1, pp. 7–35, 2024, doi: 10.1080/02650487.2023.2175300.

[20] C. Becan, "Communicating with consumers in environmental sustainability advertising: An analysis of award-winning ads through text mining and sentiment analysis," *New Trends in Marketing and Consumer Science*, pp. 135–158, 2024, doi: 10.4018/979-8-3693-2754-8.ch007.

[21] P. A. B. Lima, F. P. S. Falguera, H. M. R. da Silva, S. Maciel, E. B. Mariano, and L. Elgaaied-Gambier, "From green advertising to sustainable behavior: a systematic literature review through the lens of value-belief-norm framework," *International Journal of Advertising*, vol. 43, no. 1, pp. 53–96, 2024, doi: 10.1080/02650487.2023.2199668.

[22] P. R. Lopes, A. T. Rosário, and F. S. Rosário, "Sustainable Brand Advertising—The Green Advertising for Generation Z, a Qualitative LRSB Analyze," *Platforms*, vol. 2, no. 2. pp. 84–100, 2024, doi: 10.3390/platforms2020006.

[23] S. V. de Freitas Netto, M. F. F. Sobral, A. R. B. Ribeiro, and G. R. da L. Soares, "Concepts and forms of greenwashing: a systematic review," *Environmental Sciences Europe*, vol. 32, no. 1, p. 19, 2020, doi: 10.1186/s12302-020-0300-3.

[24] D. Skarmeas and C. N. Leonidou, "When consumers doubt, Watch out! The role of CSR skepticism," *Journal of Business Research*, vol. 66, no. 10, pp. 1831–1838, 2013, doi: https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2013.02.004.

[25] G. Verleye, A. De Ruyck, W. Vermeulen, and I. Schoenaers, "Credibility of green advertising: six elements that drive credibility in green advertising," *Frontiers in Communication*, vol. 8, 2023, doi: 10.3389/fcomm.2023.1056020.

[26] J. Schwab, "MEASURING THE IMPACT : EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF CSR INITIATIVES ON BUSINESS PERFORMANCE AND SOCIAL OUTCOMES," vol. 23, no. 2, pp. 1–3, 2024.

[27] C. Gu, S. Liu, and S. Chen, "Does Viewing Green Advertising Promote Sustainable Environmental Behavior? An Experimental Study of the Licensing Effect of Green Advertising," *Sustainability*, vol. 14, no. 22, 2022, doi: 10.3390/su142215100.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

The Role of Tax Reforms in Increasing Public Revenues and Economic Development in Albania

Robert Çelo[*], Rovena Bega[2]

[1]*Finance Accounting Department, "Eqrem Çabej" University, Albania.*
[2]*Finance Accounting Department, "Eqrem Çabej" University, Albania.*

[*]*robertcela@gmail.com*

Abstract - The tax system represents one of the most important instruments of a state's economic policy, as it directly affects the collection of public revenues, the allocation of resources, and the stimulation of economic growth. In Albania, several tax reforms have been undertaken over the past decades with the aim of improving the fiscal structure, increasing budget revenues, and strengthening the investment climate. However, numerous challenges continue to hinder the effective functioning of this system, such as high levels of informality, a narrow tax base, tax evasion, and a tax administration that often faces a lack of technical capacity and human resources.

This paper aims to analyze the role that tax reforms have played—and can play—in improving Albania's fiscal performance. Based on empirical data and comparative analysis with other countries in the region and beyond, the research examines the effects of changes in tax policy on the level of public revenues, the stimulation of economic activity, and the attraction of investments. Special attention is given to the impact of the tax system on the private sector, as well as its role in either encouraging or hindering the formalization of the economy.
Additionally, the paper addresses the need for a more balanced approach between revenue collection objectives and the creation of a favorable environment for entrepreneurship.
In conclusion, it is emphasized that the reform of the tax system should not be seen as an isolated technical process, but as part of a broader development strategy that requires inter-institutional cooperation, transparency, and the inclusion of economic and social actors in the policymaking process.

Keywords: Tax system, Fiscal reform, public revenues, Informality, Investments, Formalization of the economy.

Introduction

The tax system plays a key role in the construction and functioning of the modern state, by providing the financial resources necessary for delivering public services, investing in infrastructure, education, healthcare, and implementing social policies. At the same time, through its structure and method of administration, the tax system significantly influences the stimulation or hindrance of economic development, social justice, and equality of opportunity. In this context, tax reforms represent one of the most important public policy tools to address the economic and social challenges a country face.
In Albania, since the 1990s onward, the country has undergone a profound economic transition, accompanied by continuous efforts to build democratic institutions and a functional market economy. Throughout this

process, fiscal reforms—including tax reforms—have been one of the main pillars of economic policy, aiming to modernize the tax administration, improve the efficiency of revenue collection, and stimulate a better business climate. However, Albania continues to face numerous challenges related to informality, tax evasion, a narrow tax base, and a relatively low level of public revenues in relation to Gross Domestic Product (GDP). Over the past two decades, several wide-reaching tax reforms have been undertaken within the country's fiscal system. These range from the introduction of the flat tax in 2008, the shift to progressive taxation in 2014, changes in VAT administration, and efforts to digitalize the tax system, to the implementation of new instruments for formalizing the economy, such as fiscality and online declarations. These reforms have aimed not only to increase public revenues but also to improve fairness and equity in the distribution of the tax burden.
This study aims to comprehensively analyze the effects of tax reforms in Albania, focusing on two main dimensions: (1) their impact on increasing public revenues and (2) their contribution to the country's economic development. The analytical approach will combine theoretical analysis with empirical data, evaluating whether and to what extent changes in tax policies have led to improved fiscal performance and the creation of a more favorable environment for investment and economic growth.
Furthermore, the study will explore how these reforms were designed and implemented, the role of institutions and key stakeholders in the reform process, and the challenges that accompanied these efforts, including the influence of political, economic, and social factors. Special attention will be paid to analyzing the impact of tax reforms during specific periods, such as after the global financial crisis of 2008 or during the COVID-19 pandemic, when the state faced significant pressure to secure public funds under emergency conditions.
In conclusion, this paper aims to provide a clear and well-argued overview of the effectiveness of tax reforms in Albania, draw lessons from the experiences to date, and offer concrete recommendations for improving tax policies in the future, in line with the goals of sustainable development and European integration.

I. Literature Review

Tax systems are among the most important public policy instruments for achieving economic and social objectives. In classical literature, Musgrave & Musgrave (1989) define the functions of the fiscal system as fulfilling the objectives of distribution, resource allocation, and economic stabilization. Within this framework, tax reforms are not seen merely as tools for revenue enhancement but also as elements that can directly influence the business climate, investment levels, and the formalization of the economy.
According to Tanzi and Zee (2000), developing countries often face numerous challenges in mobilizing revenues through taxation due to a narrow tax base, high levels of informality, and limited capacities of the tax administration. They argue that to achieve fiscal sustainability, reforms must focus on broadening the tax base, improving administration, and eliminating the many exemptions that undermine the efficiency of the system.
A significant theoretical and empirical contribution has been made by Bird & Zolt (2005), who emphasize the importance of designing a tax system based on the principles of simplicity, fairness, and neutrality. According to them, in the absence of a coherent fiscal architecture, increasing tax rates can lead to unintended effects such as evasion, tax avoidance, and distortion of competition. They support the idea that tax reform should be integrated with improvements in public governance and fiscal transparency.
On a more practical level, studies by the IMF (2022) and the World Bank regarding Albania and the Western Balkans region have shown that the introduction of new technologies in tax administration—such as electronic invoicing and digital connectivity between taxpayers and tax systems—has led to significant improvements in revenue collection and reduced opportunities for evasion. These studies highlight that improving collection

efficiency is tied not only to changes in tax rates but, more importantly, to the management and control of the fiscal process.

In the Albanian context, a number of local authors have analyzed the effects of tax reforms over the years. Shehaj (2016) finds that the reduction of the corporate income tax in the years following the 2008–2009 financial crisis had short-term positive effects on investments, but its impact on budget revenues remained modest. On the other hand, Dinga (2019) argues that the success of fiscal reforms in Albania is often limited by fragmented policies, the lack of a long-term strategy, and the influence of narrow interests in decision-making. He suggests an integrated model of fiscal reform that combines changes in tax policy with institutional reform of the administration and increased transparency.

A newer approach in the literature connects tax reform with sustainable economic development. Authors such as Piketty (2014) and Zucman (2019) emphasize that fiscal inequalities and unfair tax exemptions damage not only fiscal performance but also public trust and social cohesion. In this regard, tax reforms should aim not only at maximizing revenues but also at ensuring fairness and social inclusion—especially in economies with high levels of informality like Albania.

The literature review suggests that successful tax reforms are those that intertwine with institutional reform, technological adoption, and the building of trust between the state and citizens. For Albania, past experience shows that isolated fiscal interventions have limited effects in the absence of a clear developmental vision and sustainable implementation capacities.

II. Methodology

This study relies entirely on a quantitative analysis to examine the impact of tax reforms on the increase of public revenues and economic development in Albania during the period 2010–2023. The analysis is based on official data obtained from national and international institutions such as INSTAT, the Ministry of Finance and Economy, the Bank of Albania, and the International Monetary Fund.

To assess the impact of the reforms, several key indicators were selected, including public revenues as a percentage of GDP, real gross domestic product, the rates of main taxes such as VAT, corporate income tax, and personal income tax, as well as indicators of the level of economic informality, where data is available.

To analyze the relationship between tax reforms and fiscal performance, a multiple linear regression model was constructed. This model aims to measure whether changes in tax policy have had a statistically significant impact on the level of public revenues and GDP. In addition to the general model, comparative analyses were conducted for specific periods that coincide with key moments of reform, such as the VAT system reform in 2015 and the implementation of electronic invoicing in 2021. These periods were analyzed in more detail to assess the changes before and after the interventions.

The chosen quantitative approach enables a direct assessment of the effects of reforms and provides a foundation for drawing conclusions based on concrete data and measurable statistical analysis.

The model used is as follows:

$$TAPt = \beta 0 + \beta 1 \cdot TVSHt + \beta 2 \cdot TFt + \beta 3 \cdot TIPt + \beta 4 \cdot PBBt + \epsilon t$$

TAP_t = Public revenues (% of GDP)in year t.

$TVSH_{\mathrm{t}}$ = Standard VAT rate in year t

TF_{t} = Corporate income tax revenues (% of GDP)

TIP_t = Personal income tax revenues (% of GDP)
PBB_t = Real Gross Domestic Product (in $billion$ €)
ϵ_t = Error term

The results of the model show that there is a positive and statistically significant relationship between tax reforms and the increase in public revenues in Albania during the period 2010–2023. The increase in revenues from VAT, corporate income tax, and personal income tax has directly contributed to the improvement of fiscal performance. Additionally, economic growth measured by real GDP has had a positive impact on public revenues, reflecting the sustainability of the reforms' effects within the broader economic context.

III. The Tax System and Its Role in the Economy

The tax system is the mechanism through which the state collects revenues from individuals and businesses to finance public expenditures such as education, healthcare, infrastructure, security, and social protection. Despite its financial role, taxes also have a regulatory function, as they influence the behavior of consumers and businesses. Economists identify three main functions of the tax system: the allocation function, which directs resources toward activities that the state wants to encourage or discourage; the distribution function, which helps redistribute income to reduce inequalities; and the stabilization function, which acts as a tool to maintain economic stability through counter-cyclical fiscal policies.

In order to have a fair and functional tax system, several classic principles have been identified, which date back to the time of Adam Smith and are still relevant today. The principle of efficiency states that taxes should not create large distortions in the economic decisions of individuals and firms. Equity is based on two main approaches: horizontal equity, where individuals with similar incomes pay similar taxes, and vertical equity, where individuals with higher incomes pay more. The principle of simplicity suggests that the system should be easy to understand, implement, and administer. Elasticity requires taxes to rise proportionally with economic growth, while security and transparency emphasize that taxpayers should be clear about their obligations and on what basis they are assessed.

In developing and transition countries, such as Albania, the importance of tax reforms is even greater for several reasons. These reasons include the low levels of public revenue collection, which cannot meet social and economic demands, the high rate of informality that weakens the tax base and creates unfair competition, inefficient tax administration, often characterized by bureaucracy, lack of digitization, and corruption, as well as the pressure to attract investment, which often leads to unstable tax policies that are favorable only to a portion of the economy. For these reasons, reforms in Albania should be built on sustainable principles, balancing short-term revenues with long-term development.

IV. Increase in Public Revenues Through Fiscal Reforms in Albania (2020–2024)

During the period 2020–2024, Albania undertook significant fiscal reforms that have impacted the growth of public revenues and improved fiscal sustainability. These reforms included the modernization of the tax administration, the digitization of fiscal processes, and efforts to reduce the informal economy.

According to data from the Ministry of Finance, total revenues for 2024 reached approximately 710.3 billion lek, marking a 10.4% increase compared to 2023. This increase is the result of improvements in tax administration and the implementation of fiscal reforms.

One of the key reforms has been the implementation of the fiscality system, which has improved transparency and reduced opportunities for tax evasion. This system has enabled real-time reporting of transactions, helping to identify violations and improve revenue collection.

Furthermore, revenues from taxes and customs duties (excluding contributions) for the period January–December 2024 reached 457 billion lek, an 8.2% increase compared to the same period in 2023. This shows an improvement in revenue collection by the tax and customs administration.

Additionally, revenues from personal income tax amounted to 66.1 billion lek, a 14.3% increase compared to 2023. This growth reflects efforts to expand the tax base and improve tax collection.

The fiscal reforms implemented in Albania during 2020–2024 have significantly contributed to the increase in public revenues. However, in order to ensure sustainable economic development, efforts must continue to improve fiscal management, reduce the informal economy, and ensure a fair and efficient tax system.

V. Harmonization of Tax Legislation with EU Standards

Harmonizing tax legislation with the standards of the European Union and the recommendations of international institutions is an essential process for countries aiming for European integration, such as Albania. This process is not only technical but is closely linked to improving the business climate, increasing fiscal transparency, and strengthening public institutions.

In the Albanian context, harmonization involves aligning tax laws with EU directives, such as those on VAT, income tax, and tax evasion prevention, as well as implementing international standards for reporting and exchanging tax information. Changes in the 2023 fiscal package aimed to improve policies in the area of value-added tax and excise duties, as well as to gradually align the relevant legislation with EU directives related to these taxes.

Furthermore, institutions such as the IMF and the World Bank have provided clear recommendations for improving tax administration, expanding the taxable base, and reducing fiscal exemptions that undermine efficiency and tax equity. This coordinated approach with international partners aims to create a fair, sustainable, and market-oriented tax system, while simultaneously accelerating Albania's integration into the European family.

VI. Improvement of Tax Administration and Digitalization

In recent years, improving tax administration has been one of the key priorities in Albania's economic reform agenda. Since the collection of public revenue is essential for fiscal sustainability and the financing of public services, a functional, transparent, and efficient tax administration is a necessity. The Bank of Albania and other local and international financial institutions have emphasized the need to strengthen the stability and predictability of the tax system by promoting a simplified and standardized legal framework.

An important step towards this goal has been the digitalization of tax processes, which has seen significant progress, especially after 2020. The COVID-19 pandemic accelerated the need for digital transformation, and the Albanian Tax Administration (DPT) began the broader implementation of online services for taxpayers. Systems such as e-filing, e-invoicing, and platforms for electronic declaration and payment of tax liabilities have now become part of daily operations for businesses and individuals, reducing physical interactions, lowering administrative costs, and improving transparency.

Furthermore, in 2021, Albania began implementing electronic invoicing as one of the main tools to combat informality and improve the traceability of transactions. This system, which became mandatory for all

businesses in 2022, not only helped in more accurate recording of economic turnover but also increased the collection of revenue from Value Added Tax (VAT).

In addition to digitalization, efforts have been made to simplify and standardize tax procedures by developing a clearer framework that is less burdened with subjective interpretations. A concrete example is the effort to consolidate guidelines and regulations scattered across various documents, so that taxpayers can more easily access the necessary information.

However, despite these advances, significant challenges remain. The technical capacity and human resources of the tax administration, especially at the regional levels, are not always aligned with the dynamics of reforms. Moreover, communication and interaction with small and medium-sized businesses often remain limited, which affects the effectiveness of implementing new measures. In this context, it is essential that reforms in tax administration are accompanied by a long-term strategy, including continuous training for staff, development of digital infrastructure, and active involvement of economic actors in the process of designing and implementing fiscal policies.

Only through an inclusive approach, where technical improvements are paired with increased trust and cooperation with taxpayers, can Albania achieve its goal of a fair, efficient, and sustainable tax system that contributes to sustainable economic development and strengthens the rule of law.

Conclusion

In conclusion, tax reforms in Albania have had a significant impact on the increase of public revenue and the improvement of economic development conditions. However, in order to achieve a tax system that is fairer and more efficient, several further steps are necessary. The improvement of tax administration is essential to better manage revenue collection and reduce the opportunities for tax evasion. Additionally, the fight against the informal economy remains one of the main challenges, and solving this issue is crucial for expanding the tax base and increasing citizens' trust in the tax system.

Furthermore, harmonizing the legislation with European standards is necessary to meet the objectives of integration into the European Union and to ensure a sustainable and fair tax system. Continuous efforts in these areas will contribute to the creation of a more sustainable and equitable economy for all citizens of Albania.

References

[1] Musgrave, R. A., & Musgrave, P. B. (1989). *Public finance in theory and practice*. McGraw-Hill.

[2] Tanzi, V., & Zee, H. H. (2000). *Tax policy for developing countries*. *The World Bank Economic Review*, 14(1), 81-103. https://doi.org/10.1093/wber/14.1.81

[3] Bird, R. M., & Zolt, E. M. (2005). *Introduction to tax policy in developing countries*. *National Tax Journal*, 58(1), 155-174.

[4] IMF. (2022). *Improvement of Tax Administration and Increasing the Efficiency of Revenue Collection in Albania.* IMF Report for Albania.

[5] Shehaj, E. (2016). *The impact of tax reforms on investment in Albania after the 2008 financial crisis*. *Albanian Economic Review*, 6(2), 112-125.

[6] Dinga, E. (2019). *Challenges of fiscal reforms in Albania: A critical review*. *Journal of Economic Policy Studies*, 8(3), 47-60.

[7] Piketty, T. (2014). *Capital in the Twenty-First Century*. Harvard University Press.

[8] Zucman, G. (2019). *The hidden wealth of nations: The scourge of tax havens*. University of Chicago Press.

[9] OECD. (2018). *Revenue Statistics 2018: Comparative tables*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/rev_stats-2018-en

[10] Gordon, R. H., & Li, W. (2009). *Tax structures in developing countries: Many puzzles and a possible explanation*. *Journal of Public Economics*, 93(7-8), 855-866. https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2009.06.007

[11] Stiglitz, J. E. (2012). *The price of inequality: How today's divided society endangers our future*. W.W. Norton & Company.

[12] Bird, R. M., & Casanegra de Jantscher, M. (1992). *The theory and practice of tax reform in developing countries*. Cambridge University Press.
[13] Keen, M., & Simone, A. (2004). *Tax evasion and tax administration in developing countries*. *IMF Working Paper*, WP/04/159. International Monetary Fund.
[14] Slemrod, J., & Yitzhaki, S. (2002). *Tax avoidance, evasion, and administration*. *Handbook of Public Economics*, Volume 3, 1423-1470. https://doi.org/10.1016/S1573-4420(02)03018-0
[15] Fajnzylber, P., Lederman, D., & Loayza, N. (2002). *Inequality and growth: The role of initial income distribution*. *Economics & Politics*, 14(2), 231-257. https://doi.org/10.1111/1468-0343.00077

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

ICSIS

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

PRECISION AGRICULTURE FOR IRRIGATION MANAGEMENT IN PAKISTAN

[a] Faras Ahmad Shahbaz [b] Ibrahim Ibn Abdul Wajid [c] Muhammad Momin [d] Haider Ali [e]Dr. Erum Aamir

a: IESE, NUST, Islamabad, Pakistan. moharfaras@gmail.com
b: IESE, NUST, Islamabad, Pakistan. Ibrahim.iaw121@gmail.com
c: IESE, NUST, Islamabad, Pakistan. muhammadmomin592@gmail.com
d: IESE, NUST, Islamabad, Pakistan haider55655555@gamil.com
e: IESE, NUST, Islamabad, Pakistan erum@iese.nust.edu.pk

Abstract **-** Pakistan currently faces challenges related to water scarcity, irrigation management, and increasing agricultural productivity. Precision agriculture (PA) offers itself as a potential solution to these matters. This research paper surveys the use and implementation of precision agriculture techniques in Pakistan's agricultural sector, particularly in irrigation management. The paper delves into various precision agriculture technologies, including their applications and benefits. The aim is to provide insights into the potential of precision agriculture for sustainable irrigation management as well as enhanced crop production in Pakistan.

Keywords- Agriculture, irrigation management, groundwater use, water conservation, and crop production.

1 Introduction

Pakistan's agriculture sector serves as the back- bone of its economy, employing a significant portion of the workforce (approximately 38.5%) and contributing substantially to the country's GDP (close to 20%) [1]. However, numerous challenges exist in the sector, including water scarcity, in- efficient irrigation management, and environmental degradation. Water scarcity stands out as the most critical issue as factors such as climate change, inefficient water distribution, and increasing agricultural demands exacerbate it [2].

Precision agriculture (PA) has gained increasing attention for its potential as a solution to these challenges. Studies demonstrate that, when applied properly, precision agriculture offers solutions to water usage optimization and enhancing agricultural productivity. Precision agriculture makes use of advanced technologies and data- driven approaches, which are tailored to existing agricultural practices such as irrigation, fertilization, and pest management and are then applied in specific field conditions. The developed methods allow for precise and strategic applications of resources. It is for this reason, that precision agriculture is believed to have the potential to improve water efficiency, minimize environmental impacts of agricultural practices, and increase profitability from crop production [3].

The integration of big data analytics and machine learning algorithms enhances the predictive capabilities of precision agriculture. These tools analyze vast datasets, identifying patterns and correlations that inform predictive models for crop growth, pest infestations, and disease outbreaks. Consequently, farmers can implement proactive measures, improving crop resilience and productivity [4].

The adoption of precision agriculture practices is driven by the need to address global challenges such as climate change, food security, and sustainable resource management. By increasing efficiency and

reducing input costs, precision agriculture contributes to economic viability and environmental stewardship. This review paper aims to provide a comprehensive overview of the current state of precision agriculture technologies, their applications, and future prospects in the context of sustainable farming systems [5]. Irrigation, broadly speaking, refers to the application of water to soil to support crop growth. In surface irrigation, gravity determines the distribution of water. For this reason, it is also known as flood or gravity irrigation. The aim is to apply water efficiently to meet the needs of crops, ensure an even distribution, and minimize the amount of runoff and deep percolation. However, the different types of surface irrigation (basin, border, and furrow) offer limited efficiency. The efficiency rates vary, with basin irrigation be- ing up to 40%, border irrigation ranging from 40%-60%, and furrow irrigation varying between 50%-70%. Pressurized irrigation methods (drip and sprinkler) offer better levels of efficiency, but only when applied with proper calculations and expertise. Their range of efficiency can thus vary widely, with sprinkler irrigation having a range of 50%-90% and drip irrigation having 65%-95%. Proper design, management, and operation are crucial for achieving high efficiency and uniform [6].

2 Problem

The agricultural sector of Pakistan depends heavily on irrigation, as the region is largely arid/semi- arid and hence experiences limited rainfall. Its primary source of water for irrigation is the Indus Basin Irrigation System. However, as explored above, conventional methods of irrigation provide limited efficiency. This leads to the wastage of water resources and limited crop growth. Furthermore, increasing urbanization and industrial activities have raised the competition for water resources. This places a further strain on the avail ability of water for agriculture in Pakistan [7].

3 Methodology

3.1 Implementing Geospatial Technologies

The adoption of precision agriculture begins with the integration of geospatial technologies such as Geographic Information Systems (GIS) and Global Positioning Systems (GPS). These tools are essential for mapping and analyzing the spatial variability of fields. Farmers can create detailed maps of their land, identifying distinct zones with different soil types, moisture levels, and nutrient needs. GIS and GPS facilitate site-specific management by providing precise location data, which is critical for the application of inputs like water, fertilizers, and pesticides. This targeted approach enhances resource efficiency, reduces waste, and improves crop yields [8].

3.2 Utilizing Remote Sensing and UAVs

Remote sensing technologies, including satellite imagery and Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), play a crucial role in precision agriculture. These technologies enable the monitoring of crop health, soil conditions, and environmental factors from a distance. Multispectral and hyperspectral imaging can detect plant stress, disease, and nutrient deficiencies before they are visible to the naked eye. UAVs offer high-resolution images and real-time data collection, allowing for timely interventions. By regularly analyzing this data, farmers can make informed decisions on irrigation scheduling, pest control, and nutrient management, ensuring optimal crop performance [9].

3.3 Deploying Proximal Sensors

Proximal sensors, such as soil moisture sensors, weather stations, and plant monitoring devices, are vital for collecting real-time data directly from the field. These sensors provide continuous information on soil properties, microclimate conditions, and plant physiological status. For instance, soil moisture sensors help in precision irrigation by determining the exact water requirements of crops, thereby preventing over- or

under-irrigation. Weather stations monitor local climate conditions, enabling farmers to adjust their practices based on accurate weather forecasts. Implementing these sensors enhances the precision of agricultural practices, leading to better resource management and improved crop health [10].

3.4 Data Analytics and Machine Learning

The vast amount of data collected through geospatial technologies, remote sensing, and proximal sensors can be effectively utilized through data analytics and machine learning. These advanced analytical tools process and analyze large datasets to identify patterns, correlations, and trends that are not immediately obvious. Machine learning algorithms can predict crop growth, pest infestations, and disease outbreaks, enabling farmers to take proactive measures. Data analytics also assists in optimizing input use, improving decision-making processes, and increasing overall farm efficiency. By leveraging these technologies, precision agriculture transforms raw data into actionable insights, enhancing productivity and sustainability [11].

4 Applications

In Pakistan, precision agriculture techniques are being increasingly adopted to address the challenges associated with irrigation management. Farmers are utilizing remote sensing data and GIS technology to assess soil moisture levels, identify irrigation needs, and delineate areas with water stress. GPS-guided machinery enables precise application of water, reducing over-irrigation and optimizing water distribution across fields. Variable rate irrigation systems offer further customization by adjusting water application rates based on soil moisture variability within fields [12].

4.1 Enhancing Water Conservation

One study conducted at the Postgraduate Agriculture Research Station (PARS) in Faisalabad, Pakistan demonstrated the ability of precise irrigation management to significantly enhance water conservation and water use efficiency. A field was taken and then divided into 30 grids, each measuring 5.64 m × 5.488 m, for soil sampling and analysis. The USDA's WinSRFR 4.1.3 model was used for simulating surface irrigation. Various treatments were tested, combining different border widths and cut-off distances, while keeping other parameters constant. Water use efficiency (WUE) was calculated based on crop yield and total water consumption. The sensors used showed a high coefficient of determination (0.98), making them reliable for irrigation scheduling. Reduced border width, early irrigation cut-off, and high inflow rates improved surface irrigation's hydraulic performance [13].

4.2 Managing Groundwater Use for Irrigation

Another study explored potential solutions to excessive groundwater being pumped during Pakistan's dry season. The study aimed to enhance the Irrigation Advisory System (IAS) via a new approach which integrated GRACE total water storage anomalies (TWSA) and Landsat 8 imagery. This method identifies areas of groundwater depletion by estimating actual crop water consumption using the Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving (SAFER) on Landsat 8 data and calculating crop water demand with the Penman-Monteith (PM) method based on meteorological data from the Global Land Data Assimilation System (GLDAS) for five districts in Punjab during the dry seasons from 2013 to 2020. The study found strong correlations between actual water consumption (SAFER evapotranspiration (ET)) and in-situ groundwater depth, which validated the use of Landsat 8 data for irrigation monitoring. Comparing SAFER ET with PM ET helped identify over/under irrigated areas, reveal- ing that most districts were over-irrigated, indicating a significant potential for water savings. The study showed that integrating GRACE TWSA and Landsat 8 data can enhance IAS efficiency, potentially saving 81% (equivalent to 155 million cubic meters)

of groundwater during the dry sea- son in Central Punjab. This satellite data integration supports global IAS implementation, helping regions with unsustainable irrigation practices and empowering farmers with precise IAS outputs to optimize agriculture [14].

5 Challenges and Barriers in achieving good efficiency

Although precision agriculture offers numerous benefits, many challenges and barriers must be overcome before widespread implementation can take place in Pakistan. The high initial investment costs, many of the technologies being developed for precision agriculture require significant upfront investments. These investments are not limited to just the equipment itself, but also the infrastructure to deploy it and the training of specialists who can handle it. All these factors are especially prohibitive for small farmers. The lack of policy and institutional support. Any successful implementation of precision agriculture in Pakistan will require a top-down approach, with supportive policies, regulations, and institutional frame- works being implemented at a national level that will make it easier for farmers to gain access and training necessary for the use of precision agriculture technology. However, such policies are lacking [15].

6 Conclusion

The potential for precision agriculture to improve irrigation management and enhance agricultural sustainability in Pakistan is immense. By making use of advanced technologies and data-driven approaches, water expenditure can be optimized, and crop growth can be enhanced. Furthermore, water scarcity and environmental degradation can be potentially mitigated. The authors of this paper believe that it is time for policymakers, researchers, service providers, and farmers to make the necessary efforts to explore the full benefits of precision agriculture. Only through collective effort can the existing challenges be overcome and can the safe and sustainable implementation of precision agriculture in irrigation management take place.

References

[1] Muhammad Naveed Anjum, Muhammad Jehanzeb Masud Cheema, Fiaz Hussain, and Ray-Shyan Wu. Precision irrigation: challenges and opportunities. In Precision Agriculture: Evolution, Insights and Emerging Trends, chapter 6, pages 85–101. Elsevier, 2023.

[2] Muhammad Abubakar Aslam, Saddam Hussain, and Muhammad Sohail Waqas. Application of sensor- based precision irri- gation methods for improving water use efficiency of maize crop. Environ. Sci. Proc., 23(1):38, 2023. Presented at the 1st International Precision Agriculture Pakistan Conference 2022 (PAPC2022)—Change the Culture of Agriculture, Rawalpindi, Pakistan, 22–24 September 2022.

[3] Erion Bwambale, Felix K. Abagale, and Geophrey K. Anornu. Data-driven model predictive control for precision irrigation management. Smart Agricultural Technology, 3:100074, 2023.

[4] Junaid Nawaz Chauhdary, Hong Li, Yue Jiang, Xuwei Pan, Zawar Hussain, Maria Javaid, and Muhammad Rizwan. Advances in sprinkler irrigation (2023)

[5] Mohsin Hafeez and Usman Khalid Awan. Water resource potential: Status and overview. In Water Policy in Pakistan, pages 73–90. Springer, 2023. First Online: 27 September 2023.

[6] Adeel Ahmad Nadeem, Zeeshan Zafar, Shoaib Ali, Yufan Zhang -Assessment of irrigation patterns and impacts on groundwater use in the central Punjab, Pakistan. Agricultural Water Management, 289:108545, November 2023. Under a Creative Commons license.

[7] Y. Raza, R. Wu, and B. Lin. A decoupling process of Pakistan's agriculture sector: Insights from energy and economic perspectives. Energy, 263:125658, 2023.

[8] Tayyaba Samreen, Muhammad Ahmad, Muhammad Talha Baig, Remote sensing in precision agriculture for irrigation management. Environ. Sci. Proc., 23(1):31, 2023. Presented at the 1st International Precision Agriculture Pakistan Conference 2022 (PAPC 2022)—Change the Culture of Agriculture, Rawalpindi,

Pakistan, 22–24 September 2022.

[9] Irfan Ullah, Xin-Min Zeng, Saadia Hina, and Vijay P. Singh. Recent and projected changes in water scarcity and unprecedented drought events over southern Pakistan. Frontiers in Earth Science, 2023. This article is part of the Research Topic: Extreme Events and Risk of Hazards: Perspectives from Observations and Modeling.

[10] Uferah Shafi, Syed Ali Hassan. Precision Agriculture Techniques and Practices: From Considerations to Applications. Sensors (2019).

[11] Robert, P.C. Precision agriculture: a challenge for crop nutrition management. In: Horst, W.J., et al. Progress in Plant Nutrition. Developments in Plant and Soil Sciences, vol 98. Springer (2020)

[12] Ishita Bhakta, Santanu, Koushik Majumder. State-of-the-art technologies in precision agriculture: a systematic review. Journal of Science and Agriculture (2019).

[13] Sehrish Kanwal, Muhamad- mad Remote sensing in precision agriculture for irrigation management. Environ. Sci. Proc. Change the Culture of Agriculture, Rawalpindi, Pakistan, 22–24 September (2022)

[14] Yuanyuan Zha, Liangsheng Shi, Assessment of irrigation patterns and impacts on groundwater use in the central Punjab, Pakistan. Agricultural Water Management, Under a Creative Commons license (2023)

[15] Sidra Syed, Xieyao Ma, Vedaste Iyakaremye, Jun Yin, Recent and projected changes in water scarcity and unprecedented drought events over southern Pakistan. Frontiers in Earth Science, This article is part of the Research Topic: Extreme Events and Risk of Hazards: Perspectives from Observations and Modeling (2023)

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

THE INFLUENCE OF STUDENTS' EMOTIONAL STATE ON SUCCESS DURING WRITTEN AND ORAL ASSESSMENT

Besa Dogani S

[1*]*Department of Pedagogy, Faculty of Pedagogy, University of Tetova*
[*]*Corresponding Author: e-mail: besa.dogani-ut@unite.edu.mk*

Abstract - The main concern of education today is how to achieve the provision of feedback for the efficient realization of the fulfilment of the mission - the transfer of knowledge, habits, and skills to the students! Undoubtedly, this feedback information is made possible by the assessment process itself, which enables the control, monitoring and grading of the achievements of students in different fields. Checking and evaluating the knowledge of students is an integral element of the learning process. It means the process and procedures which are applied by the teacher to ascertain the degree of acquisition of knowledge, skills, and habits of the student and to measure the quantity and quality of knowledge for which the corresponding assessment will be given. The purpose of control and evaluation is not only to assign a grade, but also to determine the character of acquired knowledge, the volume, depth of knowledge, completeness, accuracy, and practical application of acquired knowledge. This paper will focus on one segment of the evaluation - the emotional state of the students during the written and oral evaluation, also analysing the success or failure because of the occurrence of this obstacle.

Keywords: evaluation, emotional state, students, monitoring, success

INTRODUCTION

It is an absolute fact the one that says that education is a process of acquiring knowledge, skills, values, beliefs, and habits. Educational methods include teaching, training, lecture, discussion and directed research. Education is often done under the guidance of teachers (professors); however, students can also educate themselves (self-educate). Education can take place in formal or informal settings and any experience that has an educational (formative) effect on the way one thinks, feels or acts can be considered education. In the electronic dictionary of today's Albanian language, the term "education" is defined as "the entirety of knowledge and habits that are given systematically and according to a program in schools and different courses to learn and educate the young generation and the general working masses. In the Dictionary of pedagogy, "education" is defined as "a certain system of generalized knowledge and habits in the sciences of nature, society and human thought, which are given in a planned and programmed manner in educational institutions (schools, courses, universities, etc.). From all the above mentioned, we were able to highlight the fact that the education process is more complex than it is thought. If we have to justify why it is said that the process of realizing education in institutions of any kind of level is complex or complicated, we would be justified by saying that within the realization of this process, ways, methods, tools, approaches from the most different, principles, forms, these elements, each of which in its own function, carried out in an efficient and effective manner, are presented as very influential factors in the field of achieving a quality education. In this context, a specific question is posed on that: How to reach the provision of feedback information, or feedback on how far we have reached to the efficient realization of the mission of education - passing on knowledge, habits, and skills to young people? To answer this question, it is quite important to know the adequate path which will enable us to know to what extent or to what intensity we have managed to realize the mission of education. Undoubtedly, all this feedback information is made possible by the evaluation process itself, which process enables checking, tracking, and marking the achievements of students in different fields. Checking and evaluating the knowledge of students is an integral element of

the learning process. By this we understand the process and procedure which the teacher or professor applies to determine the degree of acquisition of knowledge, skills, and habits of the student and to measure the quantity and quality of knowledge for which he will give the corresponding grade. Precisely the focus of this conceptual paper is to highlight the issue of the presence of the emotional state of students during written and oral assessment, emphasizing with a special accent the success or failure because of the appearance of this obstacle.

RESEARCH SUBJECT

This paper includes with a special emphasis the issue of how much the emotional state is present in students during situations when they are subjected to the process of knowledge or skills evaluation, including the part of the manners of manifestation of emotions (even during the oral assessment or the written one), and finally in the form of a conclusion, the orientation of the research subject goes to the point of revealing how the emotional state of the students during the evaluation of knowledge in oral and written form, becomes a decisive factor in the success or failure of students. Based on the above summary, it is possible to determine the factors included in the subject of this research paper, which are:

- the presence of emotions during the assessment of knowledge,
- forms of manifestation of students' emotional state during knowledge assessment,
- the fundamental reasons for the predominance of emotions during the written assessment,
- the fundamental reasons for the predominance of emotions during the oral assessment,
- the display of emotions during the evaluation, a decisive factor in the (un)success of students.

That is, the five factors above are directly presented as key factors whose study will help us in the matter of clarifying the controversy of the research subject. As a result of the relevance that each factor possesses, it is reasonable to treat each of them in detail.

RESEARCH PURPOSE AND TASKS

This paper has the specific goal of researching the impact of the students' emotional state on the evaluation, regardless of if it is a written or oral evaluation, including the causes of the appearance of that emotional state and the consequences it determines during the evaluation.

The purpose of this paper is concretized in several tasks:

- to properly and correctly understand whether the emotional state of the students is emphasized during the written and oral assessment,
- to clarify the most common forms of manifestation of negative emotions during written and oral assessment of students,
- to clarify the fundamental reasons for the prevalence of negative emotions in students during the written assessment,
- to clarify the fundamental reasons for the prevalence of negative emotions in students during the oral assessment,
- to make known the consequence (positive or negative) that results as a cause of the presence of negative emotions during the assessment.

Following this research paper, all predictions, expectations, concise specification of the purpose and tasks of the research, will be presented through assumptions that in various literature are also called hypotheses.

RESEARCH HYPOTHESES

Hypothesis is defined as a scientific assumption, which is put forward to explain a certain phenomenon, to confirm or reject it[1]. In cases where the research group's assumptions turn out to be true, the hypothesis is validated. In cases where the same do not correspond with the results, then the hypothesis is automatically

[1] Buniamin Mehmedi. *Metodologjia e hulumtimeve pedagogjike.* (Tetovo), 2015, page. 93

rejected. The hypotheses or predictions, namely the expectations that are expected to be proven through this research paper are:

- During the assessment or checking of students' knowledge in any subject, emotions are most likely present,
- the manifestation of emotions includes many forms, but as the most frequent form of their manifestation is forgetting the material,
- to some extent, students could manage their emotions during assessment situations in different subjects,
- the emotional state of the students is more pronounced during the oral assessment than during the written assessment,
- the reasons for the predominance of emotions during the written assessment are many, but mainly the pressure of limited time is the most dominant reason,
- the reasons for the predominance of emotions during the oral assessment are many, but the most dominant are the fear of answering on the spot, as well as the teacher's direct attention to the student,
- the display of emotions during the oral assessment to some extent affects the students' failure during that assessment, but the same does not happen during the written assessment.

All these are hypotheses which at the end of this research must be proven, however even if it happens that any of the hypotheses is rejected, this does not make the research paper less valuable, because the hypotheses are only predictions and not absolute judgments.

RESEARCH VARIABLES

There are two types of variables:
The independent variable - the variable that is the cause of the inclusion of a phenomenon as part of scientific research.
The Dependent variable - the phenomenon that changes or appears because of the influence of certain conditions[2].

Within this paper, the independent variable, which can otherwise be conceived as a cause, as well as the dependent variable, which is otherwise named as consequence, are also included. Undoubtedly, based on the variables, the discovery of relationships or cause-effect relationships of this research is expressed. In this research, the independent variable triggers the dependent variable, that is, the cause triggers the effect, respectively the effect depends on the cause.

The independent variable of this research paper is the emotional state of students during the assessment of their knowledge.
The dependent variable is the success (achievement or failure) of the students, which is caused by the very presence of the emotional state during the assessment.

RESEARCH METHODS, TECHNIQUES, AND INSTRUMENTS

To achieve the defined goal of this research, both research methods and techniques were used together with research instruments.

Research methods

The conceptual work was carried out based on three main methods: simple observation method, case study method and statistical method.
Since the method of simple observation is the most involved method in research, it has not been neglected in this paper either. The application of this method is as follows: we had the opportunity to directly observe the gender, or mainly the emotional state of the students during the written and oral assessment.

[2] Pajazit Nushi. *Psikologjia e përgjithshme*. (Prishtinë: LIBRI SHKOLLOR, 2002). page 68

Case study method
The case study method has also been present in this paper, where the case studied is precisely about the influence of the emotional state of students on the success during the assessment. The study was done in a detailed way, making it possible to reveal all the circumstances that cause in the first place the appearance of emotionality in students during the evaluation, and then also the impact of the emotional state on the success of the students.

Statistical method
The statistical method in literature is defined as a method which is quite important in scientific research, namely quantitative scientific research, which ensures the extraction of numerical data. In the framework of the realization of the goal of this paper, the statistical method is also included, since the data obtained based on sample research are relatively exact data, which are presented in numerical form.

Research techniques
The survey technique (procedure) was utilized as a research technique in this paper. It was carried out based on a questionnaire, as well as the interview technique, which was carried out by means of the interview protocol.

Survey
The survey is a technique that is used in conceptual papers, with the aim of collecting data on the personality of individuals, as well as what is the most interesting, the attitude of the respondents towards a certain event or phenomenon. Through the survey, we managed to extract numerical data from the respondents, related to some fundamental issues included in this research paper, such as:

- Statements about whether emotions are present in students during assessment,
- the most frequent ways of expressing emotions during the assessment,
- statements about the (impossibility) of proper management of emotions during the assessment process,
- the dominance of the emotional state in one or the other form of evaluation (oral and written),
- the reasons for the predominance of emotions during the written assessment,
- the reasons for the predominance of emotions during the oral assessment,
- statements about how emotions play a role in success or failure during written and oral assessment.

The dominance in the aspects of research within the interview is thus:

- during the assessment of students' knowledge, their emotions are present (93%),
- the most dominant form of manifestation of emotions is forgetting the material in the moments of evaluation (19%),
- the vast majority expressed that they could manage their emotions in the best possible way during the assessment (59%),
- the emotional state is more pronounced during the oral assessment (87%),
- the main reason for showing emotions during the written assessment lies in the pressure of limited time (54%),
- the main reason for showing emotions during the oral assessment lies in the fear of answering in person (32%),
- the dominance of the neutral attitude over the impact of emotions on the failure during the written assessment (45%),
- the emotions that appear during the oral assessment, seal the failure of the students during the oral assessment (46%).

The interview

This technique was carried out in that way, where the interviewees were direct participants in the interview carried out by asking questions. Roughly, the information provided through the interview is close to the data collected through the survey.

Research instruments: two instruments are observed as research instruments, which are the questionnaire and the interview protocol.

Questionnaire: questionnaire is the instrument through which the survey technique was carried out. It contains alternative questions, which coincide with the subject of the research.

Interview protocol: the interview protocol, from its very name, implies that it is the instrument through which the interview technique was carried out.

RESEARCH SAMPLE

As a sample of the research within this paper, we have the students. More specifically, we have a sample of students of different ages, but mainly of the undergraduate cycle of studies, included in the faculties of Pedagogy, Philosophy, Applied Sciences, Economics, Mathematical and Natural Sciences. To gain the opportunity of providing the most objective and exact results, the sample itself is characterized by direct participation in the research.

PROCESSING OF AGGREGATED DATA

Based on the processing of the data collected in the conceptual project, they will be managed to be processed in this way: Classification of data obtained based on two main categories:

- the emergence of emotions during the assessment because of subjective factors,
- the appearance of emotions during the assessment because of objective factors.

Aspects affirmations	presence of emotions	forms of emotion manifestation	skills of managing emotions	emotional state more emphasized during	reasons for dominance of emotions during written assessment	reasons for dominance of emotions during oral assessment
Yes	93%					
No	7%					
Shivers		15%				
Perspiratin		8%				
Difficulty breathing		5%				
Confusion		5%				
forgetting the material		19%				
Stiffness		7%				
frequent heartbeats		18%				
Insecurity		9%				
Fear		13%				
Other		1%				
Yes			59%			
No			41%			
Written assessment				13%		
Oral assessment				87%		
Don't have emotions					23%	
limited time pressure					54%	
Difficulties understanding the questions					3%	
Can't express well in written					9%	

Table 1: Survey results

There is a possibility that emotions during the evaluation are presented because of internal factors, then when they are presented because of various circumstances and factors involved within the students themselves. However, there is a possibility that the display of emotions is triggered because of objective factors, or external factors that disrupt the emotional stability of students during written and oral

assessment. A comparison is made of which of the factors will be dominant in the presentation of emotions among students during the evaluation; objective factors are presented as dominant factors, based on the data collected through the survey and interview.

CONCLUSION

Based on this research paper, we mainly managed to highlight many uncertainties, as well as clarify many controversies regarding the influence of students' emotionality during the assessment process. The work was of a research nature, and it was intended to prove some hypotheses which to a considerable extent were proven. In conclusion, we can conclude that there is no doubt that emotions among students are evident during the assessment process, but the fundamental idea of all this is that considering the results that tended towards what in some cases it was precisely the atmosphere or the climate not suitable, created by the professors themselves, the key factor that caused fear and stress, the professors tried hard to pay attention to this segment during the evaluation of the students. After all, it is stress that has long-term negative consequences on students' mental health!

Reference List

Mehmedi, Buniamin. Methodology of pedagogical research. (Tetovo), 2015
Murati, Xheladin. Didactics -Teaching Methodology, (Tetovo), CABEJ, 2002
Nushi, Pajazit. General psychology. (Pristina: TEXTBOOK, 2002)
https://en.wikipedia.org/wiki/Education (19.03.2022, 21:18) https://en.wikipedia.org/wiki/Djersitja, (22.03.2022, 13:51)
https://en.wikipedia.org/wiki/Fear, (22.03.2022, 13:59) https://en.wikipedia.org/wiki/Emotion, (22.03.2022, 14:14)

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

ICSIS

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Kurkumin Bileşiğinin Anti-Kanser Etkisi

Gizem Güloğlu

Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Özet - Son yıllarda kanser prevelansı artmıştır ve her geçen yıl erken yaşta kansere yakalanma oranı yükselmektedir. Kanser hücreleri birçok mekanizma ile çoğalır ve kanser tedavilerinin (kemoterapi, radyoterapi vb.) fizyolojik olarak yorucu olması araştırmacıları kanser tedavisinde farklı ajanlar aramaya yöneltmektedir. Kurkumin in vivo ve in vitro çalışmalarda farklı mekanizmalar ile kanseri önlediği gözlemlenmiş bir polifenoldür ancak düşük biyoyararlanım nedeniyle insan vücudunda pratikte aynı etkiyi göstermeyebileceğini düşündürmektedir. Emilimi arttırmak ve antikanser etkisini daha da aydınlatmak için devam eden çalışmalar kurkuminin kanseri önleme ve tedaviye yardımcı olacak bir ajan olarak geliştirilebilmesi adına umut ışığı olmaktadır.

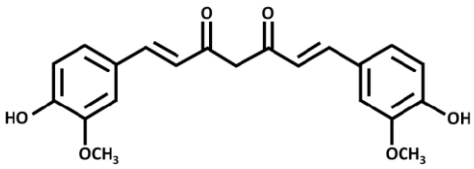
Anahtar Kelimeler - Anti-Kanser, Kurkumin Bileşiği

1.GİRİŞ

Zerdeçal Curcuma longa bitkisinde elde edilen sarı çiçekleri olan; yumru ve basit yapraklara sahip bir bitkidir. Kurkumin ise zerdeçala sarı rengini veren aktif bir polifenoldür (Anand vd. 2007). Kurkuminin güvenli dozlarda toksik etkisi olmaması nedeniyle Amerika başta olmak üzere FDA onaylı doğal renklendirici ve gıda katkı maddesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (https://www.fda.gov/media/132575/download). Kurkuminin farmakolojik etkileri uzun zamandır araştırmacıların dikkatini çekmektedir ancak son yıllarda bu ilgi artmış ve kurkuminin antiinflamatuvar, antioksidan, antitümör ve lipit düzenleyici etkileri olduğu çalışmalarla desteklenmiştir (Chen 2010; Huang vd. t.y.; Tu vd. 2019; Zhang vd. 2016). Kurkuminin bu güçlü ve kapsamlı etkilerine rağmen düşük suda çözünürlüğü, zayıf emilimi ve hızlı metabolizması nedeniyle biyoyararlanımı oldukça düşüktür. Kurkuminin biyoyararlanımını artırmak için yapısal değişiklikler, nanoformülasyonlar ve kurkumin anologları bilim insanları tarafından geliştirilerek etkinliği artırılmaktadır. Bu makalede kurkuminin genel özellikleri ve antitümör etkisi, bu konudaki klinik çalışmalar değerlendirilmiştir (Bolat vd. 2020).

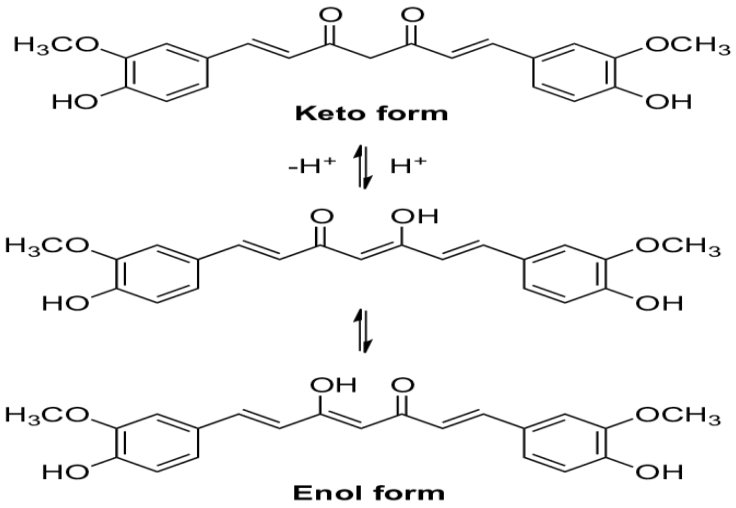
2.Kimyasal Yapısı

Kurkumin, Curcuma longa L.'nin rizomlarından elde edilen doğal bir polifenol bileşiğidir. Kurkumin, kristalin sarı-turuncu renkte bir diferuloylmetan bileşiği olup, 368,39 g/mol molekül ağırlığına, 183°C erime sıcaklığına sahip ve kimyasal formülü C21H20O6'dır. (Şekil 1) (Anand vd. 2007). Kurkumin 1,7-bis(4-hidroksi-3-metoksifenil)-1,6-heptadien-3,5-dion kimyasal gösterimiyle ifade edilebilse de kurkumin I olarak da bilinir. Kurkumin olarak bilinen iki ek bileşik daha bulunmaktadır: kurkumin II (demetoksikurkumin, 1-(4-hidroksi-3-metoksifenil)-7-(4-hidroksifenil)-1,6-heptadien-3,5-dion) ve kurkumin III (bisdemetoksikurkumin, 1,7-bis(4-hidroksifenil)-1,6-heptadien-3,5-dion) (Buckingham, J. (2018). Dictionary of Natural Products on DVD. (Chapman & Hall/CRC).



Şekil 1: Kurkuminin kimyasal yapısı (Anand vd. 2007).

Üç kurkuminoid türevinin de antioksidan özellikleri ve antifungal aktivitesi bulunmaktadır. Bu özellikler en yüksek düzeyde CCM'de gözlemlenir, ardından demetoksikurkumin (DMC) ve bis-demetoksikurkumin (BMC) gelir (Jayaprakasha, Jaganmohan Rao, ve Sakariah 2006). Kimyasal olarak, keto ve enol formları birbirine dönüşebilir; yani asidik ve nötr çözeltilerde baskın bir keto formuna sahipken alkali çözeltilerde ve katı halde baskın form daha kararlı enol formudur (Şekil 2). Kurkumin yapısı, iki terminal fenolik halka ile birleşen merkezi bir 1,6-heptadien-3,5-dion yapı içerir. CCM'nin β-diketon zincirindeki transfer edilen molekül içi hidrojen atomları, dengedeki keto-enol tautomerik konformasyonlarını belirler. (Anonim t.y.)



Şekil 2: CCM'nin enol ve keto formları (Anonim t.y.).

3.Emilim ve Biyoyararlanımı

İnsanlarda yüksek doz (12g/gün) kurkumin alınması durumunda dahi kurkuminin biyoyararlanımı düşüktür. Bağırsaktaki zayıf emilim, karaciğerde metabolizmanın hızlı olması ve sistemik eliminasyon biyoyararlanımın düşük olması sebepler arasında sayılabilir. Oral yolla alınan kurkuminin düşük bir miktarı emilerek metabolik modifikasyona uğrarken büyük bir kısmı ise metabolize olamadan feçes yoluyla atılır (Klickovic vd. 2014). Kurkumin metabolizması iki temel aşamada gerçekleşmektedir. İlk aşamada, kurkuminin indirgenmesi söz konusudur. Enterositler ve hepatositlerde bulunan redüktaz enzimleri kurkuminin indirgenmesini katalize eder. Bu süreçte oluşan başlıca indirgeme ürünleri; dihidrokurkumin, tetrahidrokurkumin, hekzahidrokurkumin ve oktahidrokurkumin (hekzahidrokurkuminol) olarak tanımlanmıştır. Bu reaksiyonlar, NADPH bağımlı redüktazlar, alkol dehidrogenaz ve kimliği henüz tam belirlenmemiş mikrozomal bir enzim tarafından katalize edilmektedir. İkinci aşamada indirgenmiş olan metabolitler ve kurkumin glukuronik asit ve sülfatla konjuge edilirek suda çözünürlüğü artar ve vücuttan atımı kolaylaşır.Glukuronidasyon ve sülfatlama reaksiyonları, sırasıyla glukuronil transferaz ve sülfotransferaz enzimleri tarafından gerçekleştirilir. Kurkuminin konjugasyon reaksiyonları, sıçanlarda ve

insanlarda karaciğer ve bağırsak dokularında gerçekleşir. Uridin difosfat-glukuronosiltransferaz (UGT) kurkuminin glukuronidasyonunu katalize ederken Fenol sülfotransferaz 1A1 (SULT1A1) ve fenol sülfotransferaz 1A3 (SULT1A3) ise insan ve sıçanların bağırsaklarında kurkumini sülfata bağlamaktadır. İnsanlar kurkumini oral yolla aldıktan sonra kurkuminin bir kısmı emilerek glukuronid ve sülfat konjugatları olarak plazmada bulunur (Hoehle, Pfeiffer, ve Metzler 2007; Zeng vd. 2017). Kurkuminin biyoyaralanımını arttırmak için bazı stratejiler geliştirilebilir. Biyoyaralanımı azaltan süreçleri engellemek için karabiberdeki piperin glukuronidasyonu inhibe ederek emilimi arttırmayı amaçlar; kurkumin nanopartikülleri, çözünürlüğü ve emilimi arttırarak bağırsaktan emilmeyi kolaylaştırır; lipozomlardaki kurkumin ile kurkumin lipozom içinde mide-bağırsak ortamından korunurur; kurkumin fosfolipit kompleksleri hücre zarından geçişi kolaylaştırır ve çözünürlüğü arttırır; yapısal kurkumin analogları ile stabil ve metabolize edilmesi daha zor bileşikler oluşturulabilir. (Takahashi M, vd.2019) Pascale ve arkadaşlarının yaptığı Randomize kontrollü çapraz bir araştırmada zerdeçaldan elde edilen kurkuminoidlerin farklı formülasyonları insan vücudunda nasıl emildiği karşılaştırılmıştır. 30 sağlıklı katılımcıya beş farklı kurkumin dozu her doz 500 mg olacak şekilde birer hafta ara ile verilmiştir. Çalışmada standart kurkuminoid ekstresi, mikellar kurkuminoid formülasyonu, kurutulmuş kolloidal süspansiyon, lesitin bazlı kurkuminoid kompleksi, uçucu yağ içeren kurkuminoid formülasyonu beş farklı kurkumin formülasyonu olarak kullanılmıştır. Bu formülasyonlar arasında mikellar kurkuminoid formülasyonu emilim açısından en yüksek biyoyararlanımı göstermiştir. Ayrıca mikellar yapılı ürünün emilim değeri standart zerdeçal ile karşılaştırıldığında kurkuminoidlerin emilim formülasyonuna göre yüksek oranda değiştiği sonucu çıkartılabilir (Fança-Berthon vd. 2021). 2022 yılında yayınlanan başka bir randomize çift kör çalışmada ise kurkuminin düşük biyoyararlanımını arttırmak amacıyla Curcuwin Ultra+ (CU+) adında yeni bir formu değerlendirilmiştir. 24 sağlıklı yetişkin katılımcıya sırası ile 250 mg CU+, 500 mg CU+ ve 1900 mg standart %95 kurkumin ekstresi verilmiştir. Her uygulama sonrası gönüllülerden kan örnekleri alınarak plazma kurkuminoid seviyeleri ölçülmüştür. Çalışmanın sonucunda CU+ formu geleneksel forma göre daha hızlı emilmiş hem 250 mg hem de 500 mg CU+ formülasyonunun geleneksel forma kıyasla yaklaşık 100 kat daha fazla maksimum plazma konsantrasyonu (C_max) sağladığını ve AUC (eğri altı alan) değerlerinde anlamlı artışlar gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar CU+'nın terapötik etkinliğin erken başlaması açısından avantaj yaratabileceğini ve kurkuminin biyoyararlanımı arttırmaya yönelik stratejilerde CU+ nın güçlü bir aday olduğu gözlemlenmektedir (Kothaplly vd. 2022).

4.Zerdeçaldaki Kurkumin İçeriği

Zerdeçal Curcuma longa bitkisinde elde edilir. Sarı çiçekleri olan bu bitkinin yumru ve basit yaprakları da vardır. Zerdeçalın 100 gramı 390 kkal'dir (Tablo 1) (Erkul, Özenoğlu, ve ReiS 2021) ve zerdeçal tozunun ağırlık olarak %12-14 ü kurkumin tarafından oluşturulur (Kongpol vd. 2022). Kurkumin; Curcuma longa L.'nin köksapından elde edilen kurutulmuş zerdeçal tozunda bulunur. Kurkumin ve kimyasal olarak ilişkili diğer iki bileşik demetoksi-kurkumin (DMC) ve bisdemetoksikurkumindir (BDMC) başlıca bileşenleridir. Söz konusu bileşenlerin zerdeçalda bulunma oranı yaklaşık olarak kurkumin %77, DMC %17 ve BDMC %3 olarak kaydedilmiştir (Ramesh vd. 2020).

Tablo 1:Zerdeçalın 100 gramında bulunan besin değerleri (Erkul vd. 2021).

Enerji	390 kcal
Karbonhidrat	69,9 g
Protein	8 g
Yağ	10 g
Kalsiyum	0,2 g
Fosfor	0,26 g fosfor
Sodyum	10 mg
Potasyum	2500 mg
Demir	47,5 mg
Tiamin	0,9 mg
Riboflavin	0,19 mg
Niasin	4,8 mg
Askorbik asit	50 mg
Diyet Lifi	21 g

Zerdeçalda bulunan biyoaktif maddelerinin %6'sı, terpen ailesinden türeyen bileşiklerden oluşmaktadır. Bu grup içerisinde en dikkat çeken bileşikler arasında ar-turmeron, β-sesquiphellandrene ve α-zingiberen yer almaktadır. Zerdeçal aynı zamanda polifenoller açısından da zengindir. Özellikle kurkuminodiler, yani ferulik asit türevleri, bu polifenol grubunun en önemli üyeleri arasındadır (Kukula-Koch vd. 2018). Zerdeçal içerisindeki kurkumin başta olmak üzere kurkuminoid miktarının floresans spektrokopisi yöntemiyle belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada 15 farklı zerdeçal örneği spektroskopil analiz ile kontrol edilmiştir ve bazı örnekler arasında önemli farklılıklar gözlemlense de ticari zerdeçal tozlarında ölçülen ortalama kurkumin içeriği %4,2 olarak bulunmuştur. Bazı örneklerde kurkumin miktarı beklenenden oldukça düşük çıkmasının nedeni ürünlerin saf olmayabileceği ve ürünlere farklı katkı maddeleri konulmuş olabileceği ihtimalini düşündürmektedir. Bunun dışında üretim ve depolama süreçlerinde yanlış depolama koşulları ve üretim yanlışları da yine farklılıklara sebep olabilmektedir (Ali vd. 2019).

5.Kurkuminin Farmakolojik Aktivitesi

Yapılan birçok çalışma kurkuminin antioksidan, antiinflamatuvar, kan lipit düzenleyicisi ve antitümör etkisi olduğu üstünde durmaktadır (Chen 2010; Tu vd. 2019; Zhang vd. 2016, 2018) . Bu derlemede antitümör etkisi ele alınacaktır

5.1.Antitümör Etkisi

Kanser dünya çapında bir halk sağlığı sorunudur. Kanser hücrelerinde normal hücrelerin aksine kontrolsüz hücre çoğalması, anormal hücre farklılaşması ve metastaz gibi birçok ögenin var olması süreci zorlu ve karmaşık yapmaktadır. Kurkumin antikarsirojenik aktiviteleri sayesinde araştırmalara konu olmuş ve birçok çalışmada kurkuminin farklı kanser çeşitlerine karşı önemli etkileri olduğu gözlemlenmiştir. Kurkuminin antikanser mekanizmaları, hücre proliferasyonu, apoptoz, hücre göçü, invazyon ve immün regülasyon gibi çeşitli sinyal yolları aracılığıyla gerçekleşmektedir (Giordano ve Tommonaro 2019). Kurkumin, NF-κB/VEGF sinyal yollarını inhibe ederek anjiyogenezi baskılayabilir ve birden fazla moleküler bileşiği hedef alarak anti-metastatik etkiler gösterebilir. Feng ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada kurkuminin NF-κB/VEGF sinyal yolları üzerinden mide kanseri kaynaklı mezenkimal kök hücrelerin (GC-

MSC) aracılık ettiği anjiyogenezi baskılayıp baskılamadığı araştırılmıştır. Mide kanseri hastalarının dokularından izole edilen GC-MSC hücreleri 10,20,40 μM dozlarında kurkumin, karşılaştırma için PDTC (NF-κB inhibitörü) ve anti-VEGF antikorları ile muammele edildi. Çalışmanın sonucunda kurkuminin 40 μM dozunda en güçlü etkiyi göstererek VEGF (Vasküler Endotel Büyüme Faktörü) üretimini %65 oranında azalttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, HUVEC hücreleri üzerinde yapılan kurkumin uygulaması tüp oluşumu, hücre göçü ve koloni oluşturma testlerinde, anjiyojenik aktiviteleri %70 oranında inhibe etmiştir. PDTC gibi NF-κB inhibitörleri ve VEGF nötralize edici antikorlar da benzer sonuçlar vermiştir, bu da kurkuminin etkisinin bu sinyal yolları aracılığıyla gerçekleştiğini göstermektedir. Sonuç olarak, kurkuminin anjiyogenez ve metastaz üzerindeki inhibe edici etkileri, onun potansiyel bir antikanser tedavi ajanı olarak kullanılabileceğini gösteren güçlü bir bulgu oluşturmuştur (Huang vd. t.y.). İstanbulda yapılan bir çalışmada kurkuminin biyoyararlanımını arttırmak amacıyla piperin ile birlikte emülsom haline getirilmiştir ve HCT116 adlı insan kolorektal kanser hücrelerine kurkumin, piperin ve bunların emülsom formülasyonları uygulanarak etkileri incelenmiştir. Canlılık testlerinin sonuçları incelendiğinde serbest kurkumine oranla emülsomlar daha fazla kanser hücre ölümüne sebep olmuştur, emülsom tedavisinin apoptozu arttırdığı da akım sitometrisi ile ölçülerek kaydedilmiştir. Yapılan hücre döngüsü analizinde ise zerdeçal emülsomlarının G1 fazını durdurduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak kurkuminin antikanser etkisi, piperinle birlikte emülsom formunda verildiğinde ciddi şekilde artmıştır. Bu yaklaşım, kolorektal kanser tedavisinde umut vaat etmektedir (Bolat vd. 2020). Asmaa ve arkadaşlarının yaptığı araştırmada MCF-7, MDA-MB-231 insan meme kanseri hücrelerine sırasıyla 10μM, 20μM ve 40 μM dozlarında kurkumin 24, 48 ve 72 saat süreyle muamele edilmiştir (Tablo 2). Deney sonunda apoptoz oranları Annexin V/PI boyaması ve akım sitometrisi ile analiz edilmiş ayrıca hücre proliferasyonu MTT testi ile değerlendirilmiştir. Hücre proliferasyonunu doz ve zamana bağlı olarak engellerken apoptozu artırmıştır. Üstelik gen ekspresyonuna etki ederek mir-7-5p'yi baskılayan cİRS-7 ekspresyonunu azaltırken, tümör baskılayıcı mir-7-5p ekspresyonunu arttırarak CKS2 ekspresyonunu azaltmıştır. Sonuç olarak genler aracıllığı ile proliferasyonu inhibe ederek ve apoptozu indükleyerek kurkuminin meme kanseri tedavisinde potansiyel bir tedavi edici ajan olabileceği düşünülebilir ancak daha fazla çalışma ve bulguya ihtiyaç vardır (Abuaisha vd. 2024).

Tablo 2: Kurkumin, ciRS-7/miR-7-5p/CKS2 eksenini düzenleyerek meme kanseri hücre çoğalmasını inhibe eder makale sonuçları (Abuaisha vd. 2024)

Kurkumin Dozu	Uygulama Süresi	Etkileri
10 μM	24-72 saat	Hafif proliferasyon baskılanması. Apoptoz olayı düşük düzeyde arttı. Gen ekspresyon değişimi sınırlı
20μM	24-72 saat	Proliferasyon belirgin şekilde azaldı. Apoptoz orta düzeyde arttı. Mir-7-5-p ekspresyonu arttı, CKS2 azaldı.
40μM	24-72 saat	Proliferasyon kuvvetli şekilde baskılandı. Yüksek oranda apoptoz tespit edildi. ciRS-7 ekspresyonu azaldı, miR-7-5p güçlü şekilde arttı. CKS2 önemli düzeyde baskılandı.

İn vivo bir çalışmada bağışıklık sitemi aktif farelere Glioma hücreleri (Tu-2449 ve Tu-9648) cerrahi yöntemle farelerin beynine enjekte edilmiş ve fareler iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup fareler tümör gelişimini arttırıcı batı tarzı diyet tüketirken ikinci grup fareler diyetlerine ek olarak kurkumin içeren bir beslenme almışlardır.Tu-2449 enjekte edilen fareler 65 gün, Tu-9648 enjekte edilen fareler ise 80 boyunca izlendi. İzlem boyunca farelerin genel sağlık durumu, hayatta kalma süresi ve MRI ile tümör gelişimi takip edilmiştir. Çalışmanın sonucunda sadece batı tarzı diyetle beslenen kontrol grubu fareler tümör nedeniyle 35-44 gün içerisinde ölürken kurkumin verilen farelerden %15'i (Tu-2449) ve %38'i (Tu-9648) tümörü tedavi olarak hayatta kalmıştır. Kurkuminin farelerdeki STAT3 fosforilasyonunu inhibe etmesi JAK/STAT yoluyla hücre çoğalmasını durdurarak apoptozu artırmıştır. Ek olarak kurkumin ümmin sistem hücrelerinin aktivasyonunu artırmıştır. Bu çalışma kurkuminin farelerde JAK1/2-STAT3 eksenini hedef alarak ve bağışıklığı sağlam farelerde bile glioma gelişimini yavaşlatarak etkili bir antikanser stratejisi oluşturabileceği gözlemlenmiştir. Ancak insanlarda doğrudan tedavi olarak uygulanmasa da potansiyel destekleyici bir ajan olarak değerlendirilmesi daha fazla çalışma ile mümkün gözükmektedir.

SONUÇ

Kurkumin, doğal bir polifenol bileşiği olup, antioksidan, antitümör ve antiinflamatuvar özellikleriyle dikkat çeken farmakolojik bir ajandır. Yapılan in vitro ve in vivo çalışmalar ile kurkuminin farklı sinyal yolaklarını hedef alarak, hücre proliferasyonunu baskıladığını, apoptozu artırdığını ve anjiyogenezi engellediğini gözlemlenmektedir. Ancak güçlü biyolojik aktivitesine rağmen düşük biyoyararlanımı, klinik uygulamalarda etkinliğini sınırlayan önemli bir faktördür. Son yıllarda yapılan araştırmalar, kurkuminin emilimini artırmak amacıyla geliştirilen nanopartiküller, libozomlar, mikellar yapılar ve fosfolipit kompleksleri umut verici sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca piperin gibi yardımcı bileşiklerle birlikte alındığında biyoyararlanımın ve terapötik etkinliğin belirgin şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Tüm bu veriler, kurkuminin destekleyici tedavi ajanı olarak potansiyelini göstermekte, ancak daha kapsamlı klinik çalışmalarla bu etkinliğin insanlar üzerindeki güvenilirliği ve sürdürülebilirliği netleştirilmelidir.

KAYNAKLAR

Abuaisha, Asmaa, Murat Kaya, Ilknur Suer, Selman Emiroğlu, Fahrunnisa Abanoz, Mustafa Tukenmez, Neslihan Cabıoğlu, Mahmut Muslumanoglu, Kivanc Cefle, Sukru Palanduz, ve Sukru Ozturk. 2024. "Abstract PO4-28-04: Curcumin inhibits breast cancer cell proliferation by regulating ciRS-7/miR-7-5p/CKS2 axis". *Cancer Research* 84:PO4-28. doi: 10.1158/1538-7445.SABCS23-PO4-28-04.

Ali, Zulfiqar, Muhammad Saleem, Babar Manzoor Atta, Sadaf S. Khan, ve Ghazanfar Hammad. 2019. "Determination of Curcuminoid Content in Turmeric Using Fluorescence Spectroscopy". *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 213:192-98. doi: 10.1016/j.saa.2019.01.028.

Anand, Preetha, Ajaikumar B. Kunnumakkara, Robert A. Newman, ve Bharat B. Aggarwal. 2007. "Bioavailability of Curcumin: Problems and Promises". *Molecular Pharmaceutics* 4(6):807-18. doi: 10.1021/mp700113r.

Anonim. t.y. "Central Food Technological Research Institute, Mysore 570 020, India Received 14 February 2005; received in revised form 28 June 2005; accepted 28 June 2005".

Bolat, Zeynep Busra, Zeynep Islek, Bilun Nas Demir, Elif Nur Yilmaz, Fikrettin Sahin, ve Mehmet Hikmet Ucisik. 2020. "Curcumin- and Piperine-Loaded Emulsomes as Combinational Treatment Approach Enhance the Anticancer Activity of Curcumin on HCT116 Colorectal Cancer Model". *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 8:50. doi: 10.3389/fbioe.2020.00050.

Chen. 2010. "Curcumin Induces Mitochondria Pathway Mediated Cell Apoptosis in A549 Lung Adenocarcinoma Cells". *Oncology Reports* 23(5). doi: 10.3892/or_00000762.

Erkul, Cahit, Aliye Özenoğlu, ve Elif ReiS. 2021. "Zerdeçalın Genel Sağlık Üzerine Etkileri". *Türkiye Sağlık Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi* 4(2):76-87. doi: 10.51536/tusbad.950788.

Fança-Berthon, Pascale, Mathieu Tenon, Sabrina Le Bouter-Banon, Alexis Manfré, Corinne Maudet, Angelina Dion, Hélène Chevallier, Julie Laval, ve Richard B. Van Breemen. 2021. "Pharmacokinetics of a Single Dose of Turmeric Curcuminoids Depends on Formulation: Results of a Human Crossover Study". *The Journal of Nutrition* 151(7):1802-16. doi: 10.1093/jn/nxab087.

Giordano, Antonio, ve Giuseppina Tommonaro. 2019. "Curcumin and Cancer". *Nutrients* 11(10):2376. doi: 10.3390/nu11102376.

Hoehle, Simone I., Erika Pfeiffer, ve Manfred Metzler. 2007. "Glucuronidation of Curcuminoids by Human Microsomal and Recombinant UDP-glucuronosyltransferases". *Molecular Nutrition & Food Research* 51(8):932-38. doi: 10.1002/mnfr.200600283.

Huang, Feng, Yongliang Yao, Jianhong Wu, Qingqian Liu, Jiao Zhang, Xiongyong Pu, Qiang Zhang, ve Longfei Xia. t.y. "Curcumin Inhibits Gastric Cancer-Derived Mesenchymal Stem Cells Mediated Angiogenesis by Regulating".

Jayaprakasha, G. K., L. Jaganmohan Rao, ve K. K. Sakariah. 2006. "Antioxidant Activities of Curcumin, Demethoxycurcumin and Bisdemethoxycurcumin". *Food Chemistry* 98(4):720-24. doi: 10.1016/j.foodchem.2005.06.037.

Klickovic, Uros, Daniel Doberer, Ghazaleh Gouya, Stefan Aschauer, Stefan Weisshaar, Angela Storka, Martin Bilban, ve Michael Wolzt. 2014. "Human Pharmacokinetics of High Dose Oral Curcumin and Its Effect on Heme Oxygenase-1 Expression in Healthy Male Subjects". *BioMed Research International* 2014:1-7. doi: 10.1155/2014/458592.

Kongpol, Kantapich, Namfa Sermkaew, Fonthip Makkliang, Sirinan Khongphan, Litavadee Chuaboon, Attapon Sakdamas, Seiichi Sakamoto, Waraporn Putalun, ve Gorawit Yusakul. 2022. *Food Chemistry* 396:133728. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.133728.

Kothaplly, Sudhakar, Shankar Alukapally, Nagaraju Nagula, ve Rambabu Maddela. 2022. "Superior Bioavailability of a Novel Curcumin Formulation in Healthy Humans Under Fasting Conditions". *Advances in Therapy* 39(5):2128-38. doi: 10.1007/s12325-022-02081-w.

Kukula-Koch, Wirginia, Aneta Grabarska, Jarogniew Łuszczki, Lidia Czernicka, Ewa Nowosadzka, Ewelina Gumbarewicz, Agata Jarząb, Gregoire Audo, Shakti Upadhyay, Kazimierz Głowniak, ve Andrzej Stepulak. 2018. "Superior Anticancer Activity Is Demonstrated by Total Extract of *Curcuma Longa* L. as Opposed to Individual Curcuminoids Separated by Centrifugal Partition Chromatography". *Phytotherapy Research* 32(5):933-42. doi: 10.1002/ptr.6035.

Takahashi M, Uechi S, Takara K, Asikin Y, Wada K. Evaluation of an oral carrier system in rats: bioavailability and antioxidant properties of liposome-encapsulated curcumin. J Agric Food Chem. 2009 Oct 14;57(19):9141-6. doi: 10.1021/jf9013923. PMID: 19757811.

Tu, Qiudi, Yiwen Li, Juan Jin, Xinxin Jiang, Yan Ren, ve Qiang He. 2019. "Curcumin Alleviates Diabetic Nephropathy via Inhibiting Podocyte Mesenchymal Transdifferentiation and Inducing Autophagy in Rats and MPC5 Cells". *Pharmaceutical Biology* 57(1):778-86. doi: 10.1080/13880209.2019.1688843.

Zeng, Xiaohui, Dake Cai, Qiaohuang Zeng, Zhao Chen, Guoping Zhong, Juncheng Zhuo, Haining Gan, Xuejun Huang, Ziming Zhao, Nan Yao, Dane Huang, Chengzhe Zhang, Dongmei Sun, ve Yuxing Chen. 2017. "Selective Reduction in the Expression of UGTs and SULTs, a Novel Mechanism by Which Piperine Enhances the Bioavailability of Curcumin in Rat". *Biopharmaceutics & Drug Disposition* 38(1):3-19. doi: 10.1002/bdd.2049.

Zhang, Guowang, Jiaqing Cao, Erzhu Yang, Bo Liang, Jianing Ding, Jiaming Liang, ve Jianguang Xu. 2018. "Curcumin Improves Age-Related and Surgically Induced Osteoarthritis by Promoting Autophagy in Mice". *Bioscience Reports* 38(4):BSR20171691. doi: 10.1042/BSR20171691.

Zhang, Zhuo, Daniel J. Leong, Lin Xu, Zhiyong He, Angela Wang, Mahantesh Navati, Sun J. Kim, David M. Hirsh, John A. Hardin, Neil J. Cobelli, Joel M. Friedman, ve Hui B. Sun. 2016. "Curcumin Slows Osteoarthritis Progression and Relieves Osteoarthritis-Associated Pain Symptoms in a Post-Traumatic Osteoarthritis Mouse Model". *Arthritis Research & Therapy* 18(1):128. doi: 10.1186/s13075-016-1025-y.

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

ECONOMIC FEASIBILITY OF RAINWATER HARVESTING SYSTEMS IN ISLAMABAD AND PESHAWAR

Erum Aamir * [a] Eiman Nasir [a], Fatima Naeem [a] , Hijab Fatima[a] and Marha Khan[a]

a: IESE, National University of Sciences & Technology Islamabad, Pakistan.
Correspondence author: erum@iese.nust.edu.pk

Abstract- The use of rainwater harvesting systems (RHS) to tackle water scarcity and energy shortages in urban cities is a very effective technique for attaining urban sustainability. However, water and energy saving executions of RHS are rarely explored together. This study explores the economic feasibility of RHS to save water and energy in the topographically similar cities of Islamabad and Peshawar in Pakistan. Three water demands, i.e. lawn irrigation, toilet flushing, and their mixture, were evaluated. Results indicated that higher annual water savings of RHS were associated with larger tanks and lesser water demands in humid regions. However, higher annual energy savings of RHS were related to greater energy consumption for groundwater pumping and larger tank-sizes. In Islamabad, a 20m^3 RHS can achieve 126m^3 of annual water savings and 80%-time reliability for mixed water demand. The RHS technique is not that effective in both cities when tanks of sizes greater than 20 m^3 are used. The economic viability of RHS was confirmed through adequately designed RHS at Islamabad and Peshawar.

Keywords- Economic benefits, Energy saving, Rainwater harvesting, Sustainable water management

1 Literature Review

Across the world, urban water and energy supply systems are under massive stress due to various environmental, socioeconomic, and climatic changes. The urban population facing water scarcity is projected to increase to approximately 2.065 billion people by 2050, which is a 121.3% increase from 2016 [1]. Increasing energy scarcity and energy demand will also lead to higher costs of resources globally [2]. To mitigate this problem, a reliable supply of water and energy is needed, which will also support social and economic development in cities.

The use of RHS is a promising and effective way to lessen the increasing stress on centralized water supply systems. RHS accumulate rainwater from rooftops and store it in tanks. The collected water is then utilized as an alternative to potable and non-potable water, depending on the level of treatment it undergoes [3][4].

Water saving efficiency of RHS has been studied all over the world. In Beijing, a study on multi-performance of RHS showed that depending on their location, RHS can increase water saving efficiency from 9% to more than 90% , and stormwater capture efficiency from 61% to almost 100% [11].In Ethiopia , rainwater harvested from 320 large public institutions accounted for 2.3% of the annual potable water requirement [12]. Use of RHS in public buildings could offer 87% decrease in water demand from centralized sources in Amazon, Brazil [17]. In Alexandria, Egypt, water saving from RHS can satisfy 12% of domestic water needs [13]. An optimized RHW set up at a local school in South Africa was able to supply 65.3% of the water demand for

flushing toilets. [22]. In Blumenau, Brazil, the potential for potable water savings due to RWH ranged from 18.76% to 58.06% [20]. In Taiwan, annual saving of 75.8m^3 of water and 138.6kWh of energy, per household were observed due to effective implementation of RHS [14]. Water collected from decentralized RHS, when solely used for toilet flushing and watering gardens , had a water saving efficiency of 57% in Poland [15]. The implementation of RHS in Brazil also caused a decrease of up to 14.3% in stormwater run-off in urban areas. [18]

The economic viability of RHS has also been studied. In Werrington , New South Wales , a 100m^2 roof top RHS has a payback time of 1 to 6 years , making the implementation of such systems economically feasible [16]. A 385m^2 rooftop RHS implemented in Amazon, Brazil offered a 10-year payback [17] .RWH Filtration Unit , set up in Sydney , Australia , offers a payback time of 8 years [19]. In Portugal , a study conducted on the potential of rainwater harvesting in the retail sector showed that correct implementation of the system could result in financial gain of €330-372 per month [21] .The water and energy saving , as well as economic feasibility of RHS , particularly in areas where groundwater is the regular source of water supply has not been observed before.

2 Introduction

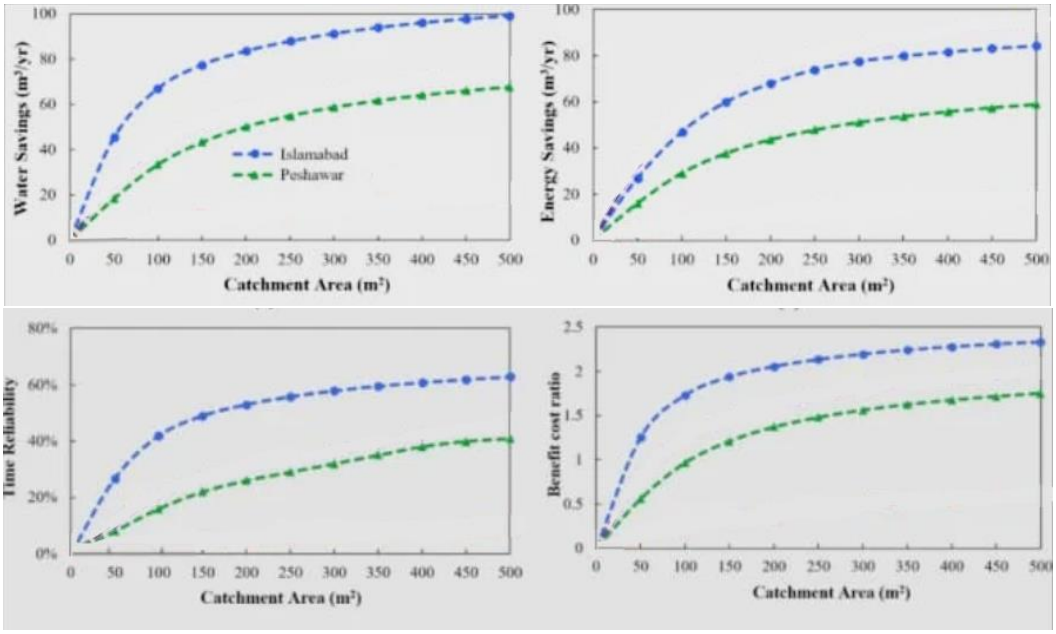
RHS are a viable and economically feasible method to supply water and energy in urbanized areas . The low cost and maintenance makes it an excellent choice for individual implementation [6]. Although , the quality of stored rainwater may decline after a period of almost 60 days , appropriate water tank sizing can help resolve this problem [5].Water and energy saving potential of RHS depends on geographical location , climatic conditions and water demands. Thus RHS design and optimization is an essential tool in sustainable implementation of this technique [7][8].Modelling tools such as probabilistic analytical methods , linear programming and simulation based methods are used to determine optimal tank size for RHS [9][10].

The main objective of this study , was to fill this research gap , by exploring both savings , and feasibility of RHS in urban cities of Pakistan with similar topography (Islamabad and Peshawar) yet diverse water demands. By incorporating the daily rainfall data , tank sizes , roof areas and daily water requirements , a daily water balance model is adopted. To evaluate the economic feasibility of the RHS , a benefit-cost ratio is calculated . Three water demands i.e. toilet flushing , lawn irrigation and mixed water demands , were evaluated and their effects in combination with climatic effects determine the feasibility of the proposed RHS. The results of this study will help in implementation of effective RHS , reducing water and energy supply stress in Pakistan.

2.1 Study Area and Data

The review paper focuses on the two main cities of the country i.e. Islamabad and Peshawar for three important reasons. The main reason is water shortage followed by lack of investigation on RHS in Pakistan and lastly no scrutiny over ground water usage.

The city of Peshawar and Islamabad are warm semi-arid and humid sub-tropical region respectively and consist of mainly flat urban areas. Based on prior research, a particular residential structure accommodating four individuals is selected for analysis. This building features a relatively uniform rooftop area of 280 square meters and an adjacent lawn spanning 80 square meters. It's important to acknowledge that these dimensions are representative averages and may differ in real-world scenarios. Rainwater collected from the rooftop undergoes initial filtration before being utilized for both indoor and outdoor purposes. The statistical analysis of average annual rainfall pattern of two cities is represented in the table given below which shows that the pattern varies considerably between the two cities.



City	*Location*		*Climate Condition*	*Statistics of Annual Rainfall*				
	Latitude	*Longitude*		*Length of data*	*Average Value (mm)*	*Maximum*	*Minimum*	*Standard Deviation*
Islamabad	33.684 N	73.048 E	Humid subtropical	1980-2019	1283	1998	578	302
Peshawar	34.015 N	71.524 E	Warm semi-arid	1980-2019	502	905	252	167

The energy needed to pump groundwater in residential settings is influenced by various factors such as the depth of groundwater, the quantity of water pumped, and the efficiency of the pump. To streamline calculations, this study utilized data from the Pakistan Water and Power Development Authority (http://www.wapda.gov.pk) to obtain the mean energy consumption (Eg) per unit for groundwater pumping (kWh/m3). The average energy consumption per 1 cubic meter for pumping groundwater varies between 0.85 kWh and 1.30 kWh across two cities, as detailed in Table 2.

City	*Energy (kWh/m^3)*	*Domestic unit price (rs/kWh)*
Islamabad	0.90	20
Peshawar	0.87	20

Non-potable water demands i.e. toilet flushing, lawn irrigation and a combination of both were investigated which showed that toilet flushing water demand per person per day is 34L and total daily toilet flushing water requirement is calculated as 0.136 cubic meters per day per residential building, lawn irrigation influenced by various factors was estimated by CROPWAT 8.0 software for the two cities and is represented in the table given below.

3 Research Methodology

3.1 Daily Water Balance Model

The study comprises of a daily water balance system which is based on "Yield after spillage" (YAS) rule and water balance equation. The previous study shows that for the improvement of harvested rainwater quality, 2mm first flush is generally set aside from rainwater storage components and a deduction of 10% is made to compensate the losses due to rooftop RHS evaporation or spilling making run off coefficient equal to 0.9 in this study. The values of first flush and coefficient change with air quality, climate conditions, types of contributing areas and storage units for real case studies.

3.2 Water and Energy Saving Performance Indices of RHS

The two factors that evaluate the performance of water saving of RHS are Annual Water Savings and Time Reliability. Total volume of rainwater supplied by the system per year is equal to the annual volume of rainwater and the ratio of the number of days when water demand is met by collectible rainwater is time reliability.

3.3 Financial Feasibility Analysis

The financial feasibility of RHS can be examined by using benefit-cost ratio (BCR) when total profit is compared with total costs of RHS. For an RHS to be profitable, it must have an RHS value greater than 1.0. Economic benefits of RHS are:

- Energy saving economic benefits
- National Economic Growth
- Reduction of Social Calamity from Low Contaminant

The investments of a RHS contain fixed initial assets cost and operational annual investment. The annual operational cost involves management and maintenance and treatment of water. All the cost values are based on a telephonic market survey and a previous study. As the water supply by RHS based on gravity is considered in this study, no costs of power consumption for RHS in this case.

4 Results

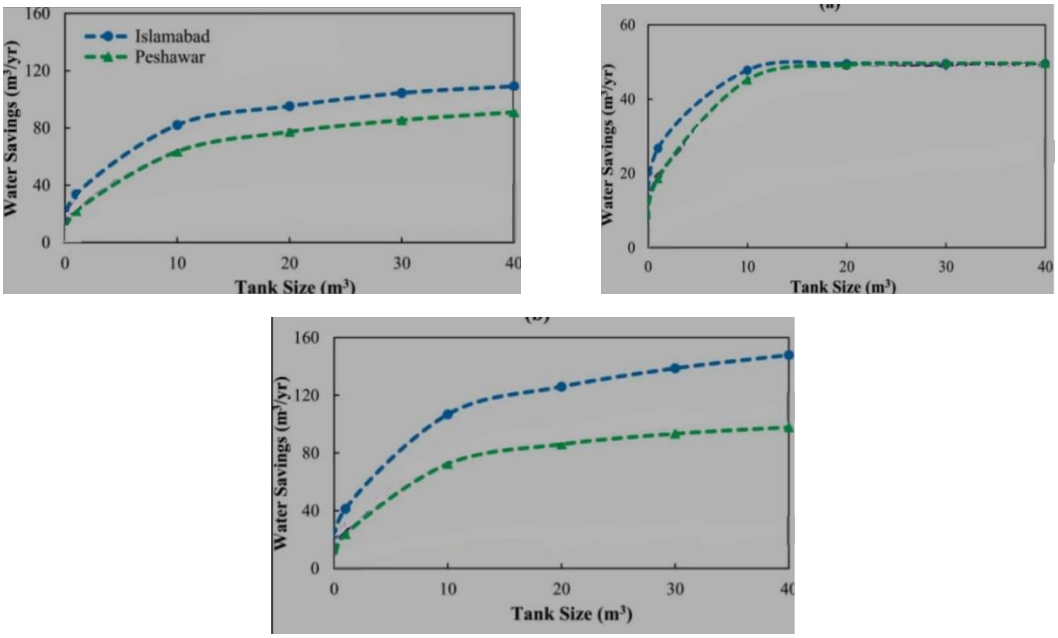
4.1. Water savings of RHS

As per the results shown in the figures, in humid regions, for tanks that are larger than the water demand (low water demands) RHS can be used to avail maximum annual water savings. Although variations do take place in annual water savings (in figure); these variations are dependent on tank sizes, magnitude of local rainfall, climate conditions and water demand.

Annual water savings

- Increase for toilet flushing water demand, when the tank is of 1-20 m3

- Remain under a uniform threshold value of 50 m3 If the tank goes above 20 m3 in Islamabad and Peshawar, as the weather is humid, this is due to the physical phenomena that RHS fulfils the demand of toilet flushing water.
- When the tank size is increased from 20 m3 use of RHS is not that effective in terms of annual water savings of RHS for the toilet flushing water demand, when it comes to Islamabad and Peshawar.
- For lawn irrigation and mixed water demands, the annual water saving demand for RHS increases from 6m3 to 148m3 when the tank size is increased from 1m3 to 40m3 in both cities.
- Islamabad is the most effective city in terms of RHS as it has the highest annual water savings compared to other cities. This is due to different annual precipitation in different cities
- If we see it theoretically, we can conserve the same amount of ground water by using the same amount of RHS per residential building each year, but this depends on the tank sizes, water demand and availability of rainwater. This can help us reduce depletion of ground water
- Tanks of sizes from 1-40m3 are designed to study the effects of RHS, these tanks are designed on the basis of the data of hydrologic condition, design codes and Financial feasibility of RHS.



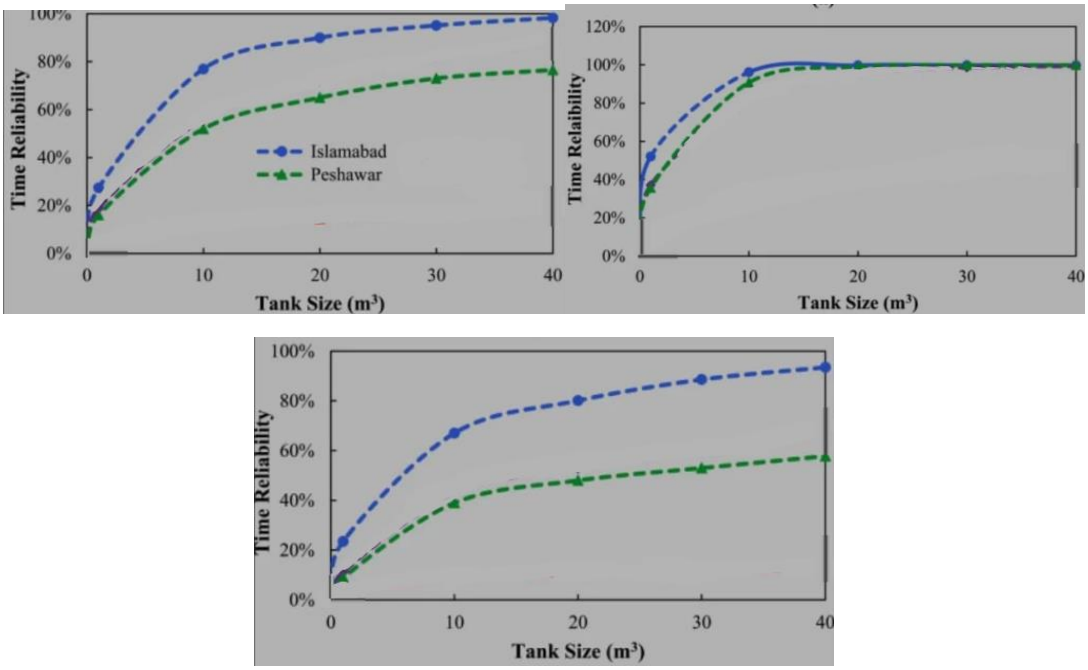
4.2 Time reliability of RHS

The time reliability of RHS can be evaluated using equation (6), while the results are shown in figure (6).

Using the data these things can be evaluated:

- Time reliability of RHS varies similarly to annual water savings as the tank sizes are increased.
- For humid regions, higher time reliability of RHS is linked to having larger tank sizes and lower water demands.
- If the tank size is greater than 20m3 (for both the cities), the toilet flushing water demands the time reliability of RHS is 100%.
- When it comes to lawn irrigation and mixed water demands, the reliability of RHS increases from 4% to 98% when the tank size is increased from 1 m3 to 40 m3.

- We can achieve higher time reliability of RHS if we use the collected rainwater for toilet flushing and not for lawn irrigations. This is due to the physical phenomena that the requirement for toilet flushing water is less than for lawn irrigation.
- 20m3 tank size in Islamabad can have mixed water demands with surety for 80% of the days in a year.



4.3 Energy savings of RHS:

Figure 7 shows the annual energy savings of RHS in the two cities, for different tank sizes under 3 different scenarios. The results show that larger the tank size larger the annual savings of RHS for pumping groundwater. These changes can be seen and notes by using figure 7, it shows that annual energy savings of RHS is not only dependant on energy consumption for ground water pumping and tank sizes but is also dependant on water demands. Annual energy savings of RHS increases from 5 kWh to 144 KWH for lawn irrigations and mixed water demands, this happens when the tank size is changed from 1m3 to 40m3 in both of the cities. Islamabad has higher annual, energy savings of RHS compared to Peshawar.

For toilet flushing, annual energy savings of RHS enhance rapidly when the tank size is changed from 1 to 20m3 and then kept at a uniform threshold value of 45kWH for Islamabad and 42 kWh for Peshawar. In figure 7.b it is explained that the water demand can be met fully by the system if the tank size is 20m3, when the size is increased benefits can't be generated in terms of energy generation.

Note: climatic conditions may not control the energy savings of RHS in the cities where this study was conducted, as the highest annual energy savings of RHS was obtained in the warm semi-arid climatic zone and not in the humid or in the warm desert climate zones.

4.4 Economic feasibility of RHS

Financial evaluation is vital for estimating reasonable design plans, implementation plans, decisions etc for RHS.

We make use of figure to evaluate benefit cost rations (BCRs) of RHS, as it shows the results for Islamabad and Peshawar, the BCRs and RHs augment to maximum values first, and decline later on as the tank size increases from 1-40m3. As rainwater is collected in reasonable amounts in Islamabad and Peshawar, RHS having small tank sizes can offer weak profits, while tanks with bigger size align with higher fixed costs and operating investments. Thus, we can conclude that RHS with both the tank sizes can't give high BCRs values, the highest BCRs values come from using the optimal tank sizes of RHS at specific locations and for specific water demands.

Figure , shows us that optimal tank size of accumulating rainwater for combined demand of lawn irrigation ad toilet flushing is 5m3, which aligns with the highest value of 2.17 of the BCRs.

Water and energy conservation along with environmental profits are limited due to the arid climate conditions. On the other hand, BCRs will diminish as the tank size is increased, as the finance and investment of RHS will increase. Impact associated with water demand scenarios on the economic execution of RHS in both semi air and humid subtropical area is significant, it can be witnessed in fig, RHS placed in city with small tank sizes have lesser BCRs when the collected water is used for toilet flushing then for any other use. Example, 0.87 BCRs is for 10m3 in Islamabad when the collected water is used for toilet flushing, while it increases to 1.38 when it is used for lawn irrigation. BCRs is low in Islamabad due to the fact that the demand for toilet flushing is less which reduces the benefits achieved by RHS.

5 Conclusion

Following conclusions can be drawn from the conducted study:

- A reliable source of water and energy is a need as well as a challenge for sustainable development of cities in the current time
- Water conventional strategies don't require energy is large amounts,
- Results of this study show that water and energy savings as well as economic performance of RHSvaried significantly on factors such as tank sizes, spatial variation of local rainfall, energy consumption for groundwater pumping, water demands and climatic conditions.
- RHS was proven to be not only water conservation but also novel and effective in energy conservation approach to increase water and energy shortage in urban areas.
- As per the BCRs, the most optimum tank size of RHS for mixed water demand was 5m3, which gives us with 90m3, 64m3 and 57m3 of annual water savings and 57%,35% and 34%-time reliability, along with 77 kWh, 83kWh, and 50kWh of annual savings for Islamabad and Peshawar.

We can thus conclude that the method suggested for exploring the potential benefits of RHS has the benefit of being able to use for a wide variety of uses for cities worldwide, and this study can be used as a guide for their implementation and use.

References

[1] C. He, Z. Liu, J.Wu, X. Pan, Z. Fang, J. Li & B. Bryan, " Future global urban water scarcity and potential solution," nature communication, vol. 12, 2021.

[2] T. Ahmed, and D. Zhang, " A critical review of comparative global historical energy consumption and future demand: The story told so far," Energy reports, vol. 6, pp. 1973-1991, 2020.

[3] N. Shafiq, S. S. S. Gardezi, M. F. Nuruddin, and N. A. W. Abdullah Zawawi, " Suitability of roof harvested rainwater for potential potable water production: A scoping review," journal of cleaner production, vol. 248, pp.119226, 2020.

[4] A. H. M. Jamal, Y. Tarek, Md.Siddique , Md. Shaikh, S.Debnath d , Md. Uddin a , S. Ahmed, Md. Ahedul Akbor, M. Al-Mansur, A.Islam , R. Khan, M. Moniruzzaman, and S. Sultana " Development of a fabricated first-flush rainwater harvested technology to meet up the freshwater scarcity in a South Asian megacity, Dhaka, Bangladesh," Heliyon, vol. 9, 2023.

[5] Z. Gao, Q.Zhang, Y. Wang, X. Jv, M. Dzakpasu, and X.C. Wang, "Evolution of water quality in rainwater harvesting systems during long-term storage in non-rainy seasons", Science of The Total Environment, vol. 912, 2024

[6] J. Kelly, M. Tsilahatsy, T. Carnot, R.Fidelos, G. Randriamanampy, A.Charlier, E.Kowalczewski, L.Hasoavana, M. Andriatsihosena, H. Chaplin, and H. Legge, "Low-cost domestic rainwater harvesting in rural southeast Madagascar: A process and outcome evaluation" PLOS Water, vol.10, 2023

[7] M. Semaan, S. Day, M. Garvin, N. Ramakrishnan, and A. Pearce, "Optimal sizing of rainwater harvesting systems for domestic water usages: A systematic literature review", Resources, Conservation & Recycling: X, vol. 6, 2020
.

[8] S. Dijk, A. Lounsbury, A. Hoekstra, and R.Wang, "Strategic design and finance of rainwater harvesting to cost-effectively meet large-scale urban water infrastructure needs", Water Research, vol. 184, 2020

[9] M. Chiano, M. Marchioni, A. Raimondi,U. Sanfilippo, and G. Becciu, " Probabilistic Approach to Tank Design in Rainwater Harvesting Systems," Hydrology, vol. 10(3), 2023

[10] Q. Soh, E. O'Dwyer, S. Acha, and N. Shah, "Modular stochastic optimization for optimal rainwater harvesting system design", Computer Aided Chemical Engineering, vol 52, pp. 697-702, 2023

[11] S. Ali, Y. Sang, M.Yang, J.Shi, and S. Zhang, "Regionalization of environmental and economic performances of rainwater harvesting systems", Journal of Hydrology: Regional Studies, vol 53, 2024

[12] D. Adugna ,M. Jensen ,B.Lemma, and G. Gebrie "Assessing the Potential for Rooftop Rainwater Harvesting from Large Public Institutions", International Journal of Environmental Research and Public Health, vol 336, 2018

[13] T.Gado and D.El-Agha. Feasibility of rainwater harvesting for sustainable water management in urban areas of Egypt. Environ Sci Pollut, vol 27, pp. 32304–32317, 2020

[14] Y.Chui, Y.Tsai and Y.Chiang. Designing Rainwater Harvesting Systems Cost-Effectively in a Urban Water-Energy Saving Scheme by Using a GIS-Simulation Based Design System. Water , vol 7, pp. 6285-6300, 2015

[15] D.Slys and A.Stec.; Stec, A. Centralized or Decentralized Rainwater Harvesting Systems: A Case Study. Resources, vol. 9, pp.5. 2020

[16] M. Alim, A. Rahman, Z. Tao, B. Samali, M. Khan, and S. Shirin, "Feasibility analysis of a small-scale rainwater harvesting system for drinking water production at Werrington, New South Wales", Journal of Cleaner Production, vol. 270, 2020

[17] R. Cardoso, C. Blanco, and J. Duarte, "Technical and financial feasibility of rainwater harvesting systems in public buildings in Amazon, Brazil", Journal of Cleaner Production, vol 260, 2020

[18] D. Custódio, and E Ghisi, “Impact of residential rainwater harvesting on stormwater runoff”, Journal of Environmental Management, vol 326, 2023

[19] A. Rahman, G. Yildirim, M. Alim, C. Amos ,M. Khan,and S. Shirin, Rainwater harvesting systems to promote sustainable water management, Arabian Journal of Geosciences vol 2643 , 2023

[20] A. Fugi, J. Maykot, E.Ghisi, and L.Thives,Economic Feasibility of Rainwater Harvesting in Houses in Blumenau, Brazil, Environmental Sciences Proceedings, vol 25, 2023

[21] A. Ferreira, V. Sousa, M. Pinheiro, I.Meireles, , C.Silva, J. Brito andR. Mateus Potential of rainwater harvesting in the retail sector: a case study in Portugal. Environmental Science and Pollution Research, vol 30, pp. 42427–42442 2023

[22] P. Mahara, and E. Friedrich, “Environmental life cycle, carbon footprint and comparative economic assessment of rainwater harvesting systems in schools – A South African case study”, Water SA, vol 50, 2024

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

ICSIS

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Osteoporotik Vertebral Kompresyon kırıkları, Kemiklerin Sessiz Düşmanı mıdır?

Nevzat YEŞİLMEN [1], Ahmet ÇINAR[2], Taner TUNCER[3]

[1] *Fethi Sekin Şehir Hastanesi , Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Kliniği Elazığ*

dr_nevzat@hotmail.com

[2.] *Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Elazığ*

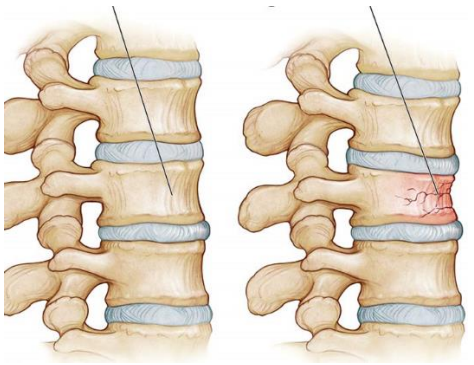
acinar@firat.edu.tr

[3.] *Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Elazığ*

ttuncer@firat.edu.tr

Özet: Osteoporotik kompresyon kırıkları (OCF'ler), özellikle yaşlanan popülasyonda osteoporozun yaygın bir sonucudur. Bu kırıklar tipik olarak torasik ve lomber omurgada meydana gelir ve hareketliliği, yaşam kalitesini ve genel sağlığı önemli ölçüde etkileyebilir. Bu makale, OCF'lerle ilişkili faktörlerini, tanı yaklaşımlarını, tedavi yöntemlerini araştırmaktadır. Osteoporotik kompresyon kırıklarında kifoz skolyoz gelişimine ve ileri düzeyde olduğu zaman da sinir kökü basılarına neden olur. Böylece hastanın yaşam kalitesinin düşürülmesi ile neticelenir.

Daha ileri kırıkların olduğu durumda sagital balans bozulacağından akciğer ve kardiyovasküler sisteme de zarar vereceğinden ölümlü sonuçlara neden olabilmektedir. Bu çalışmada Osteoporotik kompresyon kırıkları erken tespiti ve buna yönelik koruyucu tedbirlerin neler olduğu ve bunun sonucunda hastanın yaşam kalitesinin artırılması için gerekli olan prosedurler ortaya konmuştur. Şekil 1' de normal ve kırık olan vertebra grafileri görülmektedir.



a) Normal vertebral grafisi b) Wedge tipi osteoporotic kırık grafisi

Şekil 1. Normal ve wedge osteoporotic kırık görüntüleri.

Tanı ve Tespit İşlemi:

OCF'lerin tanısı, klinik değerlendirme ve görüntüleme çalışmalarının bir kombinasyonunu içerir: Bunlar aşağıdaki gibidir:

1. X-ışınları: Genellikle birinci basamak görüntüleme yöntemidir; kama şeklindeki deformiteleri gösterir. Özellikle kırığın olduğu bölgede var olabilecek bir tümör veya metastaz gibi durumlara karşı düşük dozda ışın önerilir. Hasta yan pozisyonda olacak şekilde çekilen lateral vertebra grafileri kullanılır.
2. MRI: X- ışını ile kırık tespit edildikten sonra ileri tanı için MR tetkiki önerilir. MR ile kitle ve metestaz ayırımı yapılabilmektedir. Ayrıca ödemi tespit etmek ve akut kırıkları kronik kırıklardan ayırt etmek için de MR görüntüleme faydalıdır
3. BT taramaları: Daha çok kemik yapılardaki deformasyonları tespit etmek için faydalıdır. İlave olarak ayrıntılı kemik yapısı analizi sağlar
4. Kemik yoğunluğu testi (DEXA taraması): Bu yöntem ile Osteoporozun şiddeti değerlendirilir. Kemik mineral yoğunluğu ile ilgili problemlerin tespitinde bu yönteme başvurulur.

Üstte bahsedilen bütün yöntemler osteoporotic kırık görüntülerinin doğru ve anlaşılır bir şekilde ortaya konması için kullanılmaktadır.

Tedavi

Tedavi semptomların şiddetine ve hastanın genel sağlık durumuna bağlıdır. Seçenekler şunlardır: 1. Konservatif Tedavi Ağrı yönetimi için NSAID'ler, asetaminofen, gerekirse opioidler kullanılmalıdır. Kullanım miktarı VAS' a (visual ağrı skalası) göre ve vertebral kompresyon kırık indeksine göre önerilir. NSAID' ler böbrek fonksiyon bozukluğunda kullanıması önerilmemekte, onun yerine karaciğerden elimine edilen asetaminofen tercih edilmektedir.

2. Egzersiz ve Korse Tedavisi: Destek sağlamak ve hareketi sınırlamak için destek sırt kaslarını güçlendirmek ve duruşu iyileştirmek için fizik tedavi önerilir. Kemiğe yük bindiren egzersizlerden sakınılmalı ve vertebra stabilizasyonu sağlayan korse kullanımı geçici bir süre için önerilir.

3. Farmakolojik Tedavi: Kemik erimesini azaltmak için bifosfonatlar (örn. alendronat) kemik yoğunluğunu iyileştirmek için denosumab, teriparatid ve diğer ajanlar kalsiyum ve D vitamini takviyesi kullanılabilir. Bifosfonatlar osteoprotik kırıklarda ilk tercih olarak kullanılır. Akabinde daha ileri vakalarda anabolic ilaçlar olan teriperatid önerilir.

4.Cerrahi Müdahaleler (Vertebroplasti): Yapıyı sabitlemek için kırık vertebraya kemik çimentosu enjeksiyonu ile Kifoplasti uygulanabilir. Bu işlem vertebroplastiye benzer, ancak çimento

enjeksiyonundan önce vertebra yüksekliğini geri kazandırmak için bir balonun yerleştirilmesini ve şişirilmesini içerir.

Sonuç:

Osteoporotik kompresyon kırıkları, özellikle sedanter yaşam tarzının gelmesi ve küresel nüfusun yaşlanmasıyla, önemli bir halk sağlığı sorununu oluşturmaktadır. Önleme, zamanında teşhis, tıbbi ve cerrahi tedavi ve hasta eğitimini içeren multidisipliner bir yaklaşım, optimum sonuçlar doğurur. Özellikle son yıllarda gelişen ilaç teknolojisi, modern fizik tedavi modaliteleri ve cerrahi metodlardaki gelişmeler, osteoporoz tedavisi ve kırık tedavi için umut verici gelişmelerdir. Ancak önemli olan, bireylerin yaşam kalitelerini artırıcı ve komplikasyon gelişimini azaltan yaşam tarzı modifikasyonu bu tür rahatsızlıkların önlenmesinde daha kritik olacaktır.

Kaynaklar:

1. Cosman, F., de Beur, S. J., LeBoff, M. S., et al. (2014). Clinician's guide to prevention and treatment of osteoporosis. Osteoporosis International, 25(10), 2359–2381. https://doi.org/10.1007/s00198-014-2794-2
2. Jang HD, Kim EH, Lee JC, Choi SW, Kim HS, Cha JS, Shin BJ. Management of Osteoporotic Vertebral Fracture: Review Update 2022. Asian Spine J. 2022 Dec;16(6):934-946. doi: 10.31616/asj.2022.0441. Epub 2022 Dec 27. PMID: 36573301; PMCID: PMC9827207.
3. Fatma Yeşim Kutsal and Gizem Olgu Ergin Ergani (2021) "Vertebral compression fractures: Still an unpredictable aspect of osteoporosis," Turkish Journal of Medical Sciences: Vol. 51: No. 2, Article 2
4. Al Taha, K.; Lauper, N.; Bauer, D.E.; Tsoupras, A.; Tessitore, E.; Biver, E.; Dominguez, D.E. Multidisciplinary and Coordinated Management of Osteoporotic Vertebral Compression Fractures: Current State of the Art. J. Clin. Med. 2024, 13, 930. https://doi.org/10.3390 /jcm13040930

4th International Conference on Scientific and Innovative Studies

April 29-30, 2025: Konya, Turkey

ICSIS

© 2025 Published by All Sciences Academy

https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home

Evaluation Techniques for The Assessment of Solid Waste Management Projects

Syed Nouroz Imam[1], Erum Aamir *[2]

[1] National University of Sciences and Technology, NUST, Islamabad, Pakistan

[2] National University of Sciences and Technology, NUST, Islamabad, Pakistan

Corresponding author: erum@iese.nust.edu.pk

Abstract **-** Waste management decision-making demands robust assessment tools. This review aims to guide the selection of appropriate evaluation methods for waste systems. We analyze 150 studies across various goals, methodologies, systems, and impact categories (environmental, economic, social). A shared objective of supporting stakeholders emerges. Life cycle assessments (LCA), multi-criteria decision-making (MCDM), cost-benefit analysis (CBA), risk assessments (RA), and benchmarking dominate the reviewed literature. LCA constitutes approximately 40%, while scenario analysis exceeds 50% for identifying optimal waste management options. Municipal solid waste is the primary focus, with studies often addressing specific environmental burdens. Economic considerations are included in roughly half the studies, while social aspects receive limited attention. System element and boundary definitions exhibit considerable variability, leading to potential result inconsistencies. Based on our review, we recommend: (i) a rigorous mass balance approach encompassing the entire waste system's inputs and outputs, (ii) a goal-oriented interpretation of mass balance results aligned with intended waste management objectives, and (iii) transparent and reproducible presentation of methodology, data, and findings.

Keywords: Assessment methods, benchmarking, cost benefit analysis, life cycle assessment, mass balance, material flow analysis, risk assessment, waste management

1. Introduction

Sustainable waste management demands methods that balance environmental protection, resource conservation, and affordability [1]. Decision makers face a complex landscape of diverse assessment tools, each with strengths and weaknesses. This review delves into 150 studies to guide their choice targeting Sustainable development goal 14 life below water.

Life cycle assessment, multi-criteria decision-making, cost-benefit analysis, and risk assessments dominate the field, primarily focusing on municipal solid waste and environmental burdens [2]. While cost-effectiveness receives due attention, social impact remains a neglected area. Further challenges arise from inconsistent system boundaries and data quality concerns.

To navigate this complexity, we recommend aligning assessments with specific goals, ensuring a comprehensive mass balance, and prioritizing transparency in methodology, data, and results. Future research should prioritize social impact assessment [3], standardized system boundaries [4], and improved data quality.

By adopting these recommendations, decision makers can confidently select and apply assessment tools that optimize waste management systems for the benefit of society, the environment, and their budgets.

2. Methodology

This review synthesizes 150 studies (published through Sept 2013) from ScienceDirect, SAGE journals, and targeted web searches. Keywords like "waste," "assess," and "different assessment methods" guided the initial search, with additional studies identified through references and Google Scholar. After pre-screening, 150 studies were chosen for analysis.

The review systematically examines the goals and scope of these investigations, focusing on:

- Impact assessment: How do studies evaluate technical, economic, environmental, and social impacts of waste management systems?
- System boundaries: Which system elements (waste streams, treatments, compositions) are considered?
- Weighting: Was weighting used, and how was it performed and justified?
- Methodological novelty: Are there any new assessment approaches or tools introduced?

This analysis addresses the following key questions:

i. Study objectives: What are the main goals of the investigations?

ii. Assessment methods: Which specific methods are employed? (Software/tools used? Methodological innovations?)

iii. Scales: What geographical scales are studied (local, regional, etc.)?

iv. Waste streams: Which waste streams are considered (municipal solid waste, industrial waste, etc.)?

v. Assessment aspects: Which aspects are evaluated? (General waste management goals, economic aspects, environmental impacts, social considerations)

vi. Weighting: Are there any weighting steps used?

vii. Study impact: Does the study discuss its own potential influence or limitations?

Results are presented using rounded percentages and broad categories (those contributing <5% grouped as "others"). Slight discrepancies (up to 1%) may occur due to rounding.

3. Results and discussions

Most reviewed studies (41%) employed life cycle assessment (LCA) for evaluating waste management systems. LCA popularity has surged since the 1990s, with tools like EASEWASTE and SimaPro aiding its application [5]. Around 6% used cost-benefit analysis (CBA) [6], and a single study incorporated social CBA for waste-to-energy impacts. Benchmarking, used by 14%, compares practices to identify best practices. Multi-criteria decision-making (MCDM), utilized in 10% of studies, employs tools like ELECTRE and PROMETHEE for decision support. Risk assessment (7%) primarily assesses local environmental impacts of treatment plants.

Each framework has limitations: LCA requires numerous assumptions that can lead to varying results, MCDM results are subjective due to criteria and weighting choices, and CBA struggles with valuing intangible goods and discount rate selection. Combining methods can mitigate these weaknesses. For example, some studies combined LCA with Cumulative Energy Demand and CML methods for a more comprehensive evaluation.

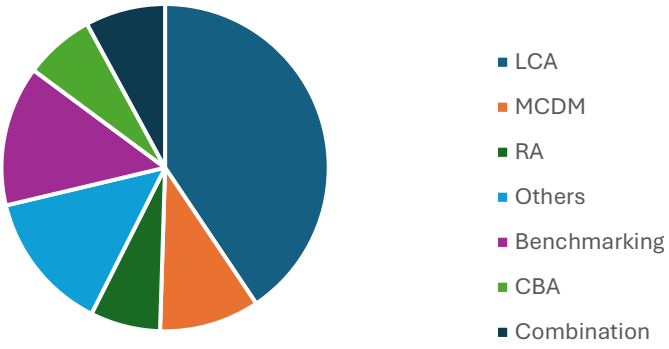


Figure 1: Assessment methods employed in 151 reviewed waste management studies.

CBA: cost-benefit analysis

LCA: life cycle assessment

MCDM: multi-criteria decision-making

RA: risk assessment

Novelties were also reported. Existing methods and software tools were modified to improve quality. One example is adapting the TOPSIS MCDM method for selecting disposal methods. New indices were also developed, such as the Cleaner Treatment Index for assessing environmental performance and the Net Recovery Index for measuring resource conversion capacity [7].

Overall, while existing methods dominate, continuous modification and development strive to provide more robust and informative assessments for waste management decision-making [8].

This review distills four key recommendations for future waste management assessments [9]:

i. Embrace the Triple Bottom Line: Move beyond singular objectives like emissions reduction and define overarching goals encompassing affordability, reliability, environmental protection, resource conservation, and minimal after-care. This means prioritizing social well-being alongside environmental and economic considerations. Imagine waste management not just as a technical endeavor but as a social equalizer, ensuring equitable access to clean air, water, and a healthy environment.
ii. Untangle the "Throughput Economy": Waste management is not a linear process but a complex ecosystem with interconnected flows to the market and environment [10]. Evaluate all direct and indirect impacts, not just emissions at the end of the pipe. Consider the fate of hazardous substances throughout their lifecycle, even in recycled products. Think of plastic not just as a waste stream but as a potential source of environmental contamination [11], even after "disappearing" through recycling.
iii. Apply the Rigor of Mass Balance: Transparency and accuracy are the cornerstones of trust. Adhere to the mass balance principle [12], meticulously tracking inputs and outputs across the entire system. This ensures accountability and allows for data cross-checking, especially valuable when dealing with the inherent heterogeneity of waste streams [13]. Imagine waste management as a closed-loop system where every molecule tells a story, revealing inefficiencies and opportunities for improvement.



Figure 2: The reviewed 151 studies employed various assessment methods (CBA, LCA, MCDM, RA) to analyze economic, environmental, and social aspects of waste management.

iv. Foster Transparency and Reproducibility: Favor methods based on mass balances that promote clarity, objectivity, and reliability of data and methodology. Present results in an informative and transparent manner, using clear visuals and accessible language. Think of waste management assessments not as opaque technical documents but as accessible roadmaps for informed decision-making [14].

By prioritizing these principles, waste management assessments can transcend mere technical analyses and become powerful tools for driving sustainable and equitable solutions. Only by embracing a holistic, transparent, and goal-oriented approach can we truly manage waste responsibly and build a future where resources are used wisely and environmental burdens are minimized. Remember, the path to a sustainable future lies not just in reducing waste, but in understanding its intricate dance with our environment, our economy, and our society.

This revised version further expands on the previous one by adding metaphors and analogies to make the concepts more relatable and engaging. It also emphasizes the social and ethical dimensions of waste management, connecting it to broader environmental concerns and societal well-being [15].

3.1 Analysis of Processes

While aiming for sustainability in waste management necessitates holistic evaluation across environmental, economic, and social pillars, the reviewed studies reveal diverse priorities. Notably, economic aspects, recognized as fundamental due to their influence on system feasibility, are considered on both micro (business) and macro (public) levels, primarily through analyses of investment and operational costs or contributions to GDP. However, their omission in several studies raises concerns about potential implementation barriers for promising waste management strategies.

Environmental considerations, encompassing broad impacts on air, soil, water, and resource consumption, are assessed by most studies (90%). Life cycle assessment (LCA) emerges as a popular tool, delving into specific categories like global warming potential and human toxicity. Conversely, social aspects, encompassing public acceptability, equitable distribution of benefits, and social functions, receive significantly less attention, featuring in only 19% of the reviewed studies. This disparity underscores the need for further research focusing on social implications of waste management practices.

Furthermore, only 28 studies tackle all three sustainability pillars, highlighting a gap in comprehensive assessments. Interestingly, studies considering economic aspects tend to prioritize macro-economic perspectives over micro-economic ones. Notably, LCA and risk assessment methods typically evaluate environmental impacts solely, while multi-criteria decision-making (MCDM) and other diverse methods appear more capable of accommodating all three pillars.

These findings point toward the crucial need for holistic assessments that encompass environmental, economic, and social concerns for optimizing waste management towards true sustainability. Integrating social aspects more rigorously with economic and environmental evaluations through appropriate tools and methodologies should be a key focus for future research. By embracing this comprehensive approach, it was found that waste management systems not only minimize environmental burdens and ensure economic viability but also contribute to social well-being and community engagement.

4. CONCLUSIONS

Unveiling the true impact of waste management systems demands a paradigm shift – from fragmented assessments to a holistic tapestry woven with environmental, economic, and social threads. While a plethora of methods exist, ensuring sustainable practices necessitates a framework that transcends immediate outcomes and delves into the intricate web of interconnected consequences.

References

[1] J. K. S. a. b, "Sustainable waste management systems," *Journal of Cleaner Production,* p. 13, 2010.

[2] G. Finnveden, "Recent developments in Life Cycle Assessment," *Journal of Environmental Management,* vol. 9, 2009.

[3] W. R. Freudenburg, "Social Impact Assessment".

[4] d. E. N. Mr, "HIS Standardization in Developing Countries: Use of Boundary Objects to Enable Multiple Translations".

[5] P. A. Wouter, "Complete Essential Oil Destined for Cosmetic Use from Central Region, Ghana Using the Software SimaPro".

[6] R. Robinson, "Cost-benefit analysis".

[7] D. F. Vivanco, "Building waste management core indicators through Spatial Material Flow Analysis: Net recovery and transport intensity indexes".

[8] M. N. K. A. B. G. a. P. G. Achillas C, "The use of multi-criteria decision analysis to tackle waste management problems: A literature review.," *Waste Management & Research,* vol. 31, p. 115–129., 2013.

[9] V. C. W. D. a. C. C. Al Sabbagh MK, "Resource management performance in Bahrain: A systematic analysis of municipal waste management, secondary material flows and organizational aspects," *Waste Management & Research,* vol. 30, p. 813–824, 2012.

[10] C. Z. a. O. A. Banar M, "Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey," *Waste Management,* vol. 29, p. 54–62, 2009.

[11] D. D. a. P. V. Barton JR, " Life cycle assessment for waste management," *Waste Management ,* vol. 16, pp. 35-50, 1996.

[12] B. PH, "Cycles, spirals and linear flows," *Waste Management & Research,* vol. 31, pp. 1-2, 2013.

[13] K. C. a. J. W. Hermann BG, "Assessing environmental performance by combining life cycle assessment, multi-criteria analysis and environmental performance indicators," *Journal of Cleaner Production,* vol. 15, p. 1787–1796, 2007.

[14] M. H.-W. a. Y. W.-F. Hung M-L, "A novel sustainable decision making model for municipal solid waste management," *Waste Management ,* vol. 27, p. 209–219 , 2007.

[15] ISO, Environmental Management – Life Cycle Assessment – RequireMents and Guidelines. International Standard ISO 14044,, Genev, 2006.

[16] D. D. a. P. V. Barton JR, "Life cycle assessment for waste management," *Waste Management,* vol. 16, p. 35–50, 1996.

[17] "Life Cycle Assessment – RequireMents and Guidelines. International Standard ISO 14044," *Environmental Management.*