Mühendislik Alanında Gelişmeler





1. Cilt

Editör

PROF. DR. GÜLDEN BAŞYİĞİT KILIÇ

DOI:10.5281/zenodo.10021990

Mühendislik Alanında Gelişmeler

EDİTÖR

Prof. Dr. Gülden Başyiğit Kılıç

İmtiyaz Sahibi
Platanus Publishing®

Editör
Prof. Dr. Gülden Başyiğit Kılıç

Kapak & Mizanpaj & Sosyal Medya
Platanus Yayın Grubu

Birinci Basım
Ekim, 2023

Yayımcı Sertifika No
45813

Matbaa Sertifika No
47381

ISBN
978-625-6971-84-4

©copyright
Bu kitabın yayım hakkı Platanus Publishing'e aittir.
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin
alınmadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Adres: Natoyolu Cad. Fahri Korutürk Mah. 157/B,
06480, Mamak, Ankara, Türkiye.
Telefon: +90 312 390 1 118
web: www.platanuskitap.com
e-mail: platanuskitap@gmail.com



PLATANUS PUBLISHING®

İçindekiler

BÖLÜM 1..... 7

DOĞRULTU ATIMLI FAYLAR ETKİSİYLE OLUŞMUŞ JEOMORFOLOJİK YAPILAR
Serap ÇOLAK EROL

BÖLÜM 2..... 19

TRAVERTENLER
Serap ÇOLAK EROL

BÖLÜM 3..... 33

BİR KAMU HASTANESİNDE SOĞUTMA GRUBUNUN TERMAL KAMERA İLE ANALİZİ (ANTALYA ÖRNEĞİ)
Dr.Öğr.Üyesi Ahmet ÇOŞGUN

BÖLÜM 4..... 49

BİR FAZLI TRANSFORMATÖRÜN MODELLENMESİ VE ANALİZ
Dr.Öğr. Üyesi Süleyman ADAK

BÖLÜM 5..... 77

BAZI ÖZEL BETON TÜRLERİ
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf Tahir ALTUNCI

BÖLÜM 6..... 87

AĞIR BETON ÜRETİMİNDE KULLANILAN BAZI AGREGALAR ÜZERİNE BİR ARAŞIRMA
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf Tahir ALTUNCI

BÖLÜM 7..... 97

BENTONİTLERİN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ
Dr. Onur Eser KÖK
Prof. Dr. Hüseyin VAPUR
Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN

BÖLÜM 8.....109

BENTONİTLERİN AKTİVASYONU VE UYGULAMA YÖNTEMLERİ
Dr. Onur Eser KÖK
Prof. Dr. Hüseyin VAPUR
Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN

ISBN: 978-625-6971-84-4

BÖLÜM 9 121

AVİYONİK SİSTEMLERDE BLOK ZİNCİRİ TEKNOLOJİSİ
Harun ÇELİK
Ayşenur SAYIL

BÖLÜM 10 151

ELEKTRİKLİ ARAÇ BATARYA YÖNETİM SİSTEMLERİ VE YENİ TRENDLER
Dr. İ. Can DİKMEN
Doç. Dr. Teoman KARADAĞ

BÖLÜM 11 171

DESTEK VEKTÖR MAKİNELERİ VE ÖZELLİK SEÇİMİ ALGORİTMALARININ İNSAN-BİLGİSAYAR ETKİLEŞİMİ PROBLEMLERİNDEKİ BAŞARIM ANALİZİ
Doç. Dr. Çiğdem İnan ACI
Arş.Gör. Gizen MUTLU
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ACI

BÖLÜM 12 209

YABANCI OT KONTROLÜNDE OTONOM YÖNTEMLERİN KULLANIMI
Arş. Gör. Fatmanur ATEŞ
Prof. Dr. Ramazan ŞENOL

BÖLÜM 13 221

GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİNDEKİ ORMAN VE YARI DOĞAL ALANLARIN ZAMANSAL VE MEKANSAL DEĞİŞİMİNİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ
Dr. Öğr. Üyesi Çağrı MERCAN

BÖLÜM 14 237

OTONOM SİSTEMLERE GİRİŞ
Dr. Arif Furkan MENDİ

BÖLÜM 15 257

FOTOVOLTAİK SANTRALLERDE SICAKLIĞIN ELEKTRİK ÜRETİM PERFORMANSINA ETKİSİ
Dr. Öğr. Üyesi Öner ATALAY
Burak YORGUN

BÖLÜM 16**.....270**

FARKLI PUZOLANLARIN METAKAOLİN BAZLI GEOPOLİMER HARÇ ÜRETİMİNDE KULLANILMASI
Doç. Dr. Burak IŞIKDAĞ
Mohammad Rahim YALGHUZ

BÖLÜM 17**.....301**

DESTEK VEKTÖR MAKİNELERİ VE ÖZELLİK SEÇİMİ ALGORİTMALARININ İNSAN-BİLGİSAYAR ETKİLEŞİMİ PROBLEMLERİNDEKİ BAŞARIM ANALİZİ
Doç. Dr. Çiğdem İnan ACI
Arş.Gör. Gizen MUTLU
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ACI

BÖLÜM 18**.....337**

POLİMER MATRİSLİ BİYOKOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE İŞLENEBİLİRLİĞİ
Arş.Gör. Fatma Zehra KÖSE
Öğr.Gör. Gökçe KOÇ
Arş.Gör. Rezzan YARDIMCI
Dr.Öğr.Üy. Şakir ALTINSOY

BÖLÜM 19**.....357**

ENERJİ ANALİZİ VE MODELLEME YÖNTEMLERİ
Öğr. Gör. Abdulsamed GÜNEŞ

BÖLÜM 20**.....373**

GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN TASARLANMASI
Öğr. Gör.Taner DİNDAR
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet DURSUN

BÖLÜM 21**.....385**

YAPAY ZEKÂ VE MAKİNE ÖĞRENİMİ:İlk Adımlarınız İçin Kılavuz
Ayşe Banu BİRLİK
Hakan TOZAN
Kevser Banu KÖSE

ISBN: 978-625-6971-84-4

BÖLÜM 22 407

DOĞANIN BENZERSİZ YAPILARINDAN İLERİ TEKNOLOJİ MALZEMELERİNE: FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ MALZEMELER
Dr. Serhan KARAMAN GENÇ
Dr. Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN

BÖLÜM 23 449

DÜNYADA YENİLENEBİLİR ENERJİLİ TİCARİ ARAÇLARIN GELİŞİMİ
Dr. Öğr. Üyesi Kadir YILMAZ
Öğr. Gör.Taner DİNDAR

BÖLÜM 24 461

ÜSTÜNİLETKENLERİN MİKRO DALGA YÜZEY DİRENCİ HESAPLAMALARI
Doç. Dr. Şükrü YILDIZ
Öğr. Gör. Soner TOKÇALAR
Fedai İNANIR

BÖLÜM 25 489

SÜRDÜRÜLEBİLİR KURUTMA TEKNİKLERİ
Dr. Erhan ARSLAN

BÖLÜM 26 507

BLOCKCHAİN TABANLI SİSTEMLERİN VE UYGULAMALARININ ANALİZİ
Oğuzhan ÖZER
Dr. Öğr. Üyesi Esra ŞATIR

BÖLÜM 27 529

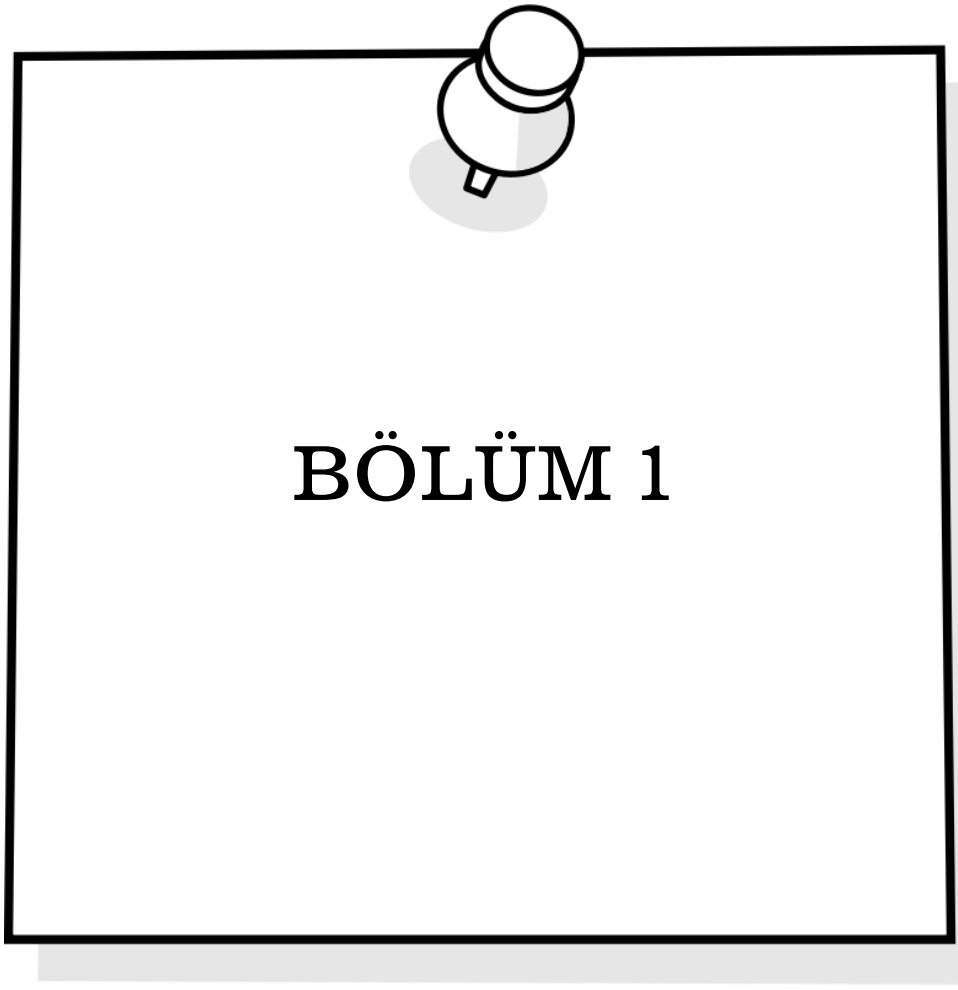
İKLİM DEĞİŞİMİ, GIDA ZİNCİRİ VE ANTİBİYOTİK DİRENCİ
Mevhibe TERKURAN

BÖLÜM 28 555

LİMRA TAŞININ (ANTALYA-DEMRE) DONMA-ÇÖZÜLME PERFORMANSI
Doç. Dr. Hakan ELÇİ

BÖLÜM 29 567

DERİN ÖĞRENME YÖNTEMLERİ İLE ÇİLEK BİTKİSİNDE HASTALIK TESPİT
Arş. Gör. Fatmanur ATEŞ
Prof. Dr. Ramazan ŞENOL



BÖLÜM 1

ISBN: 978-625-6971-84-4

DOĞRULTU ATIMLI FAYLAR ETKİSİYLE OLUŞMUŞ JEOMORFOLOJİK YAPILAR

Serap ÇOLAK EROL[1]

Fay terimi, kayaçlarda gözle görülebilecek kadar kayma hareketi oluşturan kırıklardır. Yerkabuğunu oluşturan levhaların hareketleri sonucu oluşan gerilme ve sıkışmaların yerkabuğunun bazı bölümlerinde biriktirdiği enerji, faylar boyunca zaman zaman ortaya çıkar.

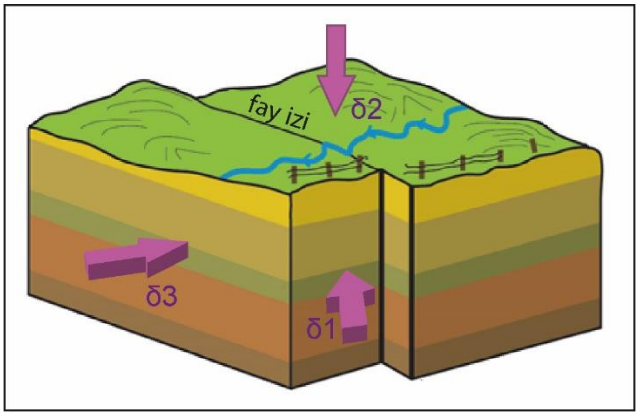
Birçok farklı kritere göre sınıflandırılan fayların en sık kullanılan yöntemi, mekanik özelliklerine göre yapılan sınıflamadır. Bu sınıflamada faylar, faylanmayı meydana getiren asal gerilme eksenlerinin yeryüzüne göre konumu dikkate alınarak normal, ters ve doğrultu atımlı faylar olarak üçe ayrılırlar. Bu çalışmanın konusunu teşkil eden doğrultu atımlı faylarda bloklar, düşey ya da düşeye yakın fay düzlemi boyunca birbirine göre göreceli olarak sağa veya sola doğru yanal hareket eder (Şekil 1; [1]'den değiştirilerek). Düşey fay düzleminden ötürü çizgisel bir fay izine sahiptirler. Fayın hareket yönü, dere, yol, duvar gibi daha önce ötelenmemiş olan bir doğrusal hattın, faylanma sonrası göreceli olarak hangi tarafa doğru ötelenmiş olduğunun belirlenmesi yoluyla bulunur. Buna göre, gözlemcinin karşısında duran bloktaki obje (yol, duvar vs.), gözlemciye göre fay hareketinin ardından sağa doğru kaymışsa söz konusu fay sağ yanal doğrultu atımlı fay; sola doğru kaymışsa sol yanal doğrultu atımlı fay olarak adlandırılır. Hareket vektörü, fayın doğrultusuna paralel; eğimine dik ise saf doğrultu atımlı fay oluşur. Hareketin doğrultusunu da gösteren kayma çizikleri (fay çizikleri), fayın doğrultusuna paralel değilse, eğik (verev, oblik, diyagonal) doğrultu atımlı faylardan bahsedilir. En büyük asal gerilme olan δ_1 ve en küçük asal gerilme olan δ_3, yatay; orta asal gerilme olan δ_2 ise düşeydir.

Amerika'da bulunan San Andreas Fay Zonu ve ülkemizde bulunan Kuzey ve Doğu Anadolu fay zonları, dünyadaki en önemli doğrultu atımlı fay zonlarının örneklerindendir. Bu fay zonları, oluşturdukları 7 ve üzerindeki büyüklüğe sahip depremler nedeniyle son derece yıkıcı özelliğe sahiptirler.

[1] Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0003-1957-3012

Doğrultu atımlı faylar, sıkışmalı rejimlerin önemli yapılarındandır. Genellikle bu rejimin etkin olduğu bölgelerde en son ortaya çıkan yapılardır. Bu sıkışma kuvveti, yerkabuğunda yatay istikamette gelişir.

Doğrultu atımlı fayların atımları, milimetreden kilometre ölçeğine kadar değişir. Atımlar düşük dahi olsa topoğrafya üzerinde belirgin bir görünüm sunar. Bu faylar boyunca meydana gelen birçok yer şekli en önemlileri, aşağıda verilmiştir.



Şekil 1. Doğrultu atımlı faya ait blok diyagram ve kendisini oluşturan asal gerilmeler

KÖSTEBEK İZLERİ: Fay izinin yumuşak zemindeki yansıması, köstebek izi olarak adlandırılır. Fay, tarla gibi yumuşak bir zeminden geçerken hareketi sonucunda kabarmalar meydana gelir. Bu kabarmalar, altından köstebek geçmiş gibi bir görüntü arz ettiğinden bu şekilde isimlendirilir (Şekil 2; [2]'den değiştirilerek). Fay, tarlayı terk edip kayaların içine girdiğinde ise yalın bir fay izi arz eder. Bu yapılar, atımı 1 m'yi geçen depremlerde oluşur. Zamanla dış etkenlere bağlı olarak kabartılar yani köstebek izleri, silinmeye başlar; ta ki yeni bir depreme kadar.

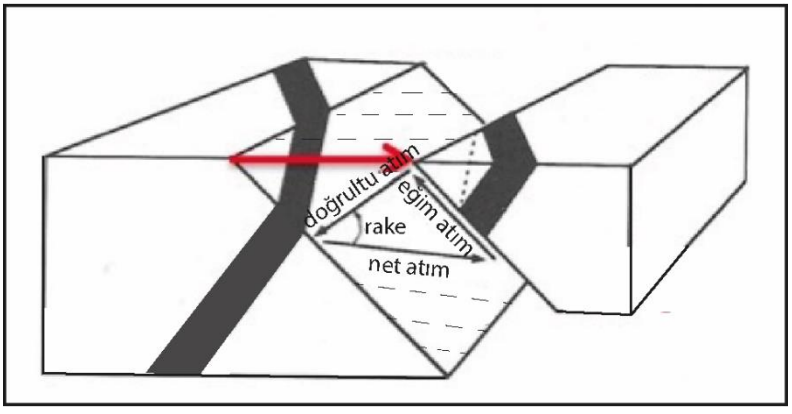
ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 2. Doğrultu atımlı faylarda gözlenen köstebek izi yapısı

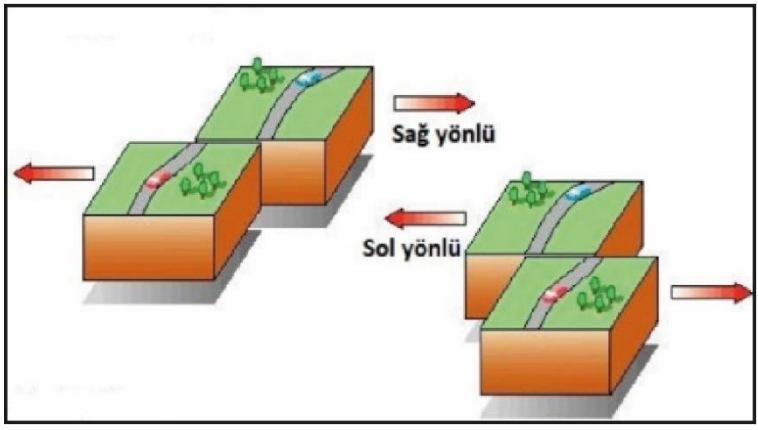
FAY DÜZLEMİ: Saf doğrultu atımlı faylarda fay izi boyunca topoğrafya yatay ise fay düzlemi yüzeyleme vermez. Ancak değişken eğimli engebeli arazilerde fayın göreceli yer değiştirmesine bağlı olarak fay düzlemi yüzeyleme verir ve yatay kayma çiziklerini görebiliriz.

Fay düzleminin yüzeyleme verdiği bir diğer durum ise doğrultu atımlı fayın, eğim bileşeninin de olmasıdır. Bu durumda kayma çizikleri, eğim bileşeniyle doğru orantılı olmak üzere eğik pozisyon alıp sapma (rake) açısı kazanmış olurlar (Şekil 3; [3]'den değiştirilerek). Fay düzlemi, metreden kilometre boyutuna kadar yüzeyleme verebilir.



Şekil 3. Normal bileşenli doğrultu atımlı faylardaki fay düzlemi

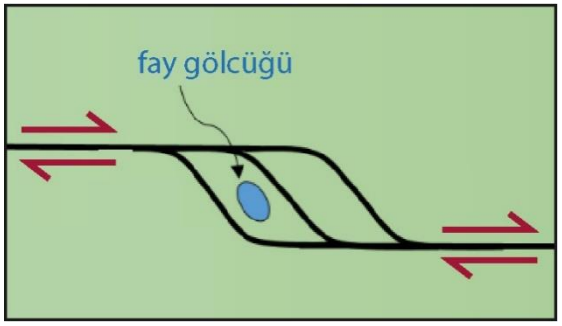
ATIM: İki blok arasında meydana gelen yer değiştirmeye atım denir. Doğrultu atımlı bir fayın atım yönü, dere, yol, duvar gibi doğrusal bir hattın, faylanma ile göreceli olarak hangi tarafa doğru ötelenmiş olduğunun belirlenmesi yoluyla bulunur. Saf doğrultu atımlı faylarda atım, sağ ve sol yanal olmak üzere ikiye ayrılır. Buna göre, gözlemcinin karşısında duran bloktaki yol, duvar vs., gözlemciye göre fay hareketinin ardından sağa doğru kaymışsa söz konusu fay sağ yanal doğrultu atımlı fay; sola doğru kaymışsa sol yanal doğrultu atımlı fay olarak adlandırılmaktadır (Şekil 4; [4]).



Şekil 4. Sağ ve sol yanal doğrultu atımlı fayların oluşum mekanizması

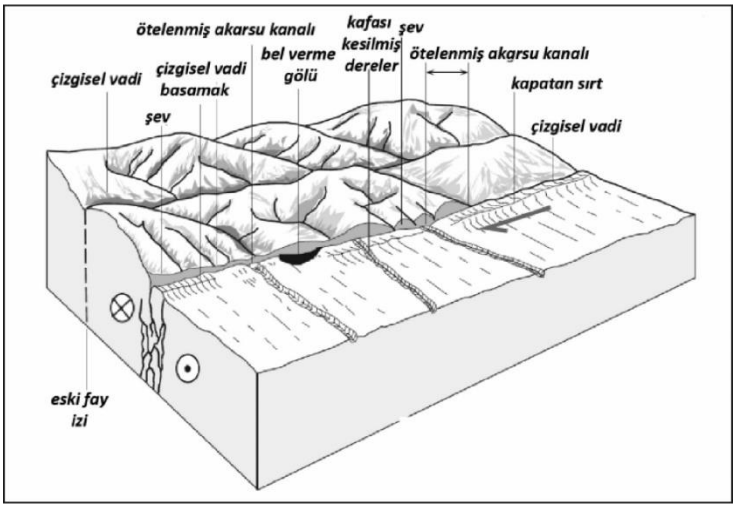
FAY GÖLCÜKLERİ: Fay segmentleri, fayın doğrultusu boyunca atımla aynı ya da zıt yönlü sekmeler yapmaktadır. Atım ve sekme yönü aynıysa segmentler arasında depresyon alanları; zıt yönlüyse kabarma alanları meydana gelir. Aynı yönlü olması durumunda gelişen depresyon alanlarında (Şekil 5; [5]'ten değiştirilerek), su birikmesiyle küçük ve genellikle geçici göller; sazlık ve bataklıklar oluşur. Bu göller, çeşitli ölçeklerde olabilmektedir. Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca gelişmiş olan Sapanca, Abant, Ladik gölleri de, bu tip göllerin daha büyük ölçekteki örneklerindendir. Göllerin kökeni, faylardan dolayı yüzeye yakın seyreden yer altı suyu ya da yağış kaynaklı olabilir. Bu göller, segment bitimlerinde gelişebildikleri gibi segment boyunca gelişen çukurluklarda da gelişebilirler.

ISBN: 978-625-6971-84-4



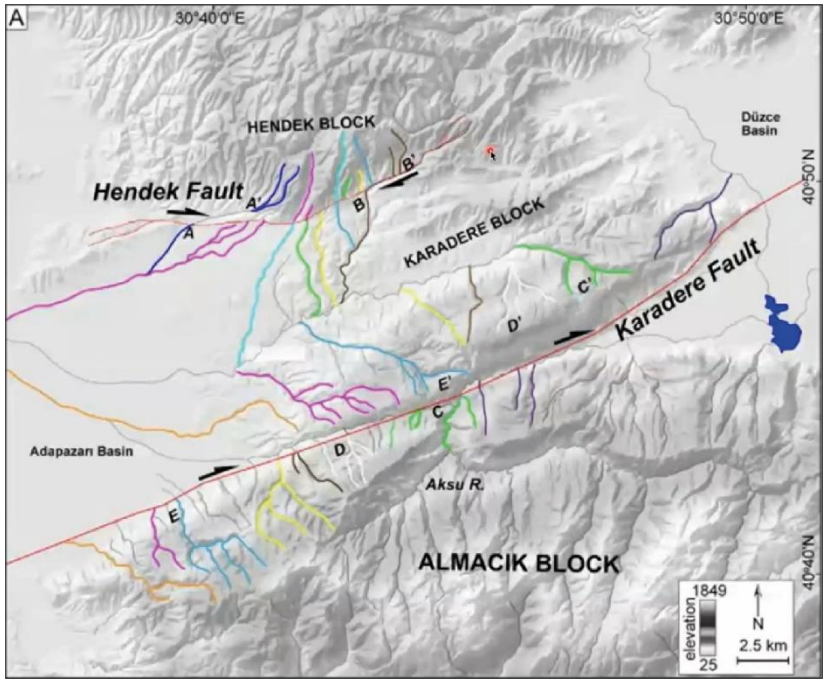
Şekil 5. Sağ yanal doğrultu atımlı segmentler arasında gelişen fay gölcüğü

KAPATAN SIRT / SÜRGÜ SIRTI: Kapatan sırtlar, doğrultu atımlı fayların topografyayı değiştirmesiyle derelerin karşısına gelen sırtlardır. Kapatan sırt, doğrultu atımlı faylar boyunca hareket edip drenajı engeller veya onu yönlendir. Bu topografya, yaygın bir şekilde faya dik olarak bulunan akarsular tarafından oyulduğundan kapatan sırtlar, ötelenmiş akarsu kanallarıyla beraber bulunabilirler (Şekil 6; [6]'dan değiştirilerek).



Şekil 6. Sağ yanal doğrultu atımlı fay üzerinde gelişen jeomorfolojik yapılar topluluğu

ÖTELENMİŞ AKARSU KANALI: Doğrultu atımlı fayın hareketine bağlı olarak fay zonuna dik ya da oblik bir açıyla giren ve başlangıçtaki akış doğrultusuna geri dönmeden önce bir mesafe faya paralel olarak devam eden yani kanalı / yatağı ötelenen akarsulardır. Bunlar, fayın hareketine bağlı olarak sağa ya da sola ötelenmiş olabilirler (Şekil 6). Şekil 7'de her renk, bir akarsuyu temsil edecek şekilde akarsuların ötelenmiş yani günümüzdeki mevcut konumları verilmiştir. Her bir renkteki akarsu, tek tek takip edildiğinde akarsuların faylanmadan önceki konumları ortaya çıkacaktır [7].

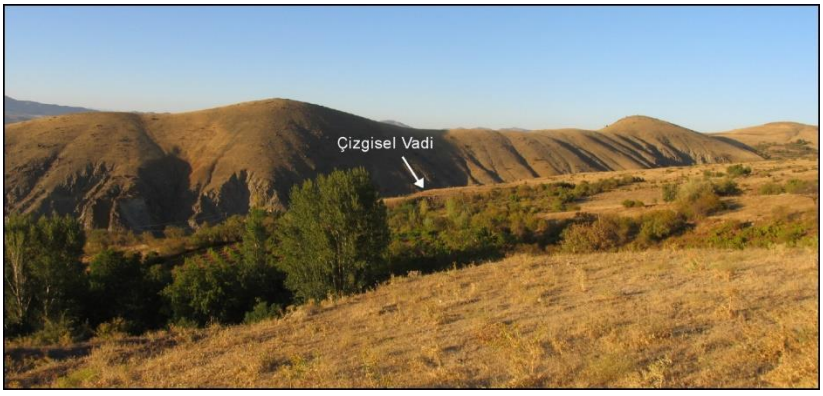


Şekil 7. Sağ yanal faylarla ötelenmiş akarsular

BAŞSIZ KANAL / KAFASI KESİLMİŞ DERELER: Doğrultu atımlı fayın ötelemiş olduğu drenaj kanalının diğer bloktaki baş kısmı takip edilemiyorsa bu tip jeomorfolojik yapılara, başsız kanal ya da kafası kesilmiş dere denir (Şekil 6).

ÇİZGİSEL VADİ: Çizgisel vadiler, doğrultu atımlı ana fay izleri boyunca gelişen doğrusal çukurluklardır. Kayaçların ezilmesi ve erozyon için daha uygun hale gelmesini sağlayan devamlı hareketten dolayı güncel fay izi boyunca sık sık gelişirler. Akarsular, yaygın olarak bu zayıflık zonlarını takip ederler ve uzun bir mesafe bu çukurluklar boyunca akarlar (Şekil 6; Şekil 8, [8]).

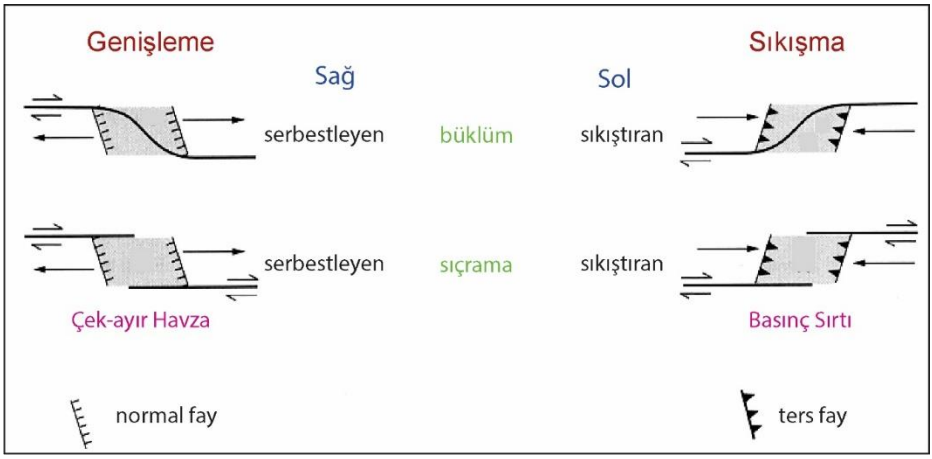
ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 8. Doğrultu atımlı fay boyunca gelişen bir çizgisel vadi örneği

ÇEK-AYIR HAVZA: Çek-ayır havzalar, doğrultu atımlı fayların rahatlama kuşakları boyunca gelişen havzalardır. Çek-ayır havzalar, sağ yönlü bir doğrultu atımlı fayın sağa ya da sol yönlü bir doğrultu atımlı fayın sola sıçramasıyla oluşur. Sağ yanal doğrultu atımlı faylanma altında "Z" şekilli; sol yanal doğrultu atımlı faylanma altında ise "S" şekilli çek-ayır havzalar gelişir. Oluşum mekanizması, ilginç yapısal özellikleri ve ekonomik potansiyelleri nedeniyle çek-ayır havzalar, son yıllarda jeoloji bilimi içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Pull-apart havzaları olarak da adlandırılan bu havzaların oluşumunda faylarla ilgili iki temel yapısal model vardır. Bunlar, ana fayın atlaması ya da ana fayın büklümlenmesidir (Şekil 9, [6]'dan değiştirilerek).

Fay boyunca devam eden kayma hareketiyle gittikçe büyüyen havza, genişliği birkaç km'ye ulaştığında havzanın tabanını oluşturan kabuk, gerilmeye ve incelmeye başlar. Bu sırada havza içine Üst Manto'dan malzemeler sokulur. Litosferik gerilme ve kabuğun incelmesi pull-apart havzalarda volkanizma ile birlikte yüksek ısı akısına neden olur. Riftlerde olduğu gibi pull-apart havzalarda da etrafındaki litosferin, yavaş yavaş çökmesi sonucu geniş çökellerle havza kaplanır. Bu sedimentler, çoğu pull-apart havzada olması beklenen ısı akısı değerini azaltır ve Üst Manto malzemesinin yüzeye çıkışını engeller.

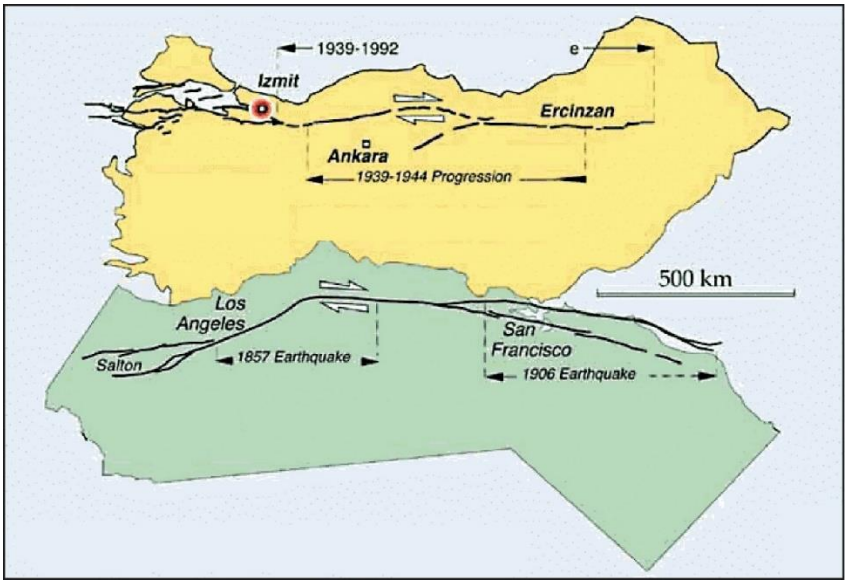


Şekil 9. Doğrultu atımlı faylarda çek-ayır havza ve basınç sırtlarının gelişimini gösteren model

BASINÇ SIRTI: Basınç sırtları, doğrultu atımlı fayların sıkışma kuşakları boyunca gelişen yükselim alanlarıdır. Basınç sırtları, sağ yönlü bir doğrultu atımlı fayın sola ya da sol yönlü bir doğrultu atımlı fayın sağa sıçramasıyla oluşur. Sağ yanal doğrultu atımlı faylanma altında "S" şekilli, sol yanal doğrultu atımlı faylanma altıda ise "Z" şekilli basınç sırtları gelişir. Oluşumunda faylarla ilgili iki temel yapısal model vardır. Bunlar, ana fayın atlaması ya da ana fayın büklümlenmesidir. (Şekil 9, [6]'dan değiştirilerek). Aynı sistem içinde fayın atım yönüne bağlı olarak çek-ayır havza ya da basınç sırtı oluşur.

TRANSFORM FAYLAR: Litosferi kesip levha sınırlarını kontrol eden devasa ölçekteki doğrultu atımlı faylardır. Transform faylar boyunca iki levha, birbirine göre hareket eder. Kıtasal ve okyanusal olmak üzere iki türde gelişim gösterirler. Kuzey ve Doğu Anadolu fay zonları, San Andreas Fay Zonu ve Alpin Fayı, transform fay örneklerindendir (Şekil 10, [9]'dan değiştirilerek).

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 10. Litosferi kesen transform fay örnekleri

TRANSCURRENT FAYLAR: Levha içinde gelişen devasa ölçekteki doğrultu atımlı faylardır. Levha sınırı belirlemezler; levhanın içini deforme ederler. İç Anadolu Fay Zonu, ülkemizdeki en büyük transcurrent fay zonlarındandır.

KAYNAKLAR

[1] https://opentextbc.ca/geology/chapter/12-3-fracturing-and-faulting/ Nisan 2023

[2] https://www.usgs.gov/media/images/moletrack Nisan 2023

[3] https://jeoloji.deu.edu.tr/wp-content/uploads/2019/03/DERS_4-1.pdf Nisan 2023

[4] http://www.cografyasozlugu.com/index/index/Y/2059 Nisan 2023

[5] https://www.wikiwand.com/en/El_Tigre_Fault Nisan 2023

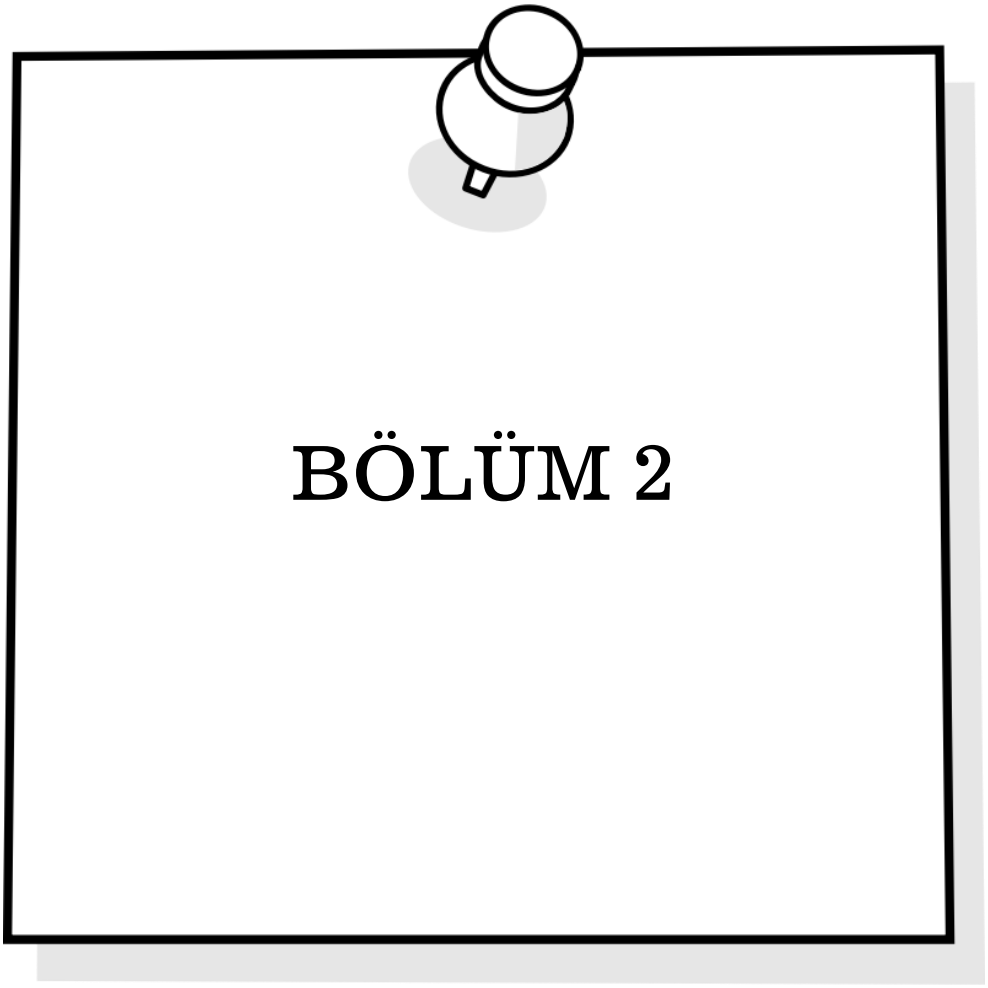
[6] Keller E.A. and Pinter N., 2002. Active tectonics: Eartquake, uplift and landscape (2th Edition). Prentice Hall, Inc, New Jersey, pp. 362.

[7] Yıldırım, C. and Tüysüz, O., 2017. Estimation of the long-term slip, surface uplift and block rotation along the northern strand of the North Anatolian Fault Zone: Inferences from geomorphology of the Almacık Block, Geomorphology, Vol. 29, s. 55-68.

[8] Çolak, S., 2007. Uluova Fay Zonu'nun Kuzeydoğu Bölümünün Yapısal ve Morfotektonik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 70s. (yayımlanmamış).

[9] https://www.researchgate.net/figure/Comparisons-of-the-North-Anatolian-Fault-and-San-Andreas-Fault-9_fig5_35250074 Nisan 2023

ISBN: 978-625-6971-84-4



BÖLÜM 2

ISBN: 978-625-6971-84-4

TRAVERTENLER

Serap ÇOLAK EROL[1]

Traverten ve Tufa Sözcüğünün Kökeni, Tanımı ve Oluşumu

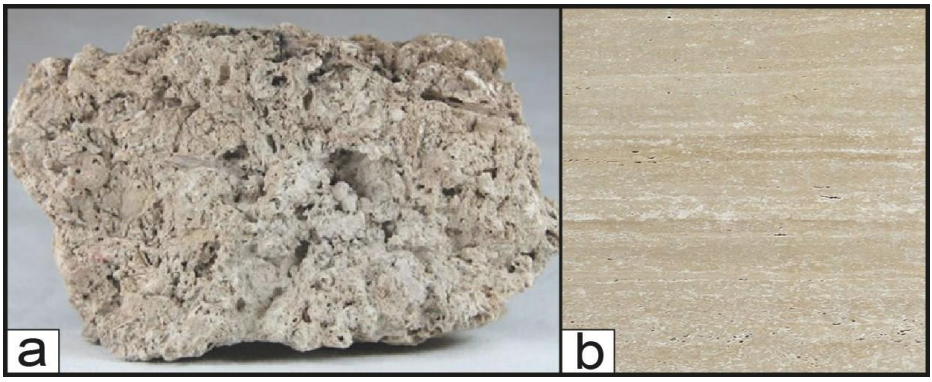
Challinor'un Jeoloji Sözlüğü (Wyatt, 1986), Lyell (1833)'e değinerek traverten sözcüğünün kökeninin İtalyanca'ya uzandığını belirtir. Traverten sözcüğü, İtalya'da Tivertino (Eski Roma adı; günümüzdeki adı Tivoli; Roma'nın 26 km doğusunda) kentinin içinden geçen Tibur (Eski Roma adı; günümüzdeki adı Tiber) nehrinden türeyen traverten çökellerinden dolayı Latinceye "*Lapis Tiburtinus* (Tiburtinus taşı)" olarak geçmiştir. Zaman içinde değişerek Latince'de "*Tiburtinus"* ve *"Tivertino"* sözcüklerine dönüşmüştür. Sözcük, İtalyanca'ya *travertino*, Fransızca'ya *travertiné*, Almanca'ya *travertin* ve Türkçe'ye de *traverten* olarak geçmiştir.

Traverten terimi için birçok araştırmacı, birbirine benzeyen tanımlar yapmışlardır. Bates ve Jackson (1980), traverteni yüzey ve yeraltı sularında bulunan kalsiyum karbonatın hızlı kimyasal çökelimiyle oluşan, çoğunlukla lifsi ya da konsantrik yapıya sahip beyaz, sarımsı, bej ya da kahverengi renklerinde, yoğun, iyi kristallenmiş, masif ya da konsantrik kireçtaşları şeklinde tanımlar. Julia (1983), traverteni bataklıklarda, küçük nehirlerde, kaynaklarda (karstik ya da hidrotermal), genellikle kabuk bağlama (biyokimyasal çökelme ve/veya çimento çökelimi) şeklinde oluşan kalsiyum karbonat yığışımları biçiminde tanımlar. Chafetz ve Folk (1984), kaynak sularından organik ya da inorganik evreler ile çökeltilen tatlı su karbonatlarının bir türü olarak ifade eder. Wyatt (1986), kaynak ve ya süzülen sulardan çökelen sert ve kompakt bir çeşit kireçtaşı şeklinde tanımlar. Guo ve Riding (1998) ise traverteni, su kaynaklarından çıkan bikarbonat ve kalsiyumca zengin olan yer altı sularından oluşan kireçtaşları olarak ifade etmiştir. Genel olarak **traverten**, karstik ve sıcak su kaynakları çevresinde, küçük nehirler ve bataklıklarda oluşabilen, çimentolanmayla ve/ veya

[1] Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0003-1957-3012

biyokimyasal yolla çökelebilen sık dokulu kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) birikimleridir (Şekil 1a). Travertene sutaşı, taşlaşmış yosun veya yollu mermer de denmektedir.

Tufa teriminin kökenini ise Ford ve Pedley (1992) şöyle belirtirler: "Tufa, kelime olarak Eski Roma devirlerinde ince tanelere ufalanabilen kayacı (günümüzde tufa olarak adlandırılır) ve ince taneli beyazımsı volkanik tozları (günümüzde tüf olarak adlandırılır) içeren beyaz kayaçlara verilen bir Eski Roma sözcüğü olan *tophus* 'dan gelir". Ünlü Romalı bilim adamı, tarihçi, filizof ve yazar olan Pliny tarafından kalkerli tufa, taşlaşmış bitkisel malzeme ve volkanik tüf içeren gevrek, beyazımsı çökelleri tanımlamak için kullanılmıştır.



Şekil 1. a- Tufa el örneği; b- Traverten el örneği

Tufa terimi için de birçok araştırmacı, birbirine benzeyen tanımlar yapmışlardır. Bates ve Jackson (1980), bir göl içinde ya da kıyısında, suyu karbonatlı bir ırmak kenarında, sıcak ve soğuk kalkerli kaynak ağızlarında çökelen kalın soğansı yapıda ve yığışım şeklinde, bazen ince kabuksu yapıda, kırılgan ve süngerimsi, gözenekli olan kimyasal kökenli sedimanter kayaç olarak tanımlayıp tufaların, algler ve bakteriler tarafından çökeltildiğini belirtirler. Challinor'un Jeoloji Sözlüğü (Wyatt, 1986) tufayı, kaynak veya süzülen sulardan oluşan yumuşak ve poröz bir çeşit kireçtaşı olarak tanımlar. Pedley (1990), ılık ve soğuk su kaynakları çevresinde çökelen yoğun gözenekli ve süngerimsi yapılı, yaprağımsı ve odunsu dokulu karbonat oluşumu şeklinde niteler. Ford ve Pedley'e (1992) göre ise tufa, ABD dışındaki İngilizce konuşulan ülkelerde kullanılan, Kuvaterner ve günümüzde yaygın olan kalkerli tatlı su çökeltilerini ifade eder. Bunlar, serin, ılıman ve yarı kurak bölgelerdeki çağlayanlar ve kaynaklarda oluşmaktadırlar. ABD, İspanyolca konuşan ülkeler ve günümüz

ISBN: 978-625-6971-84-4

Avrupa'sında ise çoğunlukla tufa teriminin yerine traverten kullanılmaktadır (Atabey, 2003). Genel olarak **tufa**, tüm soğuk ya da ılık tatlı su ortamında yaşayan algler ya da bakterilerce çökeltilen, organik madde içeriğinden dolayı gözenekli ve süngerimsi yapıdaki kalsiyum karbonat ($CaCO_3$)çökeltileridir (Şekil 1b).

Traverten ve tufaların ortak yönü, kalsiyum karbonatlı ($CaCO_3$) kaynak veya diğer sulardan çökelmiş karasal kökenli karbonat kayaçlar olmalarıdır. Birbirinden dokularını yansıtan özellikleri baz alınarak ayrılırlar. Bazı araştırmacılara göre 'traverten', genellikle sert ve kompakt, sıcak su (hidrotermal) çökeli için; buna karşılık 'tufa' ise soğuk su kaynağından ya da göllerde, birikmeyle oluşan gözenekli, süngerimsi çökelim için kullanılmıştır (Şekil 1; Muir-Wood, 1993; Ford ve Pedley, 1996).

Kalksinter ise traverten ve tufa ile karıştırılmakla birlikte Jones ve Renaut (2010) tarafından, kayaçlar ve zemin üzerindeki sert kabuklaşmalar olarak tanımlanmıştır.

Travertenlerin Oluşum Koşulları

Travertenler, kimyasal ve / veya biyokimyasal yolla oluşmaktadırlar. **Kimyasal yol**la oluşumu şu şekilde olmaktadır: Yüzey ve / veya yeraltı suları (H_2O), yağışların etkisiyle atmosferden ya da çevre kayaçlardan etkileşim yoluyla bünyelerine karbondioksit (CO_2) alıp karbonik asit (H_2CO_3) oluşturarak suyun eritici özelliğini artırır.

$$H_2O + CO_2 \rightarrow H_2CO_3 \quad \text{(karbonik asit)}$$

Karbonik asitli bu sular (H_2CO_3 li), kireçtaşlarını katederken, onlardan bol miktarda kalsiyum karbonatı ($CaCO_3$) eriterek bünyesine alır ve kalsiyum bikarbonatça ($Ca(HCO_3)_2$) yoğun hale gelir.

$$H_2CO_3 + CaCO_3 \rightarrow Ca(HCO_3)_2 \quad \text{(kalsiyum bikarbonat)}$$

Başta tektonik süreksizlikler olmak üzere, zayıf zonlar boyunca yeryüzüne ulaşan kalsiyum bikarbonatça ($Ca(HCO_3)_2$) zengin bu sular, üzerlerindeki dış basıncın düşmesine bağlı olarak, içerdiği karbondioksit atmosferdeki karbondioksit ile dengeye gelinceye kadar bünyesindeki karbondioksiti kaybeder. Topoğrafya üzerinde akarken bünyesindeki su (H_2O) ve

karbondioksitin (CO_2) ayrılmasıyla kalsiyum bikarbonat ($Ca(HCO_3)_2$) bileşimi parçalanır ve karasal ortamda ikincil kalsiyum karbonat çökeliminin ürünü olan bu oluşum, traverten ($CaCO_3$) meydana getirir.

$$Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O$$

Travertenlerin **biyokimyasal yol**la oluşumu ise şu şekilde olmaktadır: Kalsiyum bikarbonatlı sular ($Ca(HCO_3)_2$), topoğrafya üzerinde bulunan bitkileri ya da mikroorganizmaları [algler, bakteriler…] katederken, suyun CO_2 içeriğinin bir kısmı atmosfere karışır; bir kısmı da fotosentez amacıyla bitki tarafından alınır (dolayısıyla su basıncı da düşer) ve bitki, CO_2'yi harcarken etrafında $CaCO_3$ içerikli zar şeklinde bir çökelim meydana gelir. Çökelmenin devamıyla konsantrik halkalar halinde kalınlaşır; içerde kalan bitki kök / gövdesi veya mikroorganizma, çürüyerek yerinde bir boşluk bırakır. Koşullar devam ettiğinde $CaCO_3$ çökelimi, bu boşluğu içe doğru konsantrik halkalar halinde daraltır ya da doldurur. Böylece kalsiyum bikarbonat ($Ca(HCO_3)_2$) bileşimi parçalanır ve bitki dokulu traverten tipi ($CaCO_3$) oluşur. Ayrıca mikroorganizmalar, doğrudan $CaCO_3$ üreterek parçaları birbirine tutturma işlevi görürler. Mikroorganizmalar, $CaCO_3$ çökelimine doğrudan ya da kırıntıları birbirine tutturarak veya ortamdaki CO_2'yi kullanıp pH'ı düşürerek katkıda bulunurlar. Travertenlerin çökeliminde, özellikle bitki mikroorganizmaları etkili olur. Bunların başında, mavi-yeşil ve yeşil algler olmak üzere, sarı-yeşil, kırmızı, kahverengi algler ile diyatomeler de bulunur.

Paleotopoğrafyanın şekline bağlı olarak, kaynak sularının laminar-yavaş veya türbülanslı-hızlı akımıyla paleotopoğrafyanın bitki ve kayaç taneciği içeriği, traverten tiplerinin oluşumunu etkiler. Kaynak suyunun yavaş akımı, CO_2'in dereceli kaybını ve masif travertenin oluşumunu; hızlı akımı, CO_2'in ani kaybını ve süngerimsi ya da bitki boşluklu travertenin oluşumunu; ortamdaki yabancı tanecikler ise **oolitik traverten**in oluşumunu sağlar. Topoğrafyada bulunan bazı kayaç tanecikleri, kaynak suyunun akış hızına bağlı olarak taşınırlar. Kendi eksenleri etrafında dönerek taşınan yabancı taneciklerin etrafında $CaCO_3$ çökelerek onları sarar. Taneciklerin ağırlığı, suyun taşıma kuvvetini yendiğinde, tanecikler biriktirilir; basınçla sıkılanma sonucunda oolitik traverten tipini oluştururlar.

ISBN: 978-625-6971-84-4

Traverten Oluşturan Suların Çözücülük Özellikleri ve Çökelmede Etkili Faktörler

Traverten oluşumuna neden olan kalsiyum (Ca^{++}) ve karbonatlı ($CO_3^{=}$) çözeltilerin zenginleşmesinde; karbonatlı kayalar içindeki su dolaşımı hızı, sıcaklık, basınç, pH (asitlik-baziklik), Eh (redüksiyon/indirgen - oksidasyon/yükseltgen) ve suda çözünmüş CO_2 gazı oranı önemli rol oynamaktadır (Atabey, 2003).

Kayaç içinde suların dolaşım hızı, çözünürlüğü kontrol eder. Yavaş su dolaşımı, daha çok çözünürlülüğe yol açmaktayken hızlı su dolaşımı, daha az çözünürlüğe neden olur (Atabey, 2003).

Sıcaklık artışında ortalama 20°C de elementlerin sudaki çözünürlükleri artmaktadır. Özellikle evaporit minerallerinden jips ve anhidrit, sıcaklık artışıyla daha fazla çözünür. Sweeting (1973)'e göre karbonat minerallerinin çözünürlükleri, sudaki çözünmüş CO_2'in oranıyla ilgilidir. CO_2 arttıkça, suların çözücü özellikleri artar. Ford ve Cullingford'a (1976) göre sıcak sularda, CO_2 daha az çözünmekte; karbonat minerallerinin depolanması hızlanmakta ve karbonat minerallerinin çözünürlüğü azalmaktadır. Birçok sıcak su çevresinde traverten depolanmasının olması bu özellikten kaynaklanmaktadır. Soğuk sularda ise CO_2, daha çok çözünmekte; karbonat minerallerinin depolanması, yavaşlamakta ve karbonat minerallerinin çözünürlüğü artmaktadır. Kimyasal reaksiyonlar da, sıcaklık artışına neden olmaktadır. Örneğin, jipsin anhidrite dönüşümünde, 42080 kal/mol enerji açığa çıkmakta ve dolayısıyla da sıcaklık artmaktadır. Faylar boyunca meydana gelen sürtünmeye bağlı olarak derinlere inildikçe, volkanizma etkisiyle ve hidrotermal çözeltilerle karışma sırasında da sularda sıcaklık artışı olmaktadır (Atabey, 2003).

İçerisinde suların serbestçe dolaşabildiği kayaçlarda çözünürlülük, litostatik basınç artışı nedeniyle zorlaşmakta, tersine basınç azaldığında ise çözünürlülük kolaylaşmaktadır. Basınç altındaki yeraltısuları, kırık ve çatlaklardan yukarı doğru yükseldiklerinde basınçtan kurtularak bünyelerindeki CO_2'yi kaybederler. Bu durumda $CaCO_3$ çökelimi yani traverten çökelimi gerçekleşir. $Ca(HCO_3)_2$ lı sulardan CO_2'nin hızlı ayrılması, hızlı çökelmeye ve iri gözenek oluşumuna; yavaş ayrılması ise yavaş çökelmeye ve küçük gözenek oluşumuna neden olan petrografik özelliklerin oluşmasını sağlar (Atabey, 2003).

Diğer bir etken, suların pH ve Eh durumudur. Sulu çözeltilerin pH'ı 1 ila 14 arasındadır. Çözeltinin pH'ı 7 den küçük olursa asidik, Ph'ı 7 den büyük olursa

bazik ve pH'ı 7 ve dolayında olursa nötr olmaktadır. Sweeting (1973)'e göre yağmur suyunun pH'ı 4 ile 7 arasında, ortalama 5.5 olup asidik özelliktedir. Kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum, ribidyum, stronsiyum ve klor gibi bazı elementler, pH değişiminden fazla etkilenmezler (Atabey, 2003).

Eh ise ortamın yükseltgen ve indirgen olup olmadığını yani oksidasyon ya da redüksiyon olduğunu işaret eder. Suyun Eh'ı sıfırdan büyükse yükseltgen, sıfırdan küçük olunca indirgen özellikte olmaktadır. Oksidasyon ortamında, oksijenli bazı elementler kolayca çözünürlerken bazıları ise çökelirler. Oksijence fakir ve demirce zengin yeraltı suları, yüzeye ulaştıkları anda, hava ile temasa geçerek önce magnetite, sonra hematite ve en sonra da limonite dönüşürler. Bu şekilde bir dönüşümün izleri, traverten yüzleklerinde demirce zengin traverten şeklinde görülebilir (Atabey, 2003).

Suyun Eh ile pH'ı minerallerin çözünmelerinde olduğu gibi çökelmelerinde de oldukça önemlidir. Sülfürlü mineraller (S), bazik ve indirgen ortamlarda (pH>7; Eh<0); oksitli mineraller (O), bazik ve yükseltgen ortamlarda (pH>7; Eh>0) ve karbonat mineralleri ise bazik ortamlarda (pH>7) çökelmektedirle (Atabey, 2003).

Suda çözünebilen gazlardan CO_2, O_2 ve H_2S, çözelti oluşumunda etkilidir. CO_2, karbonat minerallerinin çözünürlülüğünde pozitif bir etkiye sahiptir. O_2 de, birçok elementin çözünürlüğünü sağlar. H_2S ise bakır, kurşun, çinko, gümüş, kadmiyum, uranyum ve molibden elementlerinin kükürt bileşikleri şeklinde traverten kayalarında çökelmesine yol açmaktadır (Atabey, 2003).

Nemli ve yağışlı alanlarda karbonat çökelmesi, olumsuz etkilenir. Yağış, çözünmüş CO_2 konsantrasyonunu artırır ve $CaCO_3$ çökelmesini zorlaştırır (Atabey, 2003).

Traverten çökeliminde önemli olan bir başka faktör de, topoğrafyadır. Fazla eğimli yüzeylerde daha hızlı CO_2 kaybı olmakta; su, daha fazla mesafelere taşınmakta ve daha fazla traverten çökeltilmektedir. Eğimi az olan yüzeylerde ise daha yavaş CO_2 kaybı olmakta ve bakteri etkinliğinde daha az traverten çökeltilmektedir (Atabey, 2003).

Bitki örtüsü, $Ca(HCO_3)_2$'lı suların akış hızını yavaşlatarak traverten çökelmesine katkıda bulunur. Travertenlerin bol gözenekli ve içi boş tüpsü yapıda görünmeleri, bünyelerindeki bitkiler sayesinde olur. Bitki, sap, yaprak ve otçul bitkilerin gövdeleri çevresinde biriken $CaCO_3$ tabakası, zamanla bitkinin çürümesine yol açmakta; çürüyen sap, dal ve gövdeler, dış kabuk içinde borucuk veya tüpçük şeklinde yapı oluşturmaktadır (Atabey, 2003).

ISBN: 978-625-6971-84-4

Bunlardan başka, $Ca(HCO_3)_2$'ça zengin suların, yeryüzüne yükselme hızlarındaki değişim ve suyun miktarı, traverten çökelmesinde önemli rol oynamaktadır (Atabey, 2003).

Traverten Oluşturan Sulardaki $CaCO_3$ Kaynağı

Bünyesinde Ca^{+2} ve CO_3^{-2} içeren bileşiklerden kalsiyumlu silikatlar ve kalsiyumlu karbonatlar, başlıca Ca kaynağını oluştururlar. CO_3 kaynağı da, yapısında CO_3^{-2} iyonu bulunduran karbonat mineralleridir. Traverten için bunlardan en önemli kaynak konumunda olan karbonat mineralleri, kalsit, aragonit ve dolomittir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Traverten oluşturan sulardaki $CaCO_3$ kaynağı (Okay, 1976'dan)

Susuz karbonat mineralleri	Sulu karbonat mineraller
Kalsit ($CaCO_3$)	Malakit [$CuCO_3$. Cu $(OH)_2$]
Aragonit ($CaCO_3$)	Azurit [$2CuCO_3$. Cu $(OH)_2$]
Manyezit ($MgCO_3$)	Gaylussit [$Na_2Ca\ (CO_3)_2$. $5H_2O$]
Siderit ($FeCO_3$)	Trona [$Na_3H\ (CO_3)_2$. $2H_2O$]
Rodokrozit ($MnCO_3$)	Hidroçinkit [$2ZnCO_3$. $3Zn(OH)_2$]
Simitsonit ($ZnCO_3$)	
Dolomit [$CaMg(CO_3)_2$]	
Ankerit [$CaFe(CO_3)_2$]	
Vitherit ($BaCO_3$)	
Stronsiyonit ($SrCO_3$)	
Seruzit ($PbCO_3$)	

Travertenlerin Sınıflandırılmaları

Chafetz ve Folk'un (1984) belirttiği gibi birçok traverten oluşumu, organik ve inorganik işlemlerin sonucu olup, bu işlemler sonucu oluşan materyalin miktarı, birçok değişkene bağlıdır. Örneğin, fiziko-kimyasal etkenler (sudaki çalkantı, güneş ısısı vb.), karbonatın inorganik çökelmesini etkilerken; organizmaların çokluğu ve büyüme oranları da, karbonatın organik çökelmesini denetler. Heimann ve Sass'ın (1989) belirttiği gibi travertenler, anî litolojik değişiklikler

gösterdikleri için belirli stratigrafik birimlere bölünemezler. Travertenleri normal stratigrafik birimlere ayırma zorluğuna rağmen birçok araştırmacı litoloji, gözeneklilik, bitki içeriği, morfoloji, fiziksel özellikler ve depolanma şartlarına bağlı olarak çeşitli sınıflandırmalara tabii tutulmuşlardır (Irion ve Müller, 1968; Meredith, 1980; Julia, 1983; Chafetz ve Folk, 1984; Pedley, 1990; Ford ve Pedley, 1996; Pentecost, 1993; Altunel ve Hancock, 1993a).

Bunlardan en sık kullanılanları makroskopik ölçekte litofasiyes, depolanma ve fasiyes ile morfoloji temel alınarak yapılan sınıflandırmalardır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Travertenlerin makroskopik ölçekteki yaygın sınıflandırılmaları

Litotip Özelliklerine Göre (Guo ve Riding, 1998)	**Depolanma ve Fasiyes Özelliklerine Göre (Guo ve Riding, 1998)**	**Morfolojik Özelliklerine Göre (Chafetzve Folk, 1984; Altunel, 1996)**
Kristalin kabuk	Yamaç depolanma sistemi	Şelale
Çalı	Teraslı yamaç fasiyesi	Göl çökelleri
Pizoid	Düz yamaç fasiyesi	Koni
Zarflı gaz kabarcıkları	Şelale fasiyesi	Teras
Sal	Çöküntü depolanma sistemi	Çatlak sırtı
Kamış	Çalı düzlüğü fasiyesi	Fay önü
Litoklast	Bataklık-havuz fasiyesi	Aşınmış tabaka
Paleotoprak	Tümsek depolanma sistemi	Kendiliğinden oluşan
	Kamış tümseği fasiyesi	kanal
	Sırt depolanma ortamı	Damar
	Kanal depolanma ortamı	10. Dom
		.Mağara (spelotem)

Litotip, bileşimi, dokusu, tabakalanma karakteristiği ve sedimanter yapıları gibi litolojik özellikleriyle ayrılan sedimanter kayaç kütlesidir. Litotip özelliklerine göre ayrım, Guo ve Riding'in (1998) İtalya Rapolano Terme'de gözlemlediği yapılar esas alınarak yapılmıştır. İdeal bir sınıflandırma, farklı çevrelerde oluşan travertenlere, eski (aktif olmayan) ve yeni (aktif) traverten

oluşumlarına ve değişik ölçeklerdeki traverten kütlelerine uygulanabilir. Bu nedenle travertenleri sınıflandırmada en kullanışlı ölçüt, morfoloji olarak kabul edilmektedir (Altunel, 1996). İlk defa Chafetz ve Folk (1984), Roma'nın doğusundaki Tivoli yakınında bulunan travertenler üzerinde yaptıkları çalışmalarında, şelale, göl çökelleri, koni, teras ve sırt tipi travertenler şeklinde morfolojik sınıflara ayırmışlardır. Altunel ve Hancock (1993a), Denizli çevresinde yaptıkları çalışmalarında bunlara, fay önü travertenleri, aşınmış örtü travertenleri ve kendiğilinden oluşan kanal tipi travertenleri eklemişlerdir. Ayaz (2002a) ise damar, dom ve mağara (spelotem; sarkıt, dikit, akmataş vs.) travertenlerini sınıflamaya dâhil etmiştir.

Travertenlerde gözlenen morfolojik yapılar, bu sekiz maddelik yatak boyutundaki sınıflandırmanın dışında, el örneği ve dokusal olarak (mikroskopik boyutta) çeşitli şekillerde tanımlanabilmektedirler. El örneği boyutunda, oolitik-pizolitik, böbreğimsi ve bitki yapılı (Chafetz ve Meredith, 1983; Tekin vd. 2000; Ayaz, 2002a); dokusal olarak ise (pizoyidleri oluşturan kalsit kristallerinde) yumrular, çubuklar/filamentler, loblu kürecikler ve üzüm salkımı demetleri (Tekin vd., 1999) gibi özel morfolojik yapılar tanımlanmıştır.

Travertenlerde Yaşlandırma

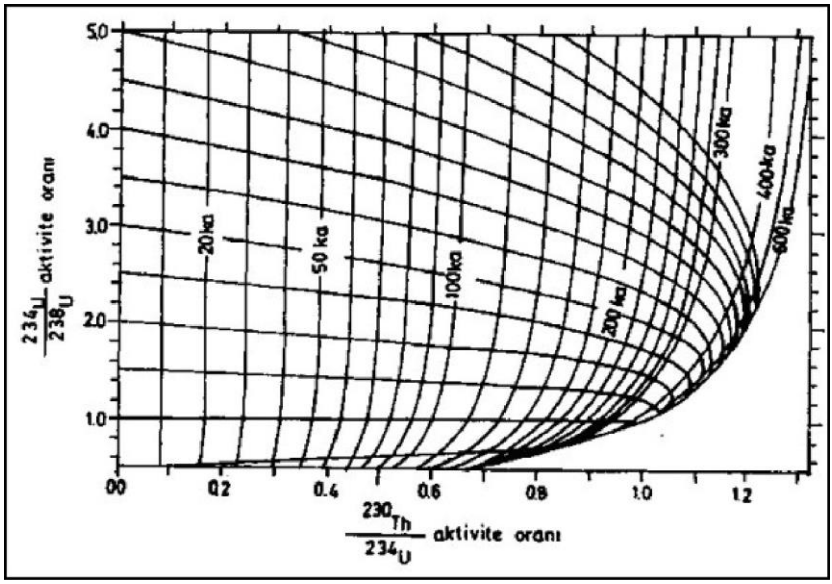
Uranyum-Toryum yaş analizi tekniğinin genel prensipleri için Smart (1991) esas alınmıştır. Teorik olarak U, kalsiyum içeren doğal sularda kolaylıkla çözülebilir ve kolaylıkla anyon kompleksleri oluşturur. Buna karşın Th, çözeltide hızlıca hidroliz olur ve kil mineralleri ile diğer katı yüzeyler üzerine sıkıca adsorblanır (tutunur). Yani U, kalsiyum karbonatın ($CaCO_3$) kimyasal ya da biyolojik çökelmesi sırasında, aynı zamanda çökelmekte ve kalsit kristalleri arasında korunmaktadır. Ancak Th, çökelmemektedir ve doğal sulardaki Th miktarı, dikkate alınmamaktadır. Bundan dolayı ana izotop ^{234}U'a karşın ^{230}Th eksikliği vardır. Zaman içinde ^{230}Th/^{234}U oranı eşitlik sağlanıncaya kadar kademeli olarak artar. Çünkü ^{234}U ve ^{238}U arasında da bir eşitsizlik vardır ve ^{234}U'nun ayrışması, zamanla ^{230}Th/^{234}U oranını yavaş yavaş artırır (Şekil 2). Şekil 2'teki izokronlar, kapalı bir sistem için başlangıçtaki değişken ^{234}U/^{238}U oranı ve sıfır olan ^{230}Th/^{234}U oranı arasında zamana bağlı ilişkiyi göstermektedir.

Uranyum serisi yaş tekniğinin herhangi bir karbonat örneğinde başarılı uygulanabilmesi, aşağıdaki varsayımlar ve kriterler üzerine inşa edilmiştir. 1) Karbonat örneği aynı çözeltiden hemen kristallenmiştir. 2) Depolanma sırasında kristallerde ^{230}Th mevcut olmayıp ve tane yüzeylerinde toryum, ^{232}Th'dir. Bundan dolayı bu uzun ömürlü izotop, sonradan gelen toryum kirliliğini izlemek için kullanılabilir. Eğer ^{230}Th/^{232}Th oranı 20'den düşük ise ^{230}Th için düzeltme

gereklidir; onun için kırıntılı ve bol gözenekli örneklerden kaçınmak gerekir. Bu düzeltme için değişik yöntemler kullanılmaktadır. Ancak çalışmada Schvvarcz'deki (1980) sekiz numaralı formül kullanılmıştır. 3) Sistem, çökelme tamamlandıktan sonraki uranyum ve toryum dolaşımına kapalıdır. Rekristalleşme, ikincil kristalleşme ve yüksek porozite belirtileri gösteren örneklerden kaçınılmalıdır. Smart (1991)'a göre U-Th yaş metodu, özellikle 400.000 yıl ila 5.000 yıl arasında uygulanabilir.

Özellikle 1980'li yıllardan itibaren kütle spektrometrelerinin geliştirilmesi ve hassas ölçümler yapılabilmesi sayesinde, U serileri tarihlendirmelerinde büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Kütle spektrometrelerinin kullanımı, ^{238}U, ^{234}U ve ^{230}Th atomlarının doğrudan ölçülebilmelerini sağlamıştır. Örneğin, *Termal İyonizasyon Kütle Spektrometresi (TIMS),* yüksek hassasiyeti sebebiyle mağara çökelleri, denizel ve gölsel karbonatlar, devekuşu yumurtasının kabukları, mağaralardaki tabakalı kalsitik kayaçlar ve erken dönemde insan aktiviteleriyle ilgili diğer delilleri kapsayan çökelleri örten kalsitik kayaçlar gibi geniş bir uygulama sahası bulmuştur. Ayrıca günümüzde *Multicollector Inductively Coupled-Plasma Mass Spectrometry (MC-ICP-MS)* tekniğiyle sarkıtlarda gelişen halkaların yaşları ayrı ayrı tespit edilebilmektedir. Bu analiz yöntemleriyle daha az miktar (miligram ölçeğinde) ve boyutta örnekler kullanılabilmekte, böylelikle mümkün olan kirlenmeler, azaltılabilmekte; hesaplama istatistikleri, geliştirilebilmekte ve böylece de çok daha düşük hata payları içerisinde sonuçlar elde edilebilmektedir. Kütle spektrometreleri vasıtasıyla ölçümlerde, 50-100 yıldan 600.000 yıla kadar yaşlar elde edilebilmektedir (Çelik, 2012).

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 2. Başlangıçta ^{230}Th bulumayan kapalı sistemdeki $^{234}U/^{238}U$ ve $^{230}Th/^{234}U$ oranları (Smart, 1991)

Travertenlerin Ekonomik Önemi

Travertenler, günümüz endüstrisinde önemi gittikçe artan bir hammadde durumundadır. Endüstriyel alanda; yüzey kaplama taşı (mermer), yapıtaşı ve hediyelik süs eşyası yapımında kullanılabildikleri gibi, kireç ve çimento üretiminde de hammadde olarak değerlendirilebilmektedirler. Ayrıca, ayrışıp toprağımsı yapı kazananları, suyu emip çamurlaşmayı önlemesi nedeniyle toprak yollarda sergi malzemesi olarak kullanılabilmektedirler (Ayaz, 1998).

Tabiat varlığı olarak ise; bazı traverten yataklarının tipik ve estetik morfolojik yapıları nedeniyle turizm sektöründe değerlendirilmeleri olanaklıdır. Bu nedenlerle travertenlerin en uygun kullanım yerinin belirlenebilmesi için bazı inceleme yöntemleriyle ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerekir. Bunlar; saha incelemeleri, petrografik incelemeler, kimyasal incelemeler ve jeoteknik incelemeler şeklinde sıralanabilir (Ayaz, 2002b). Saha incelemeleri sırasında belirlenen anıtsal nitelikli morfolojik yapılar, tabiat varlığı olarak büyük önem taşımaktadırlar.

Cisimler üzerinde devam eden traverten oluşumunun, adeta kabuk şeklinde kaplama oluşturmasından yararlanılmakta ve seramik eşyalar traverten havuzlarında bir süre bırakılarak süs eşyaları üretilmektedir.

KAYNAKLAR

Altunel, E. and Hancock, P.L., 1993a. Morphology and Structural Setting of Quaternary Travertines at Pamukkale, Turkey. Geological Journal, 28, 335-346.

Altunel, E., 1996. Pamukkale Travertenlerinin Morfolojik Özellikleri, Yaşları ve Neotektonik Önemleri. MTA Dergisi, 118, 47-64.

Ayaz, E., 1998. Sıcak Çermik (Yıldızeli-Sivas) Yöresindeki Traverten Sahalarının Jeolojisi ve Travertenlerin Endüstriyel Özellikleri. Doktora Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 157 s. (yayınlanmamış).

Bates, R. L. and Jackson, J. A., 1980. Glossary of Geology (Second Edition). American Geology Institute Falls Church, Virginia, 751.

Chafetz, H. S. and Folk, R. L., 1984. Travertines, depositional morphology and the bacterially constructed constituents. Journal of Sedimantary Petrology, 54, 289-316.

Chafetz, H.S. and Meredith, J.C., 1983. Recent travertine pisoliths (pisoids) from Southeastern Idaho. USA In T.M. Peryt, ed., Coated Grains, Springer-Verlag, Berlin, p. 450-455.

Ford, T.D. and Pedley, M.H., 1992. Tufa deposits of the world: J. Speleol. Soc. Japan, 17, 46-63.

Ford, T.D. and Pedley, M.H., 1996. A review of tufa and travertine deposits of the world. Earth Sci. Review, 41, 117-175.

Guo, L., and Riding, R., 1998. Hot-springs travertine facies and sequences, Late Pleistocene, Rapolano Terme, Italy. Sedimentology, 45, 163–180.

Heimann, A. and Sass, E., 1989. Travertines in the northern Hula Valley, Israel. Sedimentology, 36, 95-108.

Irion, G. and Müller, G., 1968. Mineralogy, Petrology and Chemical Composition of Soma Calcareous Tufa from the Schvvabische Alb, Gremany: In: Recent Developments in Carbonate Sedimentology in Central Europe (edited by Müller, G. & Friedmann, G.M.) Spring- Verlag Berlin, Heidelberg, pp. 157-171.

Julia, R., 1983. Travertines. In: P.A. Scholle, D.G. Bebout and C.H. Moore (Editors), Carbonate depositional Environments. Am Assoc. Petrol. Geol. Mem. 33, 64-72.

Meredith, J.C., 1980. Diagenesis of Holocene-Pleistocene (?) travertine deposits, Fritz Creak, Clark County and Fall Creek, Bonneville County, Idaho. Univ. Houston, Master's Thesis, 263 p (unpub.)

ISBN: 978-625-6971-84-4

Muir-Wood, R., 1993. Neohydrotectonics. In: Neotectonics and active faulting (edited by Steward, I.S., Vita-Finzi, C. and Owen, L.A.) Zeitschrift Geomorphologie Supplemantary Voluma, 94, 275-284.

Okay, A.C., 1976. Mineralbilim, İ.Ü. Yayını.

Pedley, H.M. 1990. Classification and environmental models of cool freshwater tufas. Sedimantary Geology, 68, 143–154.

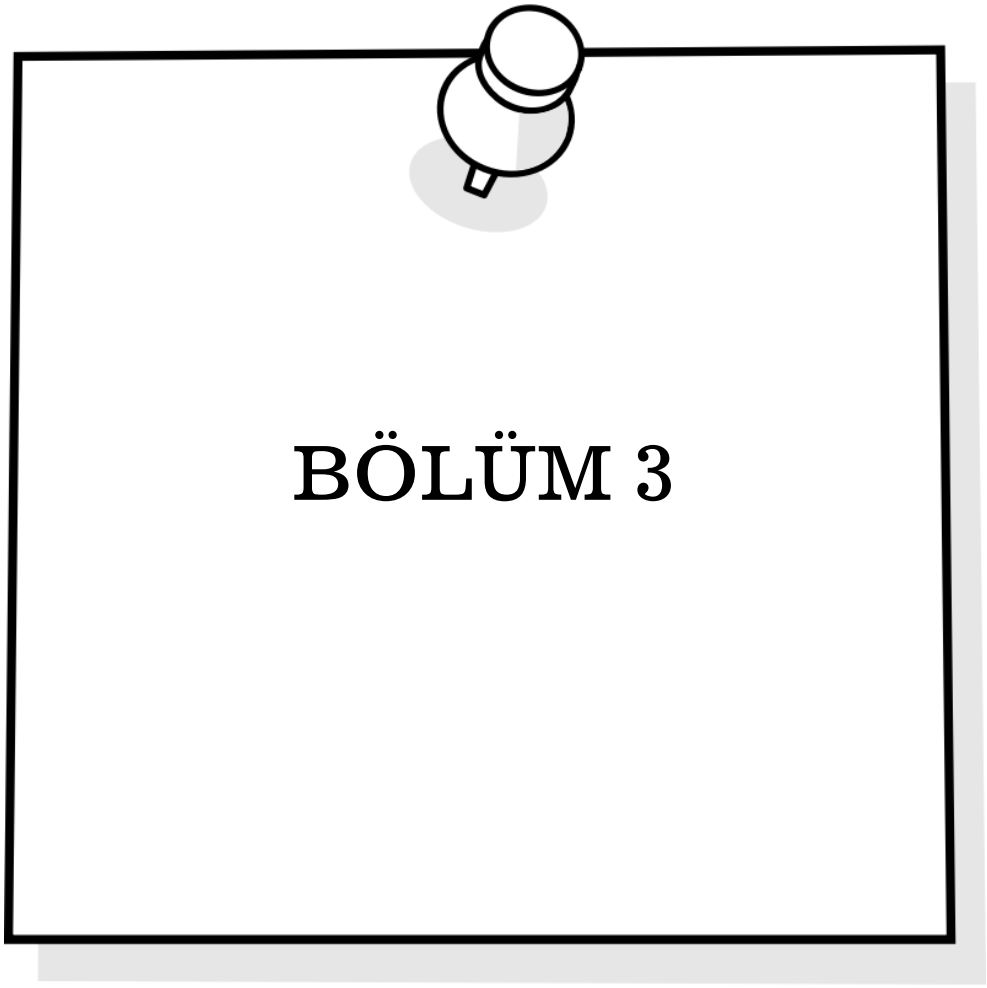
Pentecost, A., 1993. British travertines: A review. Proceedings of the Geologists Association, V.104, p. 23-39.

Smart, P.L., 1991. Uranium series dating. In: P.L. Smart and P.D. Francis (Eds.). Quaternary dating Methods-a User's Guide. Qart. Res. Assoc. Tech. Guide. 4, London, pp.45-83.

Sweeting, M.M., 1973. Karst landforms. Columbia Univercity pres, Newyork, 172 p.

Tekin, E., Ayyıldız, T., Turan, C. ve Öner A., 1999. Bakteriyal kökenli güncel pizoyid oluşumları. Electron Microscopy, 14. Ulusal Elektron Mikroskopi Kongresi Özel Kitabı/Abstract Book (Uluslararası Katılımlı), Bursa.

Wyatt, A. (ed.), 1986. Challinor's Dictionary of Geology (6th Edition). University of Wales Press, Cardiff, pp. 374.



BÖLÜM 3

ISBN: 978-625-6971-84-4

BİR KAMU HASTANESİNDE SOĞUTMA GRUBUNUN TERMAL KAMERA İLE ANALİZİ (ANTALYA ÖRNEĞİ)

Dr.Öğr.Üyesi Ahmet ÇOŞGUN[1]

1.GİRİŞ:

Termografi, 19. yüzyıl başlarında bir astronom olan Sir William Herschel tarafından bir prizma, kâğıt tablo ve farklı renklerin ısısını ölçebilen siyahlaştırılmış hazneli bir termometre kullanılarak yaptığı ilk deneyler ile başlamıştır. Herschel, prizmadan gün ışınını geçirerek gökkuşağı renklerini elde etmiş bu renkleri bir termometreye yansıtıp termometreyi bu renkler arasında hareket ettirmiş ve ısıda değişimler olduğunu keşfetmiştir. Mordan kırmızıya kadar değişen renkler içerisinde en yüksek sıcaklığın ise kırmızı ışığın altında elde edilebildiğini belirlemiştir. Radyasyona yol açan bu ısı görülememektedir. Herschel bu görülemeyen radyasyonu kalorofik ışın olarak tanımlamıştır. Günümüzde ise bu ışın kızılötesi olarak bilinmektedir**.[1].**

Kızılötesi ışın (Infrared-IR), görünür ışıktan daha uzun fakat mikrodalga ışından daha kısa dalga boylu ışımaların ısıl titreşiminden ortaya çıkar ve λ= 750nm-1mm arasındadır. Kızılötesi ışınım elektromanyetik radyasyon ailesi içinde yer alan bir ışınım olup, termal ışınım olarak da nitelendirilmektedir.

Kızılötesi ışın dalga boyuna göre 4'e ayrılır;

1. Kısa dalga boylu: 3-4μm
2. Orta dalga boylu: 3-8μm
3. Uzun dalga boylu: 8-15μm
4. Çok uzun dalga boylu: 15-1000μm**[2].**

[1] Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Termodinamik Anabilim Dalı

Kızılötesi kameralar kızılötesi enerjiyi ölçerler ve Planck formülü, Wien eşitliği ve Boltzman denklemleri esas alınarak uygun ayarlama ile cisimlerin sıcaklık dağılımlarını elde etmemizi sağlarlar. Cismin birim yüzeyde 1μ dalga boyu aralıklarında yaydığı ışımanın spektral dağılımı, ışımanın maksimum değeri, cismin 1cm2 yüzeyinin yaydığı toplam enerji, cismin sahip olduğu enerjinin ne kadarını ışıma yaptığının belirlendiği bu eşitlikler infrared ışıma tekniklerinin temel prensiplerini oluşturmaktadırlar **[2].**

Termal kameralar, Mutlak sıfır olan 0°K yani -273°C üzerinde sıcaklığa sahip olan tüm maddeler termal enerji yayarlar. Termal kameralar bu enerjiyi algılayıp dijital ortamda görüntüye çeviren cihazlardır. İnfrared radyasyonun farklı dalgaboy bilgisini alan termal kameraların oluşturduğu görüntü tek renkli (monokromatik)'dir. Nesnelerdeki ısı dağılımını görüntülemek için termogram kullanımına "Termografi" adı verilmektedir**[3].** Termografik kameralara infrared kameraveya termal görüntüleme kamerası adı da verilmektedir. Maddelerden yayılan enerji nesnenin sıcaklığına ve yapısına göre değişiklik gösterir. Termal kamera ışığı değil ısıyı gören kameralardır denebilir**[3].**

Termal kameralı İnsansız Hava Araçları (İHA) termal görüntüleri başlangıçta kullanımı sadece askeri ve savunma amaçlı kullanılırken avantajları sayesinde bşir çok alanda tercih edilmeye başlanmşıtır.. Örneğin termodinamik çalışma alanında da; yalıtım sistemlerinin arızalarının tespiti, enerji tasarrufu gibi konularda kullanılmaktadır.

Diğer taraftan yalıtım sistemlerinin arızaları, beklenmedik sıcaklık değişimlerini ve artan enerji tüketimini tetikleyen bir durumdur. Buna bağlı olarak enerji kayıplarının yeni ve eski binalarda ısı kayıpları ve kazançları yönünden yaz ve kış aylarında enerji maliyetlerinin artışına neden olmaktadır. Bunların tespiti İHA termal kameraları yardımıyla belirlenebilmektedir**[6].**

Yapı sektöründe de, yapısal bozukluklar ve enerji kayıplarının tespitinde termal kameralar sıkça kullanılmaktadır . Termografik görüntüleme yönteminin yenilenen veya yenilenmeyen binaların incelenmesi için modern bir ölçüm yöntemi olduğu söylenebilir**[4].**

Termografi ve termal görüntüleme elektrikli ekipmanları ve süreç ekipmanlarını denetlemek, sağlık, savunma ve bina tanılamaları için kullanılabilir. Elektrikli ekipmanlar motorları, dağıtım ekipmanlarını ve trafo merkezlerini içerir. Süreç ekipmanları otomatize üretim ve montaj ekipmanlarını kapsar. Bina tanılamaları, çatıdaki rutubeti kontrol etmeyi, hava sızıntısına yönelik olarak bina yalıtımı incelemelerini ve nem algılamasını için alır. Yalıtım ise duvarların, çatıların ve

döşemelerin içine yerleştirilmiş bina termal çevre kaplama malzemelerini kapsar**[5].**

İHA termal kamera sistemleri kullanılarak kamu binaları ile vatandaşların kullandığı binalarda ,ısı ve nemsel performansın iyileştirilmesi sağlanabilir. Bu sayede tasarım ve bakım uygulamalarına katkı sağlayacağı söylenebilir.

Tarım sektöründe örtü altı yetiştiriciliğin fazla olduğu Akdeniz yöresinde plastik örtülerde meydana gelen hasarlar hava kaçış noktaları anında tespit edilebilir. İç hava kalitesine etki eden parametreler termal kameralara çeşitli sensörler yapılarak CO2,CO, CH4, PM ,Uçucu organik bileşiklerin tespiti vb anında yapılabilir. Anında tespit edilen görüntü verileri bir ara yüz program ile bir PC aktarılabilir. Bu sayede gerekli müdahaleler anında yapılabilir.

Türkiye'nin bir deprem bölgesi olduğu bilindiğine göre binalarda kolon , kirişlerin malzeme farklılığına göre sensörler üretilerek binaların yapısal analizleri incelenebilir. Böylece yerel yönetimlerin kontrolleri daha çabuk ve kolay çözülebilir.

Tarihi camiler, hamamlar antik kent yapılarında gelecek nesillere aktarılması için özellikle yapıların hasarlı kısımlarının termal kameralar ile analizleri ileri mühendislik teknikleri ile çözümlenebilir. Makine mühendisliği uygulama alanında özellikle soğutma sistemleri, ısıtma sistemleri, sıhhi tesisat, hava kanalları, hava ve su kaçaklarının, hidrolik sistemlerde bulunan sızıntı hidrolik kaçaklarının anlık tespiti termal kamera görüntülerinin analizleri ile de belirlenebilir.

a)Termal makine mühendisliği alanında kullanım alanları :

Mekanik Sistemler, Buhar hatları ve vanalarda, HVAC Sistemlerinde, Motor yataklarında, Bina, çatı ve yalıtımı yapılmış sistemlerin izolasyon kontrollerinde,

Fırın yüzeylerindeki aşırı sıcak noktaların tespitinde,

İş makinelerinin arızalarının en kısa sürede tespit edilmesi ve bu arızalarının giderilmesinde v.b. kullanılmaktadır.

b)Termal Kameraların Sağlık alanında uygulamaları

1) Meme kanseri ve hastalıkları,

2) Dolaşım sistemi ve hastalıkları; periferik hastalıkların teşhisi,

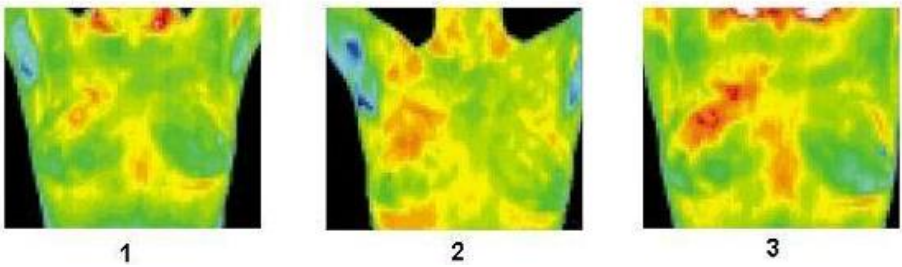
3) Nöromuskuler sistem ve hastalıkları; akut ve kronik sırt ağrıları, disk hernileri,

4) Santral ve periferik sinir sistemi hastalıkları; otonom sinir sistemi hastalıkları, migren, yüz felci, spinal sinir yaralanmaları, karpal tünel sendromu,

5) Kas, eklem ve iskelet sistemi hastalıkları, 6) Romatizma, eklem iltihapları, tendinit, gut hastalığı, kas yaralanmalarıdır**[1]**

Tümörlü dokular etraflarındaki dokuya göre daha fazla ısı yayarlar. Tümör oluşumu, gelişimi gibi risk faktörleri termografi ile rahatlıkla belirlenebildiğinden, meme kanseri teşhisinde sıklıkla tercih edilmektedir. Memede meydana gelen fiziksel kitle veya tümörün fizyolojik değişiklikleri belirlenebilir. Memedeki bir kanserin 0,2 cm'den küçük boyutlarda tespit edilebilmesi, termografi dışında başka bir tanı yöntemiyle mümkün değildir.

Göğüs kanseri muayenesinde termografi kullanımı Şekil 1'de verilmektedir. Aynı hasta üzerinde değişik zamanlarda elde edilmiş termografi görüntüleri görülmektedir



Fotoğraf 1: Termal kameranın gögüs kanseri teşhisinde kullanım

İlk çekim: Sağ göğüste (resimde solda) bir bölgede sola göre hafif bir termik ısı farkı görülmektedir.

İki üç ay sonraki ölçümlerde: Fark daha belirgin, mamografi ile henüz tam teşhis edilemeyecek düzeyde olduğu görülmektedir.

Bir yıl sonraki çekimlerde ise artan değişim, paralelinde mamografi ile yapılan ölçümde saat ibresinin 1 konumuna denk gelen yerde 1 mm'lik bir nodül ölçülmüştür**[1].**

Denizcilikte, çoğu deniz araçları gece görüş ve güvenlik amacıyla termal kamera kullanmaktadır. Bunun yanı sıra yangın söndürmede, yangınlara müdahale sırasında dumandan görüşü kapanan itfaiyecilerin yangın alanında bulunan kişileri görmeleri amacıyla da yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Seralar, bitkilerin gelişmesi için çevre koşullarının uygun olmadığı zamanlarda uygun ortamların yaratıldığı yapılar olup bitkilerin büyümeleri ve gelişmeleri için, sera içi sıcaklığının belirli sınırlar arasında tutulması gerekmektedir. Bir

yerde sera kurulurken ve ekonomik olup olmadığına karar verilirken, seranın ısıtma giderleri; sera karlılığında en büyük parametre olduğundan dolayı, büyük önem arz etmektedir. Termal kameralar; seraların kapı ve pencere çevrelerinden, örtü malzemesinin ekleme kısımlarından, duvar ve çatıların birleştikleri yerlerden sera dışına ısı kaybı yaşanabilmekte olup, sera ısısını kontrol etmede büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu ısı kayıplarının yaşandığı noktaların tespit edilmesi oldukça önemli olup sorunun çözümünde kritik rol oynamaktadır. Termal görüntüleme ile birlikte ısı farklılıklarının yaşandığı noktalar kolayca tespit edilebilmekte ve sorunlu bölge tanımlanmaktadır. Böylece asgari maliyet ile enerji kayıpları engellenmiş olmaktadır**[1].**

Raylı sistemlerde kompozit malzemeler, dahili hasarlar termal kamera sistemleri ile incelenebilmektedir. Gelecek çalışmalarda; malzeme dış yüzeylerinde bulunabilecek hasarların da termografik tekniklerle kontrol edilmesi önerilmektedir. Ayrıca, raylı sistemlerde kullanılan kompozitlerde bulunabilecek farklı malzeme, parça geometrilerinin ve hata türlerinin de belirlenecek yeni test parametreleri ile termografik metotlarla tespitinde çeşitli çalışmalar yapılabilir**[7].**

Büyük tesislerde soğutma sistemlerinin bakımı, ortaya çıkan arızalar ve bunların geç tespit edilmesi zaman, maliyet sorunlarına yol açmaktadır. Soğutma sisteminin performansının düşmesi ya da arıza durumlarının oluşması enerji sarfiyatının yanında ekonomik maliyetin de artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle çalışmalarda, soğutma sisteminde oluşabilecek arızaları tespit etmek için, kızılötesi görüntüleme kullanılarak yüzeysel sıcaklık değişimlerinin incelenmesi örnekleri yapılmaktadır**[8].**

Tarihi camiler kültürel olarak toplumlarda önemli bir yer tutmaktadır ve birçoğu koruma altında tescilli yapılardır, bu nedenle özellikle bu yapıların korunması gelecek nesillere aktarılması gerekmektedir. Bu bağlamda Türkiye de Trabzon ili merkez Ortahisar ilçesinde bulunan ve bölgenin en büyük camisi olan Trabzon Çarşı Cami'sinde Fanger'in PMV modeli kullanılarak termal konfor çalışması yürütülmüş gerekli analizler de yapılmıştır**[9].**

Enerji verimliliği için, enerji fiyat maliyetlerinin artması nedeniyle kamu kurumları, hastaneler v.b. yerler için büyük parasal çıktıların fazlalığı sorun olmaya başlamıştır. Tüm işletmelerde maliyetlerin azaltılması için öncelikle tüm cihazların bakımlarının tam ve zamanında yapılması gerekmektedir. Bakımların zamanında yapılsa dahi bazen işletmenin sürekliliği için maliyet analizlerinin de yapılması gerekmektedir. Makina dairelerinde enerjinin kayıplarının tespitleri için bir çok çihazlar bulunmaktadır.

Son yıllarda termal kamera sistemleri makine mühendisliği alanında ısıtma soğutma ve havalandırma sistmelerinde kayıp ve kaçakların önlenmesi son dönemlerde ön plana çıkmıştır.

Bir sağlık kurumu hastanesinde bulunan 19 XRV75756FMEH52 tipli 2 adet soğutma grubunun soğutma kapasitesi 3883 KW olup çihaz R134A gazlı, santrifüj tip kompresör kulanılmakta ve su soğutmalı kondanser ile yine su soğutmalı bir evaparatör bulunmaktadır. Evaparatörün Su giriş/ çıkış sıcaklığı sırasıyla 10°C /6°C'dir.

Bu bölümde, Kamu kurumu bir hastanede bulunan 2 adet soğutma grubunda meydana gelen bir elektriksel harmonikliğin, soğutma grubunun elektronik sisteminde sürekli arızalara neden olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmamız da belirtilen arızanın nedeninin tespiti ile özelliklede soğutma grubunda bulunan elektronik expansion valf gibi yardımcı sistemlerdeki arızaların kaynakları tespit edilmeye çalışılmış bunların teknik yönden inlenebilmesi için Termal kamera ile gerekli mühendislik yaklaşımıyla çalışmalar yapılmıştır.

2.DENEYSEL ÇALIŞMA

Bir sağlık kurumu hastanesinde bulunan carrier markalı 19 XRV75756FMEH52 tipli soğutma grubunun CHRNOUX C.A 8336 tipli güç kalite analizörü ile elektriksel değerlendrmeler için gerekli ölçümler yapılmıştır. Aşağıda Şekil 1 19 XR Soğutma grubu ile panosu görülmektedir.



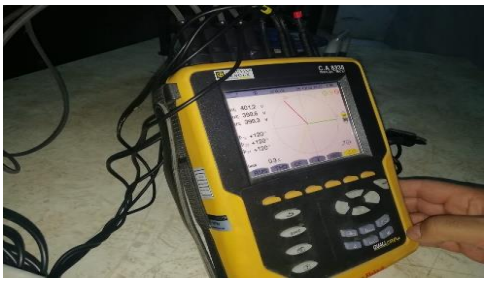


Şekil 1,2: Kamu hastanesinde bulunan Carier markalı 19 XRV75756FMEH52 tipli çihazın görünümü

Bu çalışmada bulunan Soğutma grubu 1600 kVa torofodan beslenmektedir. Kompansazyon sisteminde %7 pasif filtreli sistem mevcuttur. Trafo ile soğutma cihazı arasında 120 m mesafe bulunmaktadır. Faz başına 4x(3x1x240) mm^2

ISBN: 978-625-6971-84-4

NYY kablolar ile taşınmaktadır. Bu soğutma grubunda harmonik filtresi bulunmamaktadır. .





Şekil 3,4: CHRNOUX C.A 8336 tipli güç kalite analizörü ile 19 XR soğutma grubunun elektriksel değerleri analizör çihazı bağlantısı görünümü

CHRNOUX C.A 8336 tipli güç kalite analizörü ile 19 XR soğutma grubunun elektriksel değerleri incelenmiştir.

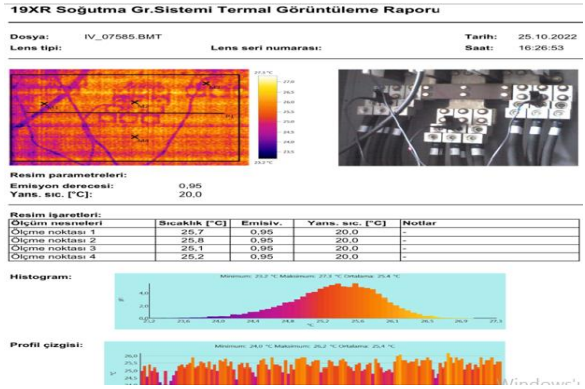




Şekil 5,6: CHRNOUX C.A 8336 tipli güç kalite analizörü ile soğutma grubunun pano bağlantısı

Soğutma grubu 25/10/2022 ile 26/10/2022 tarihleri arasında 24 saatlik ölçümler yapılmıştır. Soğutma grubuna %100 çalışma modunda ortamın soğuk olması nedeniyle %15.8 düzeylerinde bir soğutma yüklenebildi. Soğutma su sıcaklığı istenilen dereceye geldiği görülmekle soğutma grubuna test için 24 süresince Güç kalite analizörü ile teste tabi tutulmuştur. Soğutma grubunun 2654 kw elektrik enerjisi tükettiği tespit edildi, Harmonik akım değerinin %80 olduğu görülmüştür.

Soğutma grubunun 19 XR termal görüntülerinin incelenmesi ile bir çok arızlar ortaya çıkmaktadır.


19XR Soğutma Gr.Sistemi Termal Görüntüleme Raporu

Dosya: IV_07585.BMT
Lens tipi:
Lens seri numarası:
Tarih: 25.10.2022
Saat: 16:26:53

Resim parametreleri:
Emisyon derecesi: 0,95
Yans. sıc. [°C]: 20,0

Resim işaretleri:

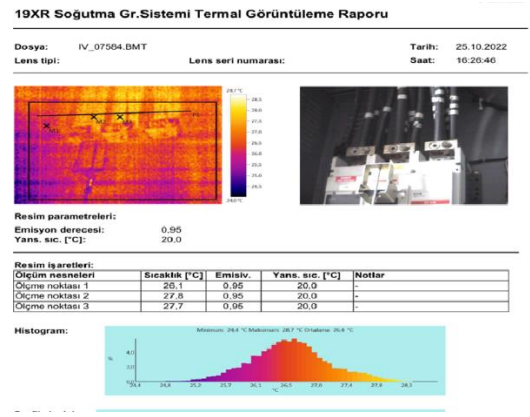
Ölçüm nesneleri	Sıcaklık [°C]	Emisiv.	Yans. sıc. [°C]	Notlar
Ölçme noktası 1	25,7	0,95	20,0	-
Ölçme noktası 2	25,8	0,95	20,0	-
Ölçme noktası 3	25,1	0,95	20,0	-
Ölçme noktası 4	25,2	0,95	20,0	-

Histogram:

Profil çizgisi:

Şekil 7:Soğutma grubunun kesici çıkışındaki elektrik bağlantıları

Soğutma grubunun kesici çıkışında elektrik bağlantılarınınTermal kamera değerlerinin analizinden değerlerin normal olduğu görülmektedir(Şekil 7).


19XR Soğutma Gr.Sistemi Termal Görüntüleme Raporu

Dosya: IV_07584.BMT
Lens tipi:
Lens seri numarası:
Tarih: 25.10.2022
Saat: 16:26:46

Resim parametreleri:
Emisyon derecesi: 0,95
Yans. sıc. [°C]: 20,0

Resim işaretleri:

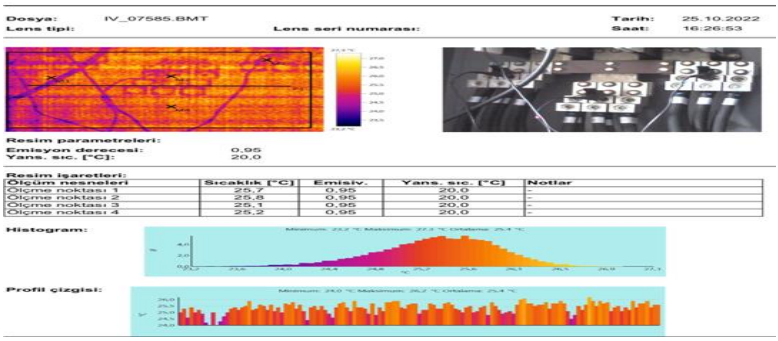
Ölçüm nesneleri	Sıcaklık [°C]	Emisiv.	Yans. sıc. [°C]	Notlar
Ölçme noktası 1	26,1	0,95	20,0	-
Ölçme noktası 2	27,8	0,95	20,0	-
Ölçme noktası 3	27,7	0,95	20,0	-

Histogram:

Şekil 8: Soğutma grubu elektriksel kesici girişi

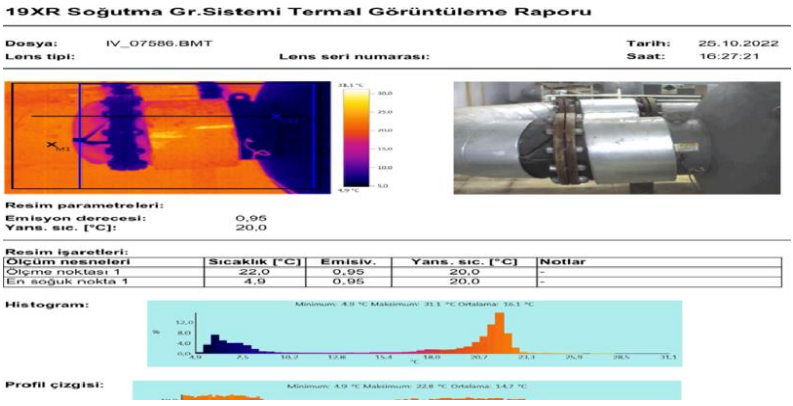
Şekil 8'de soğutma grubunun elektriksel kesici grubunun girişinin durumu termak kamera ile analiz edilmesi sonucunda sıcakılık değerlerinin uygun olduğu tespit edilmiştir.

ISBN: 978-625-6971-84-4



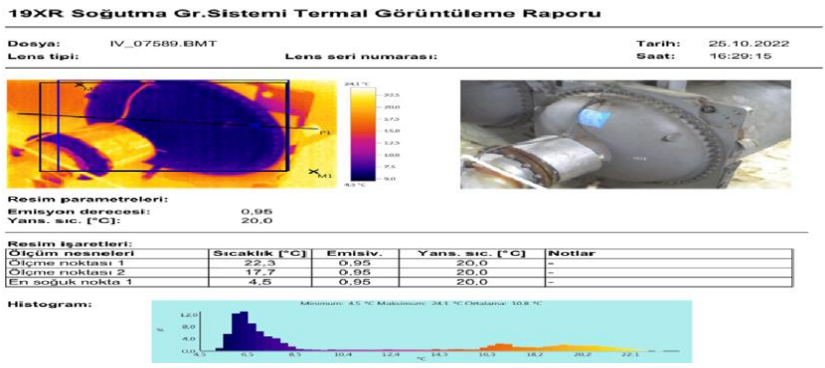
Şekil 9: Soğutma grubu elektriksel kesici çıkış değerleri

Soğutma grubu elektriksel kesici çıkış değerleriin tahribatsız muayene ile normal olduğu termal kamera görüntülerinin mühendislik yaklaşımıyla incelenmesinden anlaşılmıştır (Şekil 9)



Şekil 10: Evaparatör soğuksu bölgesinde izalasyonsuz bölgelerdeki ısı kayıpları termal görünümü

Evaparatör soğuksu bölgesinde izalasyonsuz bölgelerdeki ısı kayıpları termal kameralarının mühendislik yaklaşımıyla incelenmesi sonucunda izalasyonsuz bölgelerde enerji kayıplarının var olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda bu bölgelerin izalasyonlarının yapılması gerekmektedir(Şekil 10)


19XR Soğutma Gr.Sistemi Termal Görüntüleme Raporu

Dosya: IV_07589.BMT
Lens tipi: Lens seri numarası:
Tarih: 25.10.2022
Saat: 16:29:15

Resim parametreleri:
Emisyon derecesi: 0,95
Yans. sıc. [°C]: 20,0

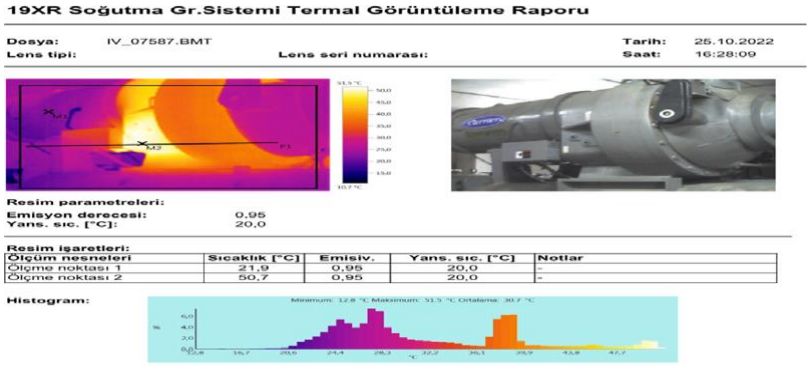
Resim işaretleri:

Ölçüm nesneleri	Sıcaklık [°C]	Emisiv.	Yans. sıc. [°C]	Notlar
Ölçme noktası 1	22,3	0,95	20,0	-
Ölçme noktası 2	17,7	0,95	20,0	-
En soğuk nokta 1	4,5	0,95	20,0	-

Histogram:

Şekil 11: Soğutma grubu evaparatörünün yalıtımsız termal kamera görüntüsü

Soğutma grubu evaparatörünün yalıtımsız bölgelerinde termal kamera ile mühendislik yaklaşımıyla incelenmesi sonucunda enerji kayıplarının olduğu tespit edilmiştir. Bu kısımların yalıtımlarının yapılması gerekmektedir(Şekil 11).


19XR Soğutma Gr.Sistemi Termal Görüntüleme Raporu

Dosya: IV_07587.BMT
Lens tipi: Lens seri numarası:
Tarih: 25.10.2022
Saat: 16:28:09

Resim parametreleri:
Emisyon derecesi: 0,95
Yans. sıc. [°C]: 20,0

Resim işaretleri:

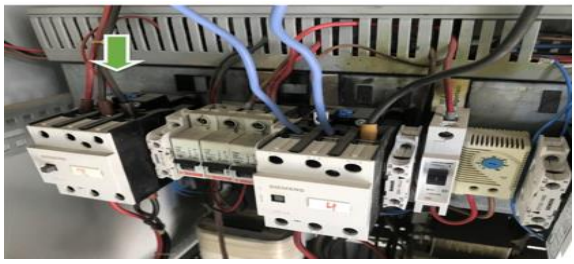
Ölçüm nesneleri	Sıcaklık [°C]	Emisiv.	Yans. sıc. [°C]	Notlar
Ölçme noktası 1	21,9	0,95	20,0	-
Ölçme noktası 2	50,7	0,95	20,0	-

Histogram:

Şekil 12: 19 XR Soğutma grubu sisteminin kompresörün termal kamera görüntüsü

19 XR Soğutma grubu sisteminin kompresörün termal kamera görüntülemesine göre derecelerin uygun olduğu gözlenmiştir.(Şekil 12).

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 13: Soğutma grununa ait panodaki kablo sıcaklıklarının 90°C olduğu tespit edilmiştir.

Test sırasında soğutma grubuna ait kabloların 90°C olduğu görülmekle sistem devre dışı bırakılmıştır. (Şekil 13)



Şekil 14: ADP panosunda yanlış bağlantının görünümü

ADP panosunda yanlış bağlantı olduğu belirlenmiştir(Şekil 14).



Şekil 15: Kompanzasyon panosunda devre kesici bağlantı noktaları görünümü

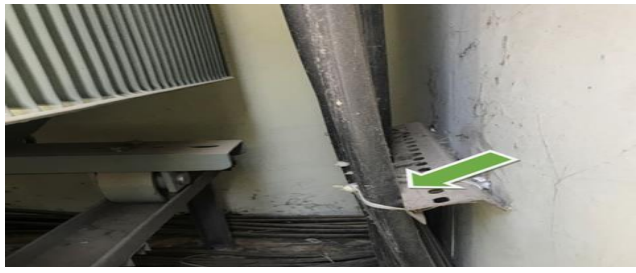
Kompanzasyon panosunda devre kesici bağlantı noktalarının ısınıp yanmaya neden olabileceği tespit edilmiştir.



Şekil 16: Kompanzasyon devre kesici bağlantısı görünümü

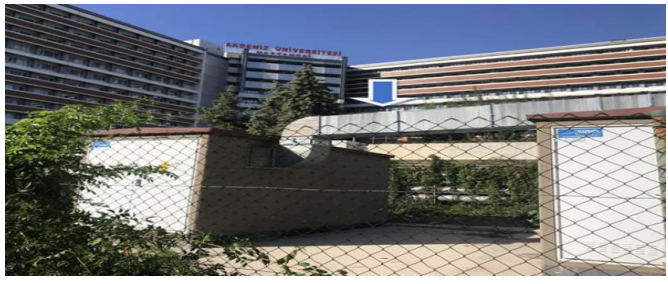
Kompanzasyon devre kesici bağlantısı noktalarının direnç oluşturabileceği tespit edilmiştir (Şekil 16).

Elektrik bağlantılarında özellikle yüksek gerilim kablolarında en ufacık kablodaki bir ezilme hem tüm tesisin elektrik kalmasına hem de yangın riskinin oluşmasına neden olabilmektedir. Bu çalışmada da aşağıda şekil 6 verilen fotoğrafta görüldüğü üzere kablonun keskin köşelerde kablo dış kısmının ezilmesine zarar görmesine örnek olarak aşağıda verilmiştir.



Şekil 17: Elektrik kablosunda keskin köşe bağlantı noktası görünümü.

Elektrik kablosunda keskin köşe bağlantılarının elektrik yönetmeliğine uygun yapılmadığı belirlenmiştir(Şekil 17).



Şekil 18: Trafoların havalandırma sistemi görünümü

Soğutma grubunun çalışmaması durumunda Trafoların soğutma sistemleri (havalandırma sistemi) çalışmaması durumunda hastanenin durmasına neden olabilecektir(Şekil 18)

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 19: Soğuk su tesisatında bulunan yalıtımsız haldeki pislik tutucunun görünümü

Su soğutma grubunun pislik tutucu ve çek valflerinin üzerinde bulunması gerekli olan yalıtımın yerinden sökülmüş olduğu yerine takılmaması durumunda buradan enerji kayıplarının olacağı kaçınılmazdır.

3.SONUÇ:

Günümüzde enerji maliyetlerinin artması nedeniyle enerjinin az kullanılması ile parasal maliyetin azalacağı bilinen bir olgudur. Enerji maliyetlerinin azaltılmasında en önemli unsurları arasında işletmenin veya tesisin bakım masrafları büyük yer tutmaktadır. Bu bakım masraflarının belirlenmesinde enerji mühendislerinin ekonomik analizleri önemlidir. Binalardaki enerji kayıplarına neden olan parametrelerde, özellikle Hastaneler, askeri tesisler AVM, okullar, üniversiteler ve yüksek katlı binalar gibi yerlerin, dış duvar bileşenlerinde meydana gelen kış aylarındaki ısı kaybı, yaz aylarında ısı kazançları, ısı köprüleri ve nem gibi etki eden birçok parametrelerin çözümü için İnsansız hava araçları İHA termal kamera sistemleri ile buraların görüntüleri analiz edilebilir. Termal kamera sistemlerinden alınan görüntüler gerekli analiz metotları ile incelendikten sonra yapılarda hasarlı kısımların tespit ile gerekli iyileştirmeler yapılabilir.

İHA'ların termal görüntüleri ile analizde özellikle İHA'nın üzerine gelen gün ışığı etkisinin geceye kıyasla daha fazla bozucu olduğu dikkate alındığında, geniş kapsamlı uygulama ve analizler için gece saatlerinde yapılacak veri kazanımının doğruluğu arttıracağı değerlendirilmelidir.

Trafo merkezleri, özellikle kampüs alanlarındaki hastaneler, beş yıldızlı oteller AVM gibi üniversiteler gibi büyük alanlarda elektrik temininin önemli bir parçasıdır. Bu tip yerlerde trafoda oluşabilecek en ufak bir nem giriş elektrik kesilmelerine

neden olabilir. Elektriğin, yeniden gelinceye kadar UPS sistemlerinin bir anda devreye girmediği olasılığı da düşüldüğünde Telafisi imkansız olayların yaşanmasına, hatta hastane ortamında hastaların ölümleri ile sonuçlanan vakaların ortaya çıkılmasına neden olunabilir. Bu gibi olayların yaşanması, tesislerde termal görüntüleme, trafoların dış yüzey analizlerinin yapılması, tahribatsız muayene ile üretilen haritalandırma gibi çalışmaları ile önlenebilir. Bunun yanında, termal görüntülemenin tesislerin periyodik bakımlarında kullanılması, olası kazaların yaşanmasını engelleyeceğinden iş sağlığı ve güvenliği yönünden de önem arz etmektedir

4. KAYNAKLAR :

[1]. ARSLAN, S., "Mühendislik Uygulamalarında termal kamera kullanımı"İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü ,Makine Mühendisliği Bölümü Tezli Yüksek lisans tezi.sf: 1-74, Ocak ,2016 , İskenderun.Türkiye

[2].DÜZGÜN, D., ve OR, E.M., "Termal kameraların tıpta veteriner hekimlikte kullanımı" TÜBAV Bilim 2(4) 2009 468-475, Tubav Bilim dergisi.

[3]. TONGUÇ, G. (2022). "Termal Görüntülerde Görüntü İşleme". Ö. K. Tüfekçi & L. Akbaş (Ed.),Sosyal Bilimler Araştırmaları: Çıkarımlar, Bileşenler, Çözümlemeler (s. 119-142).Klaipeda: SRA Academic Publishing.

[4]. ÇALIŞAN, M.ve TÜRKOĞLU, İ., "Termal kameralar ve uygulamaları" , Fırat Üniversitesi, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu,2011 https://www.bingol.edu.tr/documents/Termal%20Kameralar%20ve%20Uyugulamalar%C4%B1%20(FEEB).pdf

[5]. Wild, W. (2007). Application of infrared thermography in çivil engineering. Proc. Estonian Acad. Sci. Eng, 13, 436–444.

[6]. SAKALP, D., AKCAY, Ö., "Bina Zarfının Termal Görüntüler ile Fotogrametrik Modellenmesi" Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi Turk J Remote Sens GIS, Mart 2023, 4(1): 1-16 , Dergi Anasayfası: http://www.dergipark.org.tr/en/pub/rsgis.

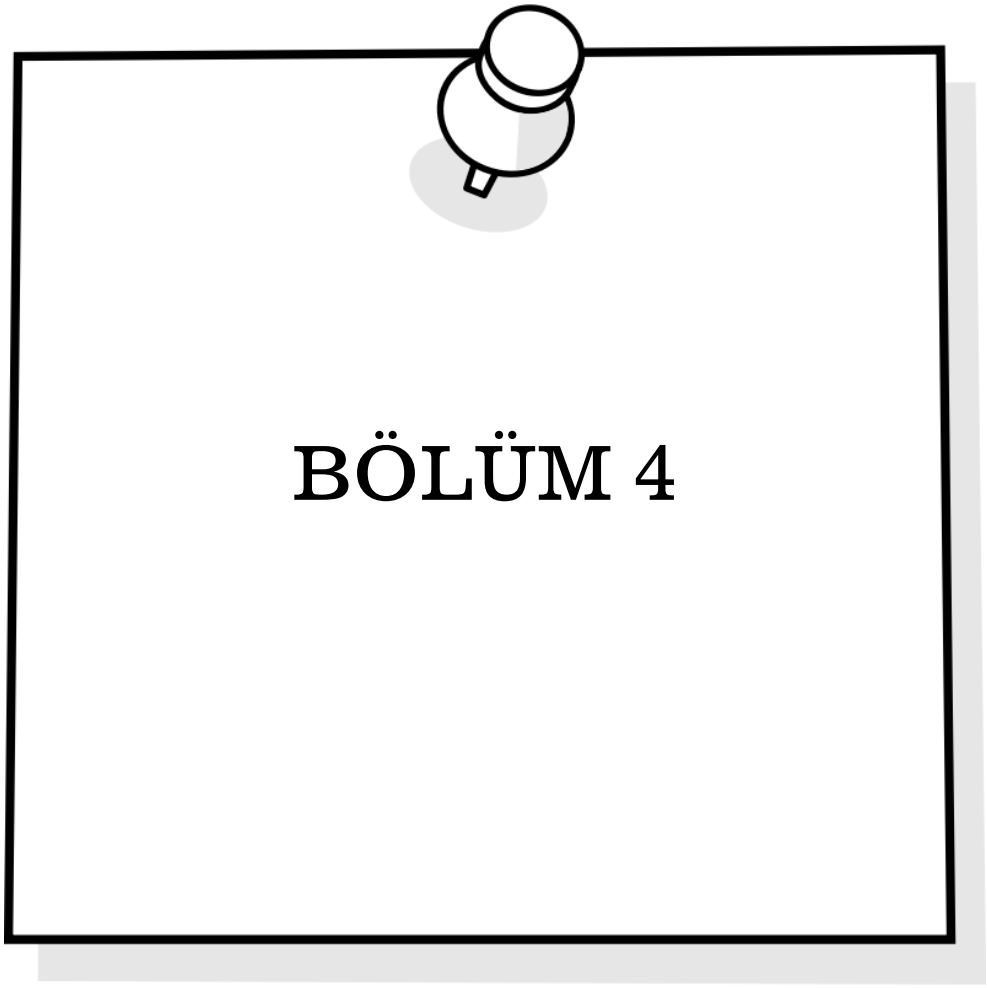
[7] . DİLTEMİZ, S, F., ve EROĞLU, E., "Raylı Sistem Araçlarında Kullanılan Kompozit Malzemelerin Termografik Muayene ile Kontrolü" Demiryolu Mühendisliği, Sayı:17, Sayfa: 186-198 Issue:17, Page: 186-198

[8]. SAKALP, T., CİNGİZ, S., "Soğutma Sistem Arızalarında Yüzey Sıcaklıklarının Kızılötesi Görüntü İşleme Yöntemi ile Değerlendirilmesi" Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 11 (2023) 139-156.

ISBN: 978-625-6971-84-4

[9]. SEYİTOĞLU, TAŞ., “Tarihi camilerde termal konfor incelemesi: Trabzon çarşı cami örneği” Avrasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık ve Yapılı Çevre Anabilim Dalı, Yüksek lisans tezi, 2019.

TEŞEKKÜR: Bu bölüm çalışmasında desteklerini esirgemeyen ve büyük katkıları olan Yeditepe Elektrik ltd.şti, Akdeniz Üniversitesi, Rektörlüğü, Akdeniz Üniversitesi Hastanesi Başhekimliği ile Akdeniz Üniversitesi Teknik Hizmetler Müdürlüğüne teşekkürleri bir borç bilirim.



BÖLÜM 4

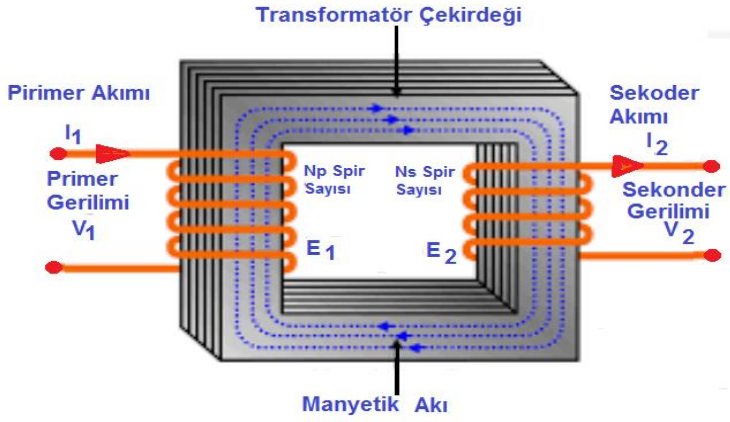
ISBN: 978-625-6971-84-4

BİR FAZLI TRANSFORMATÖRÜN MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Dr.Öğr. Üyesi Süleyman ADAK[1]

1. GİRİŞ

Elektromanyetik endüksiyon prensiplerine göre akımı veya gerilimi frekansı değiştirmeden yükselten veya düşüren hareketli parçası bulunmayan elektrik makinelerine transformatör denir. Elektrik enerjisi üretildiği yerden çok uzak tüketim bölgelerine kolayca taşınabilmesidir. Bu taşımanın ekonomik ve az kayıplı olması için gerilimin yüksek, akımın değerinin ise düşük olması gerekir. Gerilimi değerini yükseltmek için transformatörleri kullanılır.



Şekil 1. Bir fazlı transformatörün görünüşü

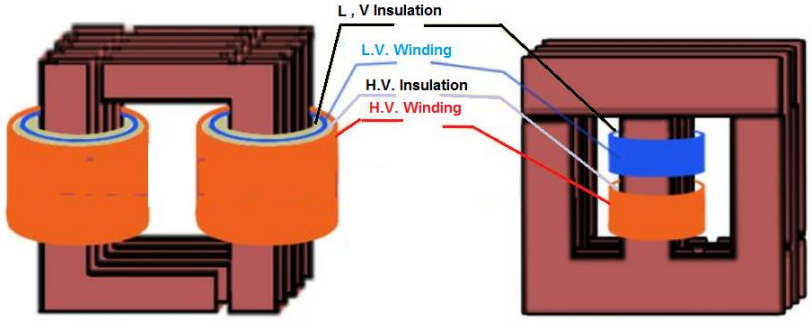
Transformatörler hayatımıza büyük kolaylıklar getirmiştir. Elektrikle çalışan cihazların boyutlarını küçülmesi, elektrik enerjisinin en uzak köylerede dahi kullanılması ve benzeri birçok çihazın kullanımını transformatörler sayesinde

1 Elektrik Yüksek Mühendisi, Mardin Artuklu Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölüm Başkanı, ORCID: 0000-0003-1436-2830

mümkün olmaktadır. Çekirdek tip nüveli transformatörlerde yalıtım için transformatörde daha fazla mekany ayrılmıştır.

Bu tip transformatörler genellikle büyük güçlerde ve yüksek gerilim seviyelerinde kullanılır. Bu tip taransaformatörlerde sargıların kontrolü kolaydır. Mantel tip trafolar genelliklr alçak gerilimlerde kullanılır. Sargılar manyetik nüve tarafından sarılmıştır. Demir yolu kısa ve mıknatıslanma akımı küçüktür. Bu nedenle bu transformatörler zayıf akım uygulamalarında sıklıkla kullanılırlar. Bu taranfformatörlerde sargılar dış etkilere karşı oldukça iyi korunurlar.

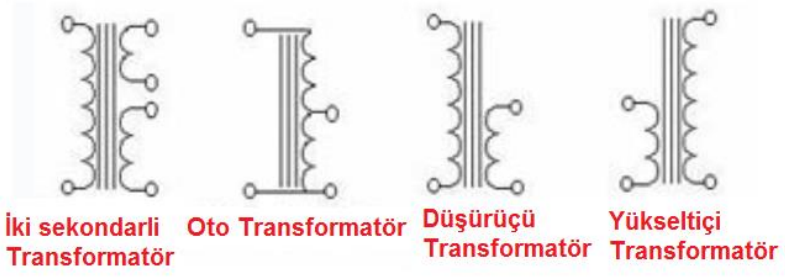
Dağıtılmış tip nüveye sahip transformatörler üstten bakıldığında "+" işaretine benzerler. Bu nüveye sahip transformatörlerde kaçak alanlar küçük olduğu için boşta çalışma akımı ve iç gerilim düşümleri oldukça azdır. Bu transformatörlerde soğutulması işlemi daha kolaydır.



Şekil 2 Çekirdek ve mantel tip transformatörler

Döner aksamlarının olmamasına rağmen elektrik makinaları sınıfına dahil edilmişlerdir çünkü çalışma şekilleri elektrik makinelerine benzemektedir. Elektrik enerjisinin iletilmesi ve dağıtılması gibi alanlarda ve birçok cihazın çalıştırılmasında kullanılırlar. Transformatör çeşitleri Şekil 3'te verilmiştir.

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 3 Transformatör .eşitleri

Transformatörler günlük hayatın vazgeçilmezleri arasındadırlar. Transformatörler şekilleri çalışma yapıları na göre çeşitleri fazladır. Kısa kısa ayrı gruplarda inceleyeceğiz**.**

Kullanım amaçlarına göre transformatör çeşitleri

- Dönüştürücü Tip Transformatör
- Yükseltici Tip Transformatör
- Ölçü Transformatörleri
- Yalıtım Transformatörleri
- Oto Transformatörleri

Nüve tipine göre transformatörler

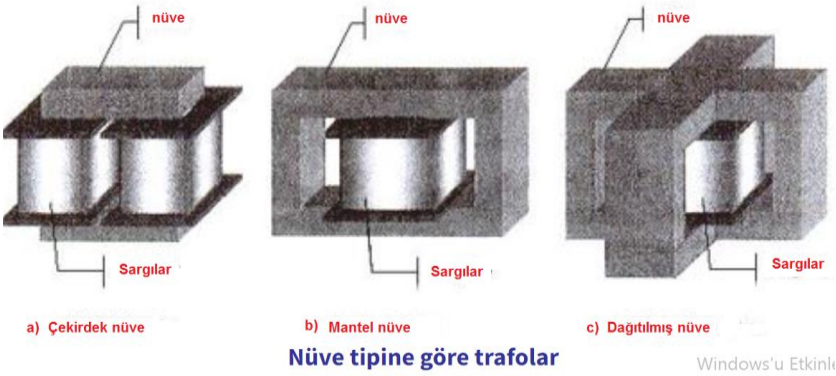
- Çekirdek tipi transformatör
- Mantel tipi transformatör
- Dağıtılmış tip transformatör

Soğutma Tipine Göre Transformatör Çeşitleri

- Kuru Tip Transformatör
- Yağlı Tip Transformatör

Yağlı tip transformatörler genellikle çekirdek tipi nüveden imal edilirler. Yaygın olarak iletim ve dağıtım transformatörleri olarak kullanılırlar. Nüve ve sargılar tamamen yağın içerisindedirler. Kullanılan yağın amacı trafonun soğutulmasını sağlamaktır.. Transformatörler ince silisli sacların bir araya getirilmesi ile

oluşan kapalı bir manyetik gövde üzerine, yalıtılmış iletkenlerle sarılmış sargılardan oluşur.



Şekil 4 Nüve türlerine göre transformatörler

Transformatörlerin nüveleri 0,30–0,50 mm kalınlığında ve birbirinden yalıtılmış özel silisli sacların bir araya getirilmesi sonucu oluşur. Transformatörün kayıpları olduğundan ideal transformatör gerçekte imal edilemez. Tek fazlı transformatörün kayıpları ile hesaplamalarının bilinmesi gerekir. Transformatör, ferromagnetik nüve üzerine sarılmış iki veya daha fazla bobinden meydana gelir. Transformatörün primeri AC güç kaynağına bağlanmış, sekonderi ısmı ise açık devredir.



Şekil 5 Bir ve üç fazlı çekirdek tipi taransformatörler

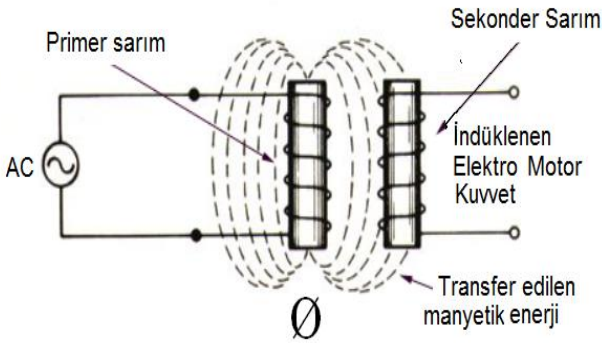
Transformatörleri kullananların can ve mal güvenliğini temin için transformatörlerin yaşıtılmaları gerekir. Bir fazlı transformatörün yalıtımında hem sar-

ISBN: 978-625-6971-84-4

gılar birbirinden yalıtılmalı, hem de sargıların nüveden yalıtılması gerekir. Transformatörde kullanılan sargı iletkenleri elektrolitik bakır veya alüminyumdan imal edilir. Kesitleri dikdörtgen ve veya yuvarlak şeklindedir. Yağlı transformatörlerde sargıların izolasyonu kağıtlarla yapılır. Saf selülozdan ince kağıt şeritler,sargı gerilimine göre iletkenlerin üzeri birden fazla kat ile sarılır.Kuru transformatörlerde spirlerde kullanılan iletkenlerin yalıtılmaları için, iletken üzerine, pamuk veya cam elyaflı iplikler sarılır, daha sonra bunlara lak emdirilir.

2 TRANSFORMATÖRLERDE İNDÜKLENEN GERİLİM GERİLİM

Bir iletkende endüklenen elektromotor kuvvet bir saniyede kesilen kuvvet çizgileri ile orantılıdır. Kesme hızı ne kadar fazlaysa ise endüklenen elektromotor kuvvet o kadar yüksektir. Transformatörün primerine kısmına alternatif gerilim uygulandığında şekil 1.6'da görüldüğü gibi zamanla değişen bir manyetik alan oluşturur.



Şekil 6 Transformatörlerde indüklenen gerilim

Değişken manyetik alan 1 Hz'lik sürenin 1/4' tünde manyetik alan maksimum değerini alır. Çeyrek peryotta (T/4) manyetik akı Φmax değerini alır. T/4 süre içinde bir iletkende indüklenen EMK' nın volt olarak ortalama değeri ise;

$$E_{ort} = \frac{\emptyset_{max}}{T/4} * 10^{-8} = \frac{\emptyset_{max}*4}{T} * 10^{-8} \qquad (1)$$

Burada;

Eort :İndüklenen gerilimin ortalama değeri (volt)

Ømax: En yüksek manyetik akı (maxwell)

T:Peryot

10-8 : Saniyede 108 kuvvet çizgisi kesen iletkende 1 voltluk bir gerilim endüklenir.

T=1/f (1) numaralı formülde yerine koyarsak,

$$E_{ort} = \frac{\emptyset_{max} * 4}{T} * 10^{-8} = \emptyset_{max} * 4 * f * 10^{-8} \quad (2)$$

Indüklenen gerilimin değeri,

$$E = 1.11 * E_{ort} \quad (3)$$

olduğundan,

$$\boldsymbol{E = 1,11 * 4 * \emptyset_{max} * f * 10^{-8}} \quad (4)$$

olarak bulunur. Transformatör sargısında N_1 kadar varsa endüklenen gerilimin değeri aşağıdak gibi bulunur.

$$\boldsymbol{E_1 = 4,44 * \emptyset_{max} * N_1 * f * 10^{-8}} \quad (5)$$

(5) denkleminde bulunana Ømax manyetik endüksiyon yoğunluğu (Bmax) ve manyetik nüve kesiti (Sn) ile orantılıdır.

$$\varphi_{max} = B_{max} * S_n \quad (6)$$

ifadesini (5) denkleminde yerleştirirsek,

$$E_1 = 4{,}44 * B_{max} * S_n * N_1 * f * 10^{-8} \quad (7)$$

$E_1 \cong U_1$ Yaklaşik olarak eşit alinirsa

$$V_1 = 4{,}44 * B_{max} * S_n * N_1 * f * 10^{-8} \quad (8)$$

ISBN: 978-625-6971-84-4

(8) denklemini sekonder sargısı için yazarsak,

$$\boldsymbol{V_2 = 4,44 * B_{max} * S_n * N_2 * f * 10^{-8}} \qquad (9)$$

olarak bulunur.

UYGULAMA-1-

Manyetik nüve kesiti 11 cm2 olan bir fazlı transformatörün primeri 50 Hz. ve 220 voltluk bir gerilime bağlanmıştır. Nüveyi oluşturan sacların manyetik indüksiyon yoğunluğu B=10000 gauss dur. Transformatörün sekonder sargısı 450 sipir olduğuna göre; Primer sipir sayısını bulunuz. ile. Sekonder gerilimini bulunuz.

$$V_1 = 4{,}44 * B * S_n * N_1 * f * 10^{-8} \qquad (10)$$

Primer spir sayısı,

$$\boldsymbol{N_1 = \frac{V_1 * 10^8}{4,44 * B * S_{n*f}} = \frac{220 * 10^8}{4,44 * 10000 * 11 * 50} = 900\ sipir}$$

Sekonder geriliminin değeri,

$$\boldsymbol{V_2 = 4,44 * B * S_n * N_2 * f * 10^{-8}}$$

$$\boldsymbol{= 4,44 * 10000 * 11 * 450 * 50 * 10^{-8} = 110\ V}$$

olarak bulunur.

UYGULAMA-2-

Manyetik nüve kesiti 11 cm2 olan bir fazlı transformatörün primeri 50 Hz. ve 220 voltluk bir gerilime bağlanmıştır. Nüveyi oluşturan sacların manyetik indüksiyon yoğunluğu B=10000 gauss dur. Transformatörün sekonder sargısı 450 sipir olduğuna göre; Primer sipir sayısını bulunuz. ile. Sekonder gerilimini bulunuz.

$$V_1 = 4{,}44 * B * S_n * N_1 * f * 10^{-8} \qquad (11)$$

Primer spir sayısı,

$$N_1 = \frac{V_1 * 10^8}{4,44 * B * S_{n*f}} = \frac{220 * 10^8}{4,44 * 10000 * 11 * 50} = 900\ sipir$$

Sekonder geriliminin değeri,

$$V_2 = 4,44 * B * S_n * N_2 * f * 10^{-8}$$

$$V_2 = 4,44 * 10000 * 11 * 450 * 50 * 10^{-8} = 110\ V$$

olarak bulunur.

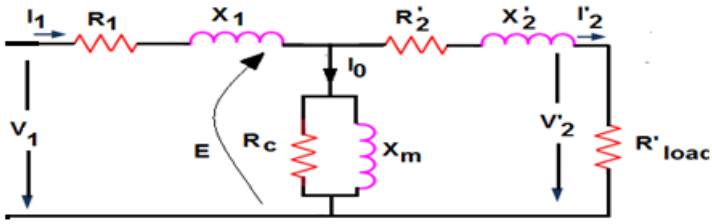
2. BİR FAZLİ TRANSFORMATÖRÜN EŞDEĞER DEVRE MODELİ

Bir fazlı transformatörün eşdeğer devre modeli oluşturulurken transformatörlerde oluşan kayıpların hesaba katılması gerekir. Transformatörün tam eşdeğer modelini oluşturmak için hesaba katılması gereken kayıpları vardır;

- Bakır Kayıpları (I^2R): – Bu kayıplar transformatör primer ve sekonder sargılarındaki iç dirençlerinden kaynaklanan olayı ısıl kayıplardır.
- Girdap akımlarının oluşturduğu kayıp: Transformatör çekirdeğinde oluşan Girdap Akımı Kayıpları: Transformatör çekirdeğinde endüklenen girdap akımlarının oluşturduğu rezistif ısıl kayıplarıdır. Transformatör uçlarına uygulanan gerilim karesi ile doğru orantılı olarak değişirler.
- Histerezis Kayıpları: Her bir yarı period süresince çekirdekteki manyetik parçacıkların tekrar dizilişi ile ilgilidir. Transformatöre uygulanan gerilimin kompleks ve doğrusal olmayan bir fonksiyonudur. Transformatörlerde harmonik bileşenlerin oluşumunda etkindirler.

Kaçak Akı: Primer veya sekonder sargılarının sadece birinden geçen ve hava aralığından devresini tamamlamayan akılardır, Bu kaçak akılar, primer ve sekonder sargılarda self (öz) endüktans oluştururlar. Kayıplar ve kaçak akının göz önüne alındığı bir fazlı transformatörün tam eşdeğer devresi Şekil 2'de verilmiştir.

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 7 Bir fazlı asenkron motorun eşdeğer devresi

Şekil 7' de bir fazlı transformatörün primer tarafa indirgenmiş eşdeğer devresi verilmiştir. Burada;:

R_1, transformatörün primer sargı omik direnci.

X_1, Primer sargı reaktansı.

R_c, çekirdek kaybını temsil eden direnci.

X_m = mıknatıslanma reaktansı.

R'_2 primere indirgenmiş sekonder sasargı omik direnci

X'_2 primer tarafa indirgenmiş sekonder sargı reaktansı.

R_{load}: primere indirgenen sekondere bağlı aktif yük.

Transformatörün Primer kısmın enpedansı;

$$Z_1 = R_1 + jX_1 \qquad (12)$$

Sekonder tarafın empedansları;

$$Z'_2 = R'_1 + JX'_1 \qquad (13)$$

Paralel dal empedansı ;

$$Z_0 = \frac{R_c.IX_m}{R_c+JX_m} \quad (14)$$

olarak bulunur. Transformatörün toplam empedansı aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$Z = Z_1 + \frac{Z_0.(z_2'+R_{load}')}{Z_0+Z_2'+R_{load}')} \quad (15)$$

Transformatörün primer akımı (I) ve primere indirgenmiş sekonder akımı (I'$_2$) aşağıdaki formüllerle bulunur.

$$I_1 = \frac{U_1}{Z} \quad (16)$$

sekonder akımı:

$$I_2' = \frac{Z_0}{Z_0+Z_2'+R_{load}'}\left(\frac{U_1}{Z}\right) \quad (17)$$

Sekonder gerilimi şu şekilde hesaplanabilir:

$$U_2' = R_{LOAD}'.\mathrm{I}_2' \quad (17)$$

ISBN: 978-625-6971-84-4

Transformatörün giriş gücü (P 1) ile çıkış gücü (P2) şu formüllerle bulunur:

$$P_1 = \text{real}[U_1 . I_2^*] \quad (18)$$

Sekonderdeki aktif güç,

$$P_2 = R'_{\text{load}} . [I'_2]^2 \quad (19)$$

Son olarak, verimlilik şu şekilde bulunur:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (20)$$

formulü ile bulunur. Transformatörün primer ve sekonder gerilimleri arasındaki ilişki:

$$\frac{v_p(t)}{v_s(t)} = \frac{N_p}{N_s} = a \quad (21)$$

formulü ile bulunur. Burada, a transformatörün dönüştürme oranı vp primer gerilimini, vs sekonder gerilimini, Np primer spir sayısını, Ns sekonderr spir sayını göstermektedir.. Transfomatörün primer ve sekonder akımları arasında aşağıda verilen ilişki bulunmaktadır:

$$\frac{i_p(t)}{i_s(t)} = \frac{N_s}{N_p} = \frac{1}{a} \qquad (22)$$

Transformatörde primer gerilimi nokta konulmayan ucuna göre noktalı uçta pozitif olursa, seconder gerilim de noktalı uçta pozitif olacaktır. Gerilim polariteleri transformatör çekirdeğinin her tarafındaki noktalara göre aynıdır. Manyetomotor kuvveti sıfıra yaklaştırmak için, akım sargılardan birinde noktalı kısımdan içeriye, diğerinden de noktalı yerden dışarı doğru akmalıdır. Sonuç olarak, ideal bir transformatör ile gerçek bir transformatör arasındaki farklar aşağıdaki sıralandığı gibidir;

- İdeal bir transformatör çekirdeğinin histerizis ve girdap akımı kayıpları bulunmamaktadır.
- İdeal bir transformatörde mıknatıslanma eğrisinin formu birim basamak fonksiyona benzer olup net mmf sıfırdır.
- İdeal bir transformatörde manyetik akı transformatör çekirdeğinde böylece kaçak akı sıfırdır.
- İdeal bir transformatörde primer ve seconder sargıların iç direnci sıfırdır.

UYGULAMA-3-

Bir transformatörün primer sipir sayısı 500, primer gerilimi 220 volt, sekonder gerilimi ise 110 volt olduğuna göre a) Dönüştürme oranını b) Sekonder sipir sayısını c) Sipir başına indüklenen gerilimi hesaplayınız.

a) a = U1 / U2 = 220 /110 = 2 a = 2,

$$a = \frac{N_1}{N_2}$$

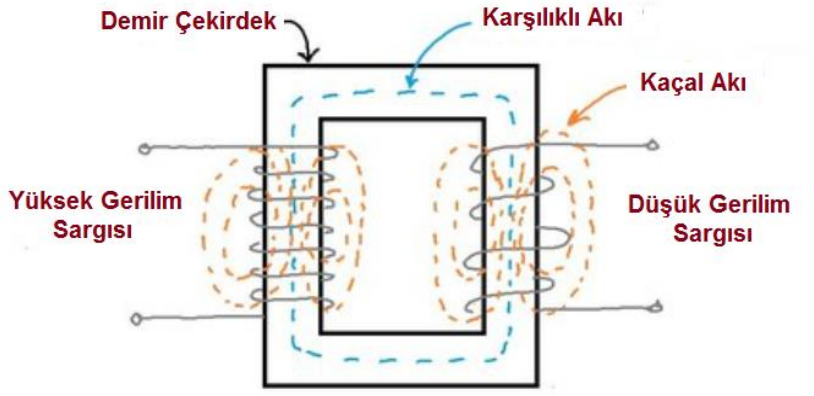
b) $N_2 = \frac{N_1}{a} = 250$

$$c)\ U_s = \frac{U_1}{N_1} = 0.44\ V/Sipir$$

ISBN: 978-625-6971-84-4

3.1. TRANSFORMATÖRLERDE KAÇAK AKILAR

Transformatörün primerine alternatif gerilim uygulandığında akımın oluşturduğu manyetik akının tamamı ikinci devre iletkenlerini kesmez. Akının küçük bir kısmı devresini havadan tamamlar. Bu havadan yolunu tamamlaya akılara kaçak akılar denir.



Şekil 8 Transformatör kaçak akıları

Kaçak akılar ne kadar çok olursa faydalı akı da o nispette azalma olur. Bunun sonucunda sekonder devre sargılarında sipir başına indüklenen gerilim, primer sargılarında sipir başına indüklenen gerilimden daima küçük olur. Böylece sekonder sargılarda indüklenen gerilimde azalmalar oluşur. Kaçak akıyı düşürücü tedbirler:

- Primer ile sekonder sargıların düzenli ve uygun şekilde sarmak,
- Sargılar üst, üste ve aynı ayağa sarılması kaçak akıları büyük ölçüde azaltır. Nüve için kullanılan sacların kaliteli manyetik geçirgenliğinin çok yüksek olması,
- Transformatörlerde primer ile sekonder sargılarının

Kaçak akıdan faydalanılan yerler olarak bazı özel transformatörlerde kaçak akıların olması istenir. Örnek olarak kaynak makinelerinde, kısa devre akımlarını azaltmada, paralel çalışmayı kolaylaştırmada ve ark fırınlarının güç devrelerinde kullanılan transformatörün kaçak akıların yüksek olması istenir. Trafoların Gerilimine Göre Çeşitleri Transformatörler gerilimlerine göre dört çeşitte sınıflandırılır:

- Alçak Gerilim Trafoları Alçak gerilim (AG) 0 – 1 kV arası gerilim değerleridir.
- Orta gerilim (O.G.) 1 – 3 – 5 – 10 – 20 – 25 – 30 – 35 kV değerleridir.
- Yüksek gerilim (YG) 45 – 60 – 154 kV değerleridir.
- Çok yüksek gerilim 154 kV ve üzeri gerilim değerleridir

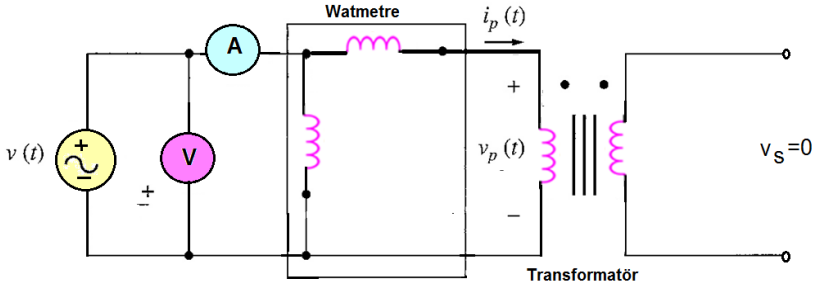
Elektrik makinelerinde olduğu gibi transformatörler de çalışmaları esnasında ısınırlar. Transformatörün özellikle sargılarında ve demir nüvesinde oluşan kayıplar ısınmanın bir sonucudur. Döner makinelerde soğutmayı az da olsa sağlayan hava akımlarının oluşmasına karşın, duran makine olan transformatör DÖNER makinelere nazaran daha olumsuz şartlarda çalışırlar.

4. TRANSFORMATÖR EŞDEĞER DEVRE PARAMETRELERİN BULUNMASI

Transformatör modeli (devre eşdeğeri) üzerindeki endüktans ve dirençlerin değerleri deneysel olarak belirlenebilir. Bu değerlerin uygun yaklaşımları açık devre deneyi ve kısa devre deneyi ile elde edilebilir.

4.1 AÇIK DEVRE DENEYİ

Bu deneyde transformatörün sekonder sargıları açık devre olup primer sargılara ise nominal gerilim uygulanır.



Şekil 7 Bir fazlı transformatörün boşta çalışması

Sekonder uçları kısa devre edilir ve primer uçlarına oldukça düşük bir gerilim bağlanır. Transformatör giriş gerilimi kısa devre edilen sargılarındaki akım nominal akım değerine eşit oluncaya kadar arttırılır. Bu durumda giriş gerilimi akımı ve gücü ölçülür. Uyarma kolundaki parametreler ihmal edilir, Çünkü deney

ISBN: 978-625-6971-84-4

süresince düşük giriş geriliminden dolayı parallel kolda ihmal edilebilir akım değeri akar. Böylece, primere indirgenmiş seri empedansın genliği:

$$|Z_E| = \frac{V_{SC}}{I_{SC}} \tag{30}$$

Güç faktörü, PF = cos θ = $\boldsymbol{P_{SC}}$ / $\boldsymbol{V_{SC}}$ $\boldsymbol{I_{SC}}$ (geri fazda)

Böylece,

$$Z_{SE} = \frac{V_{sc}<0^0}{I_{sc}<-\theta} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} < \theta^0 \tag{31}$$

Seri Empedans,

$$Z_{SE} = R_{eq} + jX_{eq} \tag{32}$$

$$Z_{SE} = (R_P + a^2 R_S) + j(X_P + a^2 X_S) \tag{33}$$

olarak bulunur.

UYGULAMA-4-

20 kVA, 8000/240 V, 60 Hz'lik transformatörün eşdeğer devre empedansları belirlenecektir. Açık devre ve kısa devre deneyleri transformatörün primer tarafında yapılmıştır ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

Tablo 1. Bir fazlı transformatörün açık devre ve kısa devre deney sonuçları

Açık devre deneyi (primer)	**Kısa devre deneyi (primer)**
V_{OC} = 8000 V	V_{SC} = 489 V
I_{OC} = 0.214 A	I_{SC} = 2.5 A
P_{OC} = 400 W	P_{SC} = 240 W

Primere indirgenmiş yaklaşık eşdeğer devre empedanslarını bulunuz ve devre şemasını çiziniz.

Açık devre deneyinden elde edilen sistemin güç faktörü,

$$PF = cos\theta = \frac{P_{oc}}{V_{oc}I_{oc}} \tag{34}$$

(34) formülünden,

$$cos\theta = \frac{400W}{(8000*0.214)} = 0.234$$

olarak bulunur. Paralel kol (uyarma) admitansı;

$$Y_E = \frac{I_{oc}}{V_{oc}} < -cos^{-1}PF \tag{35}$$

(35) formülünden,

$$Y_E = \frac{0.214\ A}{8000V} < -cos^{-1}0.234$$

$$Y_E = 0.0000268 < -76.5\ \Omega$$

olarak bulunur. Bileşenlerine ayırırsak,

$$Y_E = 0.0000063 - J0.0000261 = \frac{1}{R_c} - J\frac{1}{X_m} \tag{36}$$

$$R_c = \frac{1}{0.0000063} = 159\ \ k\Omega$$

$$X_m = \frac{1}{0.0000261} = 38.4\ k\Omega$$

olarak bulunur. Kısa devre testinden elde edilen güç faktörü,

$$PF = cos\theta = \frac{P_{sc}}{V_{sc}I_{sc}} \tag{37}$$

(37) denkleminden,

$$PF = cos\theta = \frac{240\ w}{489 * 2.5} = 0.196$$

ISBN: 978-625-6971-84-4

şeklinde bulunur. Seri empedansın değeri,

$$Z_{SE} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} < -cos^{-1}(PF) \quad (38)$$

(38) denkleminden,

$$Z_{SE} = \frac{489}{2.5} < 78.7^0$$

Olarak bulunur. Bileşenlerine ayırdığımızda,

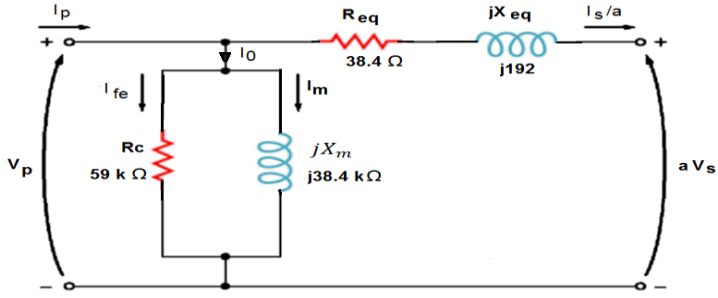
$$Z_{SE} = 195.6 < 78.7^0 = 38.4 + j192 \ \Omega$$

olarak bulunur. Böylece, eşdeğer direnç ve reaktans aşağıdaki gibi olacaktır.

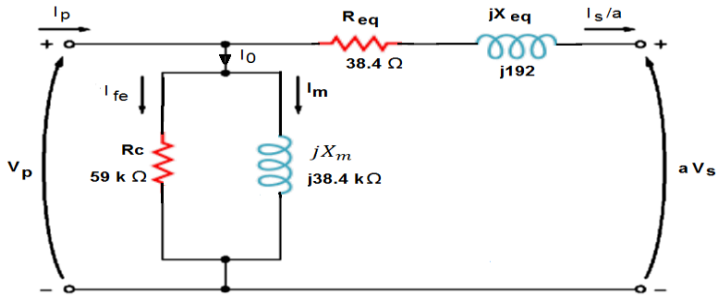
$$R_{eq} = 38.4\ \Omega$$

$$X_{eq} = 192\ \Omega$$

Sonuç olarak basitleştirilmiş eşdeğer devre, eleman değerleri ile aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

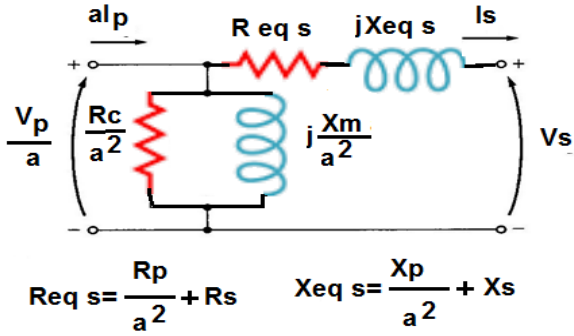


Şekil 9 Bir fazlı transformatörün eşdeğer devresi



Şekil 9 Bir fazlı transformatörün eşdeğer devresi

Açık devre deneyinden elde edilen sistemin güç faktörü, Bir transformatörün gerilim regülasyonunu belirlemek için, transformatördeki gerilim düşümlerini anlamak gerekir; Aşağıdaki sekonder tarafa indirgenmiş basitleştirilmiş eşdeğer devreyi göz önüne alalım;



Şekil 10 Transformatörün eşdeğer devresi

Paralel kol (uyarma kısmını ihmal edersek) uyarma koluna giden akım diğerine göre daha küçük olduğundan, sadece seri empedansları (R_{eq} +jX_{eq}) dikkate alınır.

5. TRANFORMATÖRÜN GERİLİM REGÜLASYONU VE VERİMİ

Gerilim regülasyonu transformatör akan akımın faz açısına ve seri empedansın genliğine bağlıdır. Fazör diyagramı, gerilim regülasyonunda bu faktörlerin etkilerini belirleyecektir. Bir fazör diyagramı gerilim ve akım vektörlerinden oluşur. Referans fazör seconder gerilim V_S olsun.

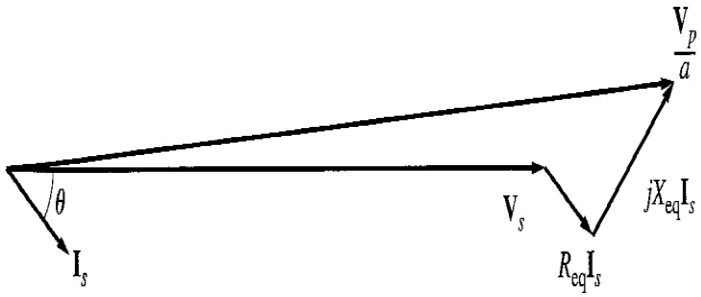
Transformatörlerde gerilim regülasyonu, bağlı yük akımındaki değişikliklerin bir sonucu olarak bir transformatörün çıkış terminal geriliminin yüksüz değerinden yukarı veya aşağı değiştiği oran veya yüzde değeridir. Transformatörün primer sargısına enerji verildiğinde, transformatör dönüş oranı tarafından belirlenen bir miktarda sekonder gerilimin ve akım üreteceğini bu nedenle, tek fazlı bir transformatör 2:1'lik bir aşağı dönüş oranına sahipse ve yüksek voltajlı birincil sargıya 240V uygulanırsa, 120 VAC'lik sekonder sargıda bir çıkış terminal gerilimi oluşur. Transformatörler ile ilgili bir başka değer daha vardır ve bu değer de transformatör tam güç sağladığında bu sekonder gerilim değerini etkiler ve buna "regülasyon" denir.

$$\%Reg = \frac{V_{yüksüz} - V_{tam\,yüklü}}{V_{yüksüz}} * 100\% \qquad (39)$$

ISBN: 978-625-6971-84-4

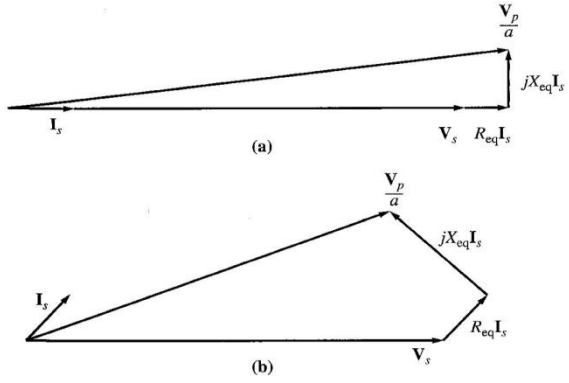
Regülasyon, transformatörün bağlı olduğu yükte meydana gelen değişimler sonucunda transformatör içinde meydana gelen sekonder uçlarındaki gerilimindeki değişimi belirleyerek, bu kayıpların yüksek olması ve sekonder gerilimin çok düşük olması durumunda performansını ve verimini etkiler. Böylece referans fazör 0 derece açısına sahip olacaktır. Eşdeğer devreye Kirchoff gerilim kanunu uygularsak;

$$\frac{V_p}{a} = V_s + R_{eq}I_s + jX_{eq}I_s \qquad (40)$$



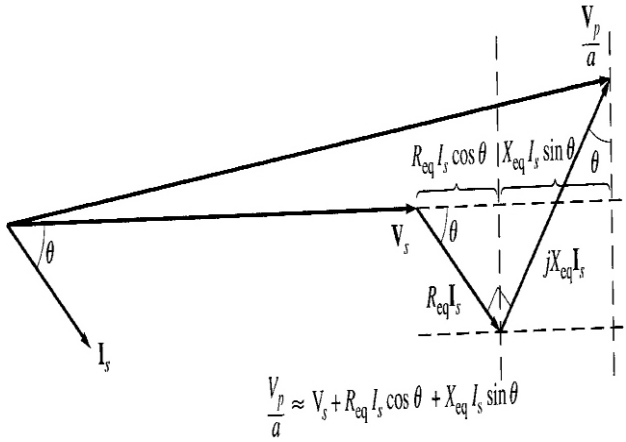
Şekil 11. Geri (Endüktif-Lagging) Power Factor (Güç Faktörü)

Bu eşitlikten, fazör diyagramı görselleştirilebilir. Aşağıdaki verilen şekil, geri güç faktöründe çalışan bir transformatörün fazör diyagramını gösteriyor. Geri yük için, $V_P / a > V_S$ olduğunu görmek kolaydır, öyle ki geri yüklü bir transformatörün gerilim regülasyonu sıfırdan büyüktür. Güç faktörü bir (birim-omik yük) olduğunda, seconder gerilim primerden daha düşüktür ve VR>0 olacaktır. Fakat, bu durumdaki gerilim regülasyonu, geri güç faktörlü olandan daha küçüktür.



Şekil 12 Omik ve kapasitif hal için güç faktörü

İdeal bir transformatörde; VR = 0%. Geri yükler için, R_{eq} *ve* X_{eq} değerlerinin dikey bileşenleri ihmal edilecektir. Bundan dolayı V_P/a'nın açısı çok küçük olacaktır, böylece V_P/a'nın dikey olduğu varsayılacaktır. Böylece yaklaşık aşağıdaki gibi olacaktır;



Şekil 13 Transformatörün vektör eşdeğer devresi

5.1 TRANSFORMATÖR VERİMİ

Trasnformatörün verimi şu şekilde tanımlanır (motor, generator ve transformatörler için):

$$\eta = \frac{P_{çıkış}}{P_{giriş}} * 100\% \tag{41}$$

Kayıplar cinsinden yazarsak,

$$\eta = \frac{P_{çıkış}}{P_{çıkış}+P_{kayıp}} * 100\% \tag{42}$$

Bir Transformatörde gerçekleşen kayıplar şunlardır;

- Bakır I^2R kayıpları
- Çekirdek kayıpları
- Histerezis kayıpları
- Girdap akımı kayıpları

ISBN: 978-625-6971-84-4

Belirli bir yükte transformatörün verimini hesaplamak için, her bir dirençteki kayıpları birbirine ekleyelim ve aşağıdaki formülü kullanarak hesaplanır;

$$\eta = \frac{V_S I_S cos\theta}{P_{cu}+P_{çekirdek}+V_S I_S cos\theta} \quad (43)$$

Burada, çıkış gücü,

$$P_{at} = V_S I_S \cos\theta_S \quad (44)$$

formülü ile bulunur.

UYGULAMA-3-

15kVA, 2300/230 V anma (nominal) değerlerine sahip bir transformatörün uyartım kolu bileşenlerini, seri empedansları ve gerilim regülasyonunu belirlemek için deneyler yapılmıştır. Transformatörün primer tarafından aşağıdaki değerler elde edilmiştir; Yüksek gerilim yanı: 2300/230 V olduğuna göre primer taraftır.

Tablo 2. Transformatörün deneysel sonuçları

Açık devre deneyi	**Kısa devre deneyi**
V_{OC}= 2300V	V_{SC}= 47V
I_{OC}= 0.21A	I_{SC}= 6A
P_{OC}= 50W	P_{SC}= 160W

Yüksek gerilim tarafına göre eşdeğer devreyi bulunuz.

Çözüm:

Transformatör eşdeğer devresinin uyarma (paralel) kolu değerleri açık-devre deneyi verilerinden hesaplanabilir ve seri elemanlar ise kısa-devre deneyinden hesaplanabilir. Açık-devre deneyinden, açık devre empedans açısı;

$$\theta_{oc} = cos^{-1}\frac{P_{oc}}{V_{oc}I_{oc}} \quad (45)$$

(47) formülünden,

$$\theta_{oc} = cos^{-1}\frac{50}{2300 * 0.21} = 84^0$$

olarak bulunur. Uyarma admitansı (empedansın tersi) ise;

$$Y_E = \frac{I_{oc}}{V_{oc}} < -84^0 \quad (46)$$

(47) formülünden,

$$Y_E = \frac{0.21}{2300} = 9.13 * 10^{-5} < -84^0$$

$$Y_E = 9.13 * 10^{-5} < -84^0 = 0.0000095 - J0.0000908$$

olarak bulunur. Primere indirgenmiş paralel (uyarma) kolu elemanları;

$$R_c = \frac{1}{0.0000095} = 105\ k\Omega$$

Mıknatıslanma reaktansını değeri,

$$X_m = \frac{1}{0.0000908} = 11k\Omega$$

Kısa devre deneyinden, kısa devre empedans açısı;

$$\theta_{sc} = cos^{-1}\frac{P_{sc}}{V_{sc}I_{sc}} \quad (47)$$

(47) formülünden,

$$\theta_{sc} = cos^{-1}\frac{160}{47 * 6} = 55.4^0$$

olarak bulunur. Eşdeğer seri empedans;

$$Z_{SE} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} < \theta_{sc} \quad (48)$$

(48) formülünden,

ISBN: 978-625-6971-84-4

$$Z_{SE} = \frac{47}{6} < 55.4^0\ \Omega$$

Bileşenlerine ayırırsak

$$Z_{SE} = 7.833 < 55.4^0 = 4.45 + J6.45\ \Omega$$

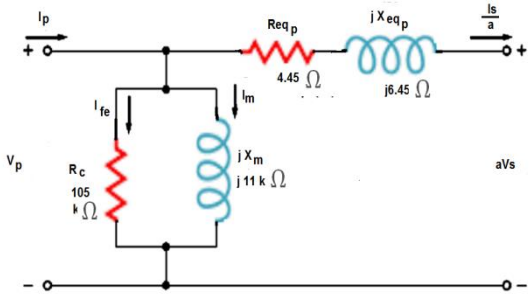
olarak bulunur. Primere indirgenmiş seri devre elemanlarının değerleri;

$$R_{eq} = 4.45\ \Omega$$

Eşdeğer reaktans,

$$X_{eq} = 6.45\ \Omega$$

Formülü ile bulunur. Eşdeğer devre Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 14 Transformatörün sekondere indirgenmiş eşdeğer devresi

Dağıtım trafoları, iç veya dış etmenlerden dolayı o arızalar oluşur. Nominal kapasitelerinin üzerinde aşırı yüklenmede çalışmaları durumunda sargılarında aşırı ısınma oluşur. Bu da sargıdaki iletkenin izolasyonunu da etkiler. İletkenin izolasyonun ısı dayanım sınırının aşılması halinde ise izolasyon malzemesi yalıt kanlık özelliğini kaybeder ve sargılar tahrip olur. Aşırı ısınmanın trafonun yaş-lanması ve dolayısıyla bu halde trafo arızalarının sebebidir. Güç Trafo Etiket Değerleri Transformatörlerin plakasında TS 267'ye göre bulunması gereken bilgiler:

- Transformatörün cinsi: Dağıtım transformatörü, oto transformatörü vb.
- Yapım standardının işaret ve numarası:TS 267, VDE 532/71,vb.
- Yapımcının ticaret unvanı veya kısa adı, adresi,varsa tescilli markası
- Yapım tipi ve seri numarası
- Yapım yılı
- Faz sayısı: Örneğin, 3
- Anma gücü: Örneğin, 1000 kVA

- Anma gerilimi: Primer anma gerilimi ve basamak gerilimleri ile skonder. Anma gerilimi yazılır.
- Anma akımı: Primer anma gerilimi basamağındaki anma akımı ile sekonder, anma akımı
- Bağlantı kümesi: Örneğin, Dyn5
- Anma yüzde kısadevre gerilimi: Örneğin, % 6,08
- Soğutma yöntemi: Örneğin, ONAN
- Toplam ağırlık: Örneğin, 2,195 t
- Yağın ağırlığı: Örneğin, 0,633 t

Ayrıca standartta belirtilmiş olmamasına karşın:

- Etkin kısmı ağırlığı: Örneğin, 1,590 t
- Çevre sıcaklığı: Örneğin, 40 ^{o}C
- Anma frekansı: Örneğin, 50 Hz
- Yalıtım düzeyi: Örneğin, 170–70/-3
- Sürekli kısa devre akımı: Örneğin, 0,275 kA
- Kısa devre süresi: Örneğin, 2 s
- İşletme sınıfı: Örneğin, S1
- Yapımcı gerekli gördüğü başka bilgiler bulunur.

Kaynaklar

1. G. D. Gonzalez, J. Fernandez, P. A. Arboleya, “Electromagnetic model of turn to turn short circuits in transformers," COMPEL The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering, Vol. 23, No. 2, 2004.
2. H. A. Darwish, A. I. Taalab, H. Labana, “Step-by-step simulation of transformer winding faults for electromagnetic transient programs”, PES TD 2005/2006, May 21-24 2006.
3. G. R. Slemon, “Equivalent circuits for transformers and machines including non-linear effects,” in Proc. Inst. Elect. Eng. IV, vol. 100, 1953, pp. 129–143.

4. Avendano, “Transformer Modeling in ATP: Internal Faults &HighFrequency Discretization,” Ph.D. Dissertation, Michigan Technological University, Houghton, MI, 2011.

5. M. Popov, L. Van der Sluis, G. C. Paap, and P. H. Schavemaker, “On a hysteresis model for transient analysis,” IEEE Power Eng. Rev., vol. 20, no. 5, pp. 53–55, May 2000.

6. http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Bir%20Fazl%C4%B1%20Transformat%C3%B6r%20Sar%C4%B1m%C4%B1.pdf

7. IEEE Slow Transients Task Force, “Modeling and analysis guidelines for slow transients—Part III: The study of ferroresonance,” IEEE Slow Transients Task Force, “Modeling and analysis guidelines for slow transients—Part III: The study of ferroresonance,” IEEE Trans. Power Del., vol. 15, no. 1, pp. 255–265, Jan. 2000 IEEE Slow Transients Task Force, “Modeling and analysis guidelines for slow transients—Part III: The study of ferroresonance,” IEEE Trans. Power Del., vol. 15, no. 1, pp. 255–265, Jan. 2000., vol. 15, no. 1, pp. 255–265, Jan. 2000.

8. N. T. Räfsbäck, “Short-time emergency overloading of power transformers,” Bachelor thesis, Power transformer company, ABB, Vaasa, Finland, 2001.

9. V. M. Montsinger and W. M. Dann, “Overloading of power transformers,” Elect. Eng., Oct. 1934.

10. D. Susa, M. Lehtonen, and H. Nordman, “Dynamic thermal modeling of power transformers,” IEEE Trans. Power Del., vol. 20, no. 1, pp. 197–204, Jan. 2005.

11. S. Endo, Y. Bu and T. Mizuno: “Copper Loss Reduction in Wireless Power Transmission Coil Using Magnetic Path Control Technology,” 2018 21st International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS).2018.

12. https://www.kontrolkalemi.com/

13. G. Swift, T. S. Molinski, R. Bray, and R. Menzies, “A fundamental approach to transformer thermal modeling-II. Field verification,” IEEE Trans. Power Del., vol. 16, no. 2, pp. 176–180, Apr. 2001.

14. https://maker.robotistan.com/

15. S. Okabe, M. Koto, G. Ueta, T. Saida, and S. Yamada, “Development of high frequency circuit model for oil-immersed power transformers and its application for lightning surge analysis,” IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 18, no. 2, pp. 541–552, Apr. 2011.

16. D. J. Tylavsky, Q. He, G. A. McCulla, and J. R. Hunt, “Sources of error in substation distribution transformer dynamic thermal modeling,” IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 15, no. 1, pp. 178–185, 2000.

17. T.Mizuno, T.Suzuki, T.Asahina, M.Noda, S.Enoki, H.Shinagawa, S.Uehara and H.Kitazawa : "Reduction in Eddy Current Loss in Conductor Using Magnetoplated Wire" ,T.IEEJapan, vol.127-A, no.10, pp.611-620, 2007.

18. Y. Baiqing. FEM solutions of eddy-current power loss in toroidal cores with arhitray cross section [J]. Microelectronics & Computer, vol.4, pp.51-53, 2002.

19. https://www.emo.org.tr/

20. G. U. Nnachi, A. O. Akumu, C. G. Richards and D. V. Nicolae, "Estimation of no-Load Losses in Distribution Transformer Design Finite Element Analysis Techniques in Transformer Design," 2018 IEEE PES/IAS PowerAfrica, Cape Town, South Africa, 2018, pp. 1-532, https://doi.org/ 10.1109/PowerAfrica.2018.8521142.

21. E. So, R. Arseneau and E. Hanique, "Measurement and Correction of No-Load Losses of Power Transformers," 2004 Conference on Precision Electromagnetic Measurements, London, UK, 2004, pp. 570-570, https://doi.org/10.1109/CPEM.2004.305383.

22. E. Arslan, S. Sakar and M. E. Balci, "On the no-load loss of power transformers under voltages with sub-harmonics," 2014 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON), Cavtat, Croatia, 2014, pp. 228-233, https://doi.org/ 10.1109/ENERGYCON.2014.6850433.

23. T. D. Kefalas, P. S. Georgilakis, A. G. Kladas, A. T. Souflaris, and D. G. Paparigas, "Multiple grade lamination wound core: a novel technique for transformer iron loss minimization using simulated annealing with restarts and an anisotropy model," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 44, no. 6, pp. 1082–1085, 2008.

24. H. Nyebuchi Amadi, "Analysis of power losses in 33/11 Kv distribution feeder circuits via loss factor technique," Journal of Research in Engineering and Applied Sciences, vol. 5, no. 4, pp. 114–122, 2020.

25. https://www.elektrikrehberiniz.com/

26. D. Koeva, S. Rachev, and L. Dimitrov, "Analysis of the power transformer operation supplying A combined non-linear load in the public sector - Part Ii: influence of the current harmonics," International Scientific Journal, vol. 1, pp. 37–40, 2020.

27. M. Abbasi and M. R. Khosravi, "A robust and accurate particle filter-based pupil detection method for big datasets of eye video," Journal of Grid Computing, vol. 18, no. 2, pp. 305–325, 2020.

28. M. Erdei, "Equivalent circuits for transformers," in IRE Transactions on Circuit Theory, vol. 5, no. 4, pp. 370-371, December 1958, https://doi.org/ 10.1109/TCT.1958.1086499.

29. L. I. Sakhno, O. I. Sakhno and M. S. Krylov, "Equivalent Circuit of the Transformer with Two Primary and One Secondary Windings," 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), St. Petersburg and Moscow, Russia, 2020, pp. 1297-1300, https://doi.org/10.1109/EIConRus49466.2020.9039106.

30. C. T. Rim, D. Y. Hu and G. H. Cho, "Transformers as equivalent circuits for switches: general proofs and D-Q transformation-based analyses," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 26, no. 4, pp. 777-785, July-Aug. 1990, https://doi.org/10.1109/28.56005.

31. T. Župan, B. Trkulja, R. Obrist, T. Franz, B. Cranganu-Cretu, and J. Smajic, “Transformer windings’ RLC parameters calculation and lightning impulse voltage distribution simulation,” IEEE Trans. Magn., vol. 52, no. 3, pp. 1–4, Mar. 2016.

32. G. Liang, X. Zhu, and H. Dong, “A new transformer model based on modified multi-conductor transmission line theory,” in Proc. Asia–Pacific Power Energy Eng. Conf., Wuhan, China, 2009, pp. 1–4.

33. https://webtokno.com

34. L. V. Bewley, "Equivalent circuits of transformers and reactors to switching surges," in Electrical Engineering, vol. 58, no. 11, pp. 797-802, Nov. 1939, https://doi.org/10.1109/EE.1939.6431635.

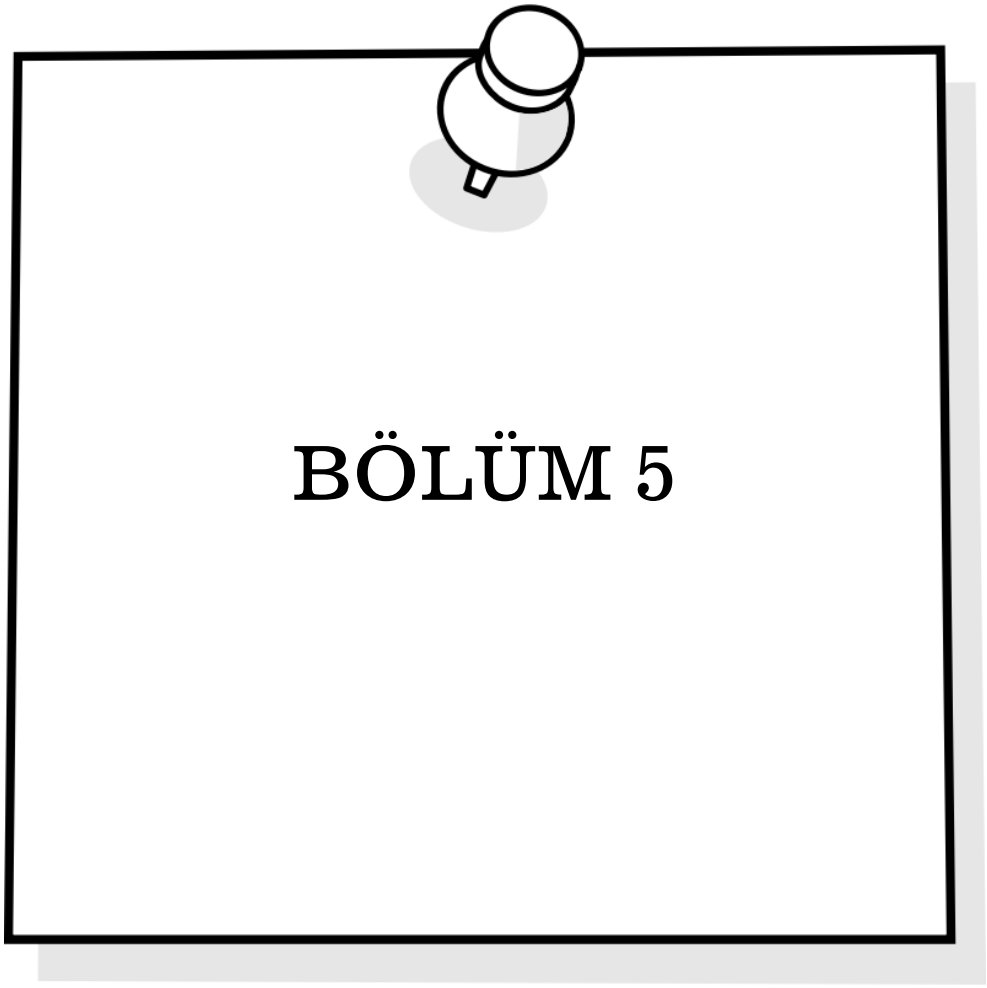
35. F. de Leon, A. Farazmand and P. Joseph, "Comparing the T and π Equivalent Circuits for the Calculation of Transformer Inrush Currents," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 27, no. 4, pp. 2390-2398, Oct. 2012, https://doi.org/10.1109/TPWRD.2012.2208229.

36. B. Kovan, F. de León, D. Czarkowski, Z. Zabar, and L. Birenbaum, “Mitigation of inrush currents in network transformers by reducing the residual flux with an ultra-low-frequency power source,” IEEE Trans. Power Del., vol. 26, no. 3, pp. 1563–1570, Jul. 2011.

37. Staff of the Department of Electrical Engineering of Massachusetts Institute of Technology, Magnetic Circuits and Transformers. New York: Wiley, 1943.

38. S. Candolfi, P. Viarouge, D. Aguglia and J. Cros, "HV Pulse Transformer Generalized Equivalent Circuit Identification Based on Detailed Mechanical Structure," in IEEE Transactions on Plasma Science, vol. 46, no. 10, pp. 3374-3381, Oct. 2018, https://doi.org/10.1109/TPS.2018.2809446.

39. S. Candolfi, P. Viarouge, D. Aguglia, and J. Cros, “Hybrid design optimization of high voltage pulse transformers for Klystron modulators,” IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 22, no. 6, pp. 3617–3624, Dec. 2015.



BÖLÜM 5

ISBN: 978-625-6971-84-4

BAZI ÖZEL BETON TÜRLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf Tahir ALTUNCI[1]

Giriş

Beton; agrega, su ve çimentonun homojen bir şekilde karıştırılmasıyla oluşan ve sudan sonra en çok kullanılan ikinci maddedir (Dhemla et al. 2022). Geleneksel betonlar; özel standartlara göre üretilirken, özel betonlar; belirli amaçlara yönelik olarak, standart dışına çıkılarak özel olarak tasarlanıp üretilir. Özel betonlar, özel bir süreç gerektirdiği için geleneksel betona göre daha maliyetlidir. Bunun yanında geleneksel betonların performansları sınırlıyken, özel betonların amaca yönelik olarak geliştirilen performans özellikleri oldukça yüksektir.

Özel betonların; hafif beton, ağır beton, kendiliğinden yerleşen beton, püskürtme beton, lifli beton, SIFCON, SIMCON, reaktif pudra beton, kendini tamir eden beton, kendini temizleyen beton, yüksek sıcaklığa dayanıklı beton, renkli beton, polimer beton, gazbeton gibi farklı çeşitleri vardır. Çalışmamızda özel beton türlerinden; hafif beton, ağır beton, kendiliğinden yerleşen beton, püskürtme beton, lifli beton, SIFCON ve SIMCON hakkında kısa bilgiler paylaşılmıştır.

2. Özel Betonlar

2.1. Hafif Beton

Pomza, diyatomit, cüruf, tüf, perlit, genleştirilmiş perlit, cam, genleştirilmiş cam, genleştirilmiş kil, genleştirilmiş şist, genleştirilmiş arduvaz, vermikülit ve diğer hafif agregalar kullanılarak üretilen ve birim hacim kütlesi 2000 kg/m^3'ten daha küçük olan betonlara hafif beton denilir. Hafif beton görseli şekil 1'de (URL-1) verilmiştir.

[1] Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, ORCID: 0000-0002-5418-7742



Şekil 1. Hafif beton görseli

Hafif betonların birim hacim kütleleri ve basınç dayanımları geleneksel betonlara göre daha düşüktür. Bu yüzden hafif betonların kullanım alanları, basınç dayanımının önemli olduğu yerlerden ziyade; hedef basınç dayanımı sınırları içerisinde hafifliğin önemli olduğu yerlerdir. Hafif beton üretiminde kullanılan hafif agregaların gözenekli yapıları sayesinde betonun yoğunluğunun yanı sıra termal iletkenliği de azaltılır (Siamardi 2022). Bu durum hafif betonun ısı yalıtım performansını olumlu yönde etkiler.

2.2. Ağır Beton

TS EN 206+A2'ye göre etüv kurusu durumdaki birim hacim kütlesi, 2600 kg/m^3'ten daha büyük olan betona ağır beton denilmektedir. Ağır beton, agrega olarak barit, olivin, hematit, manyetit, limonit vb. ağır agregaların kullanılmasıyla üretilir. Özellikle demir cevherleri, radyasyon kalkanı uygulamaları için beton üretiminde agrega tercihi olarak en iyi niteliklere sahiptir (Lardhi and Mukhtar 2023). Ağır beton üretiminde kullanılan agregaların yoğunluğu ne kadar fazla olursa ağır betonun radyasyon geçirimlilik özellikleri de önemli ölçüde iyileşir (Binici et al. 2014). Bu agregaların; birim ağırlıkları 2600 g/cm^3 ten ve özgül ağırlıkları da 3 g/cm^3 ten fazladır (Lai et al. 2022).

Askeri, sağlık ve nükleer binaların inşasında; mukavemet, dayanıklılık, ısı direnci ve radyasyona karşı koruma avantajlarından dolayı ağır beton sıklıkla tercih edilir (Ismail Ahmed Ali and Lublóy 2022). Bu avantajlara ek olarak, ağır betonun yüksek yoğunluğu ses yalıtımı performansını da olumlu yönde etkilemektedir.

Ağır betonlarla ilgili olarak; ASTM C637-20 'Standard Specification for Aggregates for Radiation-Shielding Concrete' ve ASTM C638-20 'Standard Descriptive Nomenclature of Constituents of Aggregates for Radiation-Shielding Concrete' standartlarından yararlanılmaktadır.

2.3. Kendiliğinden Yerleşen Beton

ISBN: 978-625-6971-84-4

Kendiliğinden yerleşen beton, kendi ağırlığı ile sık donatılı kalıplara kolaylıkla yerleşen ve uygulamasından sonra vibrasyona gerek duyulmayan özel beton çeşididir. Kendiliğinden yerleşen beton uygulaması şekil 2'de (URL-2) verilmiştir.



Şekil 2. Kendiliğinden yerleşen beton uygulaması

Kendiliğinden yerleşen betonda iri agrega miktarı az, kum oranı ise daha fazladır. Kullanılan agrega özelliklerine ve kimyasal katkıya bağlı olarak işlenebilirlik daha yüksek ve segregasyon daha düşüktür. Sıva gerektirmeyerek beton dayanımını ve dayanıklılığını arttırır. Kendiliğinden yerleşen betonların bir diğer önemli özelliği ise pompalanabilirliğinin daha performanslı olmasıdır. Özellikle çok yüksek kotlara betonun ayrışmadan taşınması gerektiği düşünüldüğünde, bu özelliğin performans açısından en önemli özelliklerden birisi olduğu söylenebilir.

Kendiliğinden yerleşen beton geleneksel betona göre daha ağır olmasından dolayı kalıplarda ani hidrostatik basınç etkisi oluşturmaktadır. Bu yüzden kalıp uygulamalarının daha dikkatli ve titizlikle yapılması gerekmektedir. Ayrıca kendiliğinden yerleşen beton için standart üretim yönteminin bulunmaması bu tip beton uygulamalarının yaygınlaşmamasına neden olmaktadır.

2.4. Püskürtme Beton

Agrega, çimento, su, priz hızlandırıcı ve gerektiğinde lif katkı kullanılarak oluşturulan taze beton karışımı, hortum hattında basınçlı hava ile taşınıp püskürtülmek suretiyle uygulanır. Bu yüzden püskürtme beton, üretim yönteminden ziyade betonun hava desteğiyle yüksek hızda istenilen yüzeye uygulanma yöntemi olarak ifade edilebilir. Püskürtme beton uygulaması şekil 3'de (Galan et al. 2019) verilmiştir.



Şekil 3. Püskürtme beton uygulaması

Püskürtme beton genellikle, tünellerin ve diğer yeraltı yapılarının fiziksel ve kimyasal saldırılarına karşı dayanıklılığı arttırmak ve stabilizasyonunu sağlamak için kullanılır (Galan et al. 2019)**.** Yüksek uygulama hızı sayesinde işçilikten tasarruf sağlar. Özel ekipman gerektirmesi ise dezavantajı olarak kabul edilebilir.

2.5. Lifli Beton

Geleneksel betonun en büyük dezavantajı çekme dayanımının ihmal edilecek kadar az olmasıdır (Akın et al. 2022). Betonun çekme dayanımının yanında, diğer dayanım, dayanıklılık, süneklilik ve çatlak kontrolünün sağlanması amacıyla beton içerisine lif (çelik, karbon, cam, polipropilen vb.) ilave edilerek oluşturulan özel beton türüne lifli beton denilir. Lifli beton görseli şekil 4'te (URL-3) gösterilmiştir.



Şekil 4. Lifli beton görseli

Bununla birlikte uygulanan basınç yüklemeleri altında betonun daha iyi performans göstermesi için farklı kombinasyonlara sahip uygun liflerin kullanılması gerekmektedir (Khan et al. 2022) Bu bağlamda, lifli betonlar genellikle; endüstriyel zemin uygulamalarında, prefabrike yapı elemanlarının üretiminde, püskürtme beton uygulamaları vb. alanlarda kullanılır.

ISBN: 978-625-6971-84-4

2.6. SIFCON

SIFCON uygulamasında hacimce %5-%30 oranındaki lif önce kalıbın içerisine serilir, ardından çimento bulamacı ile kalıp doldurularak beton dökümü yapılır (Altuncı and Öcal 2022). SIFCON uygulama görseli şekil 5'te (URL-4) verilmiştir.



Şekil 5. SIFCON uygulaması

Mükemmel mekanik özellikleri ve yüksek performansı nedeniyle SIFCON, yüksek süneklik, tokluk ve darbeye karşı direncin gerekli olduğu durumlarda kullanılır (Ali, Atiş, and Al-Kamaki 2022). SIFCON ayrıca onarım, güçlendirme, patlamaya maruz kalabilecek yüzeylerde ve yüksek yapı inşaasında da faydalı uygulamalara sahiptir.

2.7. SIMCON

SIMCON uygulamasında ağ şeklindeki çelik lif önce kalıbın içerisine serilir, ardından çimento bulamacı ile kalıp doldurularak beton dökümü yapılır. SIMCON'un SIFCON'dan uygulama açısından tek farkı kullanılan çeliğin ağ şeklinde olmasıdır. SIMCON'un yine SIFCON'da olduğu gibi çatlak kontrolü, esneklik ve dayanıklılık performansı çok yüksektir. Yorulmanın daha fazla olduğu tank yolları, köprüler, otoyollar, makine temelleri, havalimanı pistleri, deniz yapıları vb. alanlarda SIMCON'un tercih edilmesi daha uygundur.

3. Tartışma ve Sonuç

Özel betonlar, geleneksel betonların yetersiz kaldığı ve gereksinimleri sağlayamadığı durumlarda; dayanım, dayanıklılık, radyasyon geçirimsizliği, yalıtım, ağırlık, hafiflik, işlenebilirlik, pompalanabilirlik, düzgün yüzey oluşturma gibi farklı özellikleri sağlamak amacıyla kullanılır.

Özel betonların kullanımında; özel betonu amacının dışında kullanmamaya ve özel bir süreç gerektirdiği için uzmanlık, deneyim ve maliyet kriterlerine de dikkat etmeliyiz.

Çalışmada belirtilen özel betonların yanısıra; polimer beton, kendini tamir eden beton, kendini temizleyen beton, yüksek sıcaklığa dayanıklı beton, renkli beton gibi farklı özel beton türleri bulunmakla birlikte, ülkelerin özel beton kullanım oranlarının; çağdaşlık ve gelişmişlik düzeyleriyle doğru orantılı olduğu gerçeği unutulmamalıdır. Bu bağlamda; özel beton kullanımına yönelik; farkındalıkların oluşturulması, teşviklerin verilmesi, işbirliklerinin kurulması ve eğitimler verilerek bilgilerin paylaşılması gerekmektedir.

Kaynak

Akın, S., Kaplan, A. N., & Özel, C. (2022). Farklı Uzunluktaki Doğal Liflerin Beton Performansı Üzerine Etkileri. Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi, 6(2), 80-84.

Altuncı, Y. T., & Öcal, C. (2022). Yer Fıstığı Kabuğu Külünün Sıfcon'un Bazı Mühendislik Özelliklerine Etkisi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3), 869-877.

ASTM C 637-20 (2020). Standard Specification for Aggregates for Radiation-Shielding Concrete.

ASTM C 638-20 (2020). Standard Descriptive Nomenclature of Constituents of Aggregates for Radiation-Shielding Concrete.

Ali, Msheer Hasan, Cengiz Duran Atiş, and Yaman Sami Shareef Al-Kamaki. 2022. "Mechanical Properties and Efficiency of SIFCON Samples at Elevated Temperature Cured with Standard and Accelerated Method." Case Studies in Construction Materials 17:e01281. doi: 10.1016/J.CSCM.2022.E01281.

Binici, Hanifi, Orhan Aksogan, Ahmet Hayrullah Sevinc, and Adnan Kucukonder. 2014. "Mechanical and Radioactivity Shielding Performances of Mortars Made with Colemanite, Barite, Ground Basaltic Pumice and Ground Blast Furnace Slag." Construction and Building Materials 50:177–83. doi: 10.1016/ J.CONBUILDMAT. 2013.09.033.

Dhemla, Pankaj, Prakash Somani, B. L. Swami, and Arun Gaur. 2022. "Optimizing the Design of Sintered Fly Ash Light Weight Concrete by Taguchi and ANOVA Analysis." Materials Today: Proceedings 62:495–503. doi: 10.1016/J.MATPR.2022.03.573.

Galan, Isabel, Andre Baldermann, Wolfgang Kusterle, Martin Dietzel, and Florian Mittermayr. 2019. "Durability of Shotcrete for Underground Support– Review and Update." Construction and Building Materials 202:465–93. doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.12.151.

Ismail Ahmed Ali, Suha, and Eva Lublóy. 2022. "Effect of Elevated Temperature on the Magnetite and Quartz Concrete at Different W/C Ratios as Nuclear Shielding

Concretes." Nuclear Materials and Energy 33:101234. doi: 10.1016/J.NME.2022.101234.

Khan, Mehran, Mingli Cao, Chaopeng Xie, and Majid Ali. 2022. "Effectiveness of Hybrid Steel-Basalt Fiber Reinforced Concrete under Compression." Case Studies in Construction Materials 16:e00941. doi: 10.1016/J.CSCM.2022.E00941.

Lai, M. H., K. J. Wu, X. Cheng, J. C. M. Ho, J. P. Wu, J. H. Chen, and A. J. Zhang. 2022. "Effect of Fillers on the Behaviour of Heavy-Weight Concrete Made by Iron Sand." Construction and Building Materials 332:127357. doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.127357.

Lardhi, Maan, and Faisal Mukhtar. 2023. "Radiation Shielding Performance of Seawater-Mixed Concrete Incorporating Recycled Coarse Aggregate and Steel Slag." Journal of Radiation Research and Applied Sciences 16(1):100528. doi: 10.1016/J.JRRAS.2023.100528.

Siamardi, Kianoush. 2022. "Optimization of Fresh and Hardened Properties of Structural Light Weight Self-Compacting Concrete Mix Design Using Response Surface Methodology." Construction and Building Materials 317:125928. doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.125928.

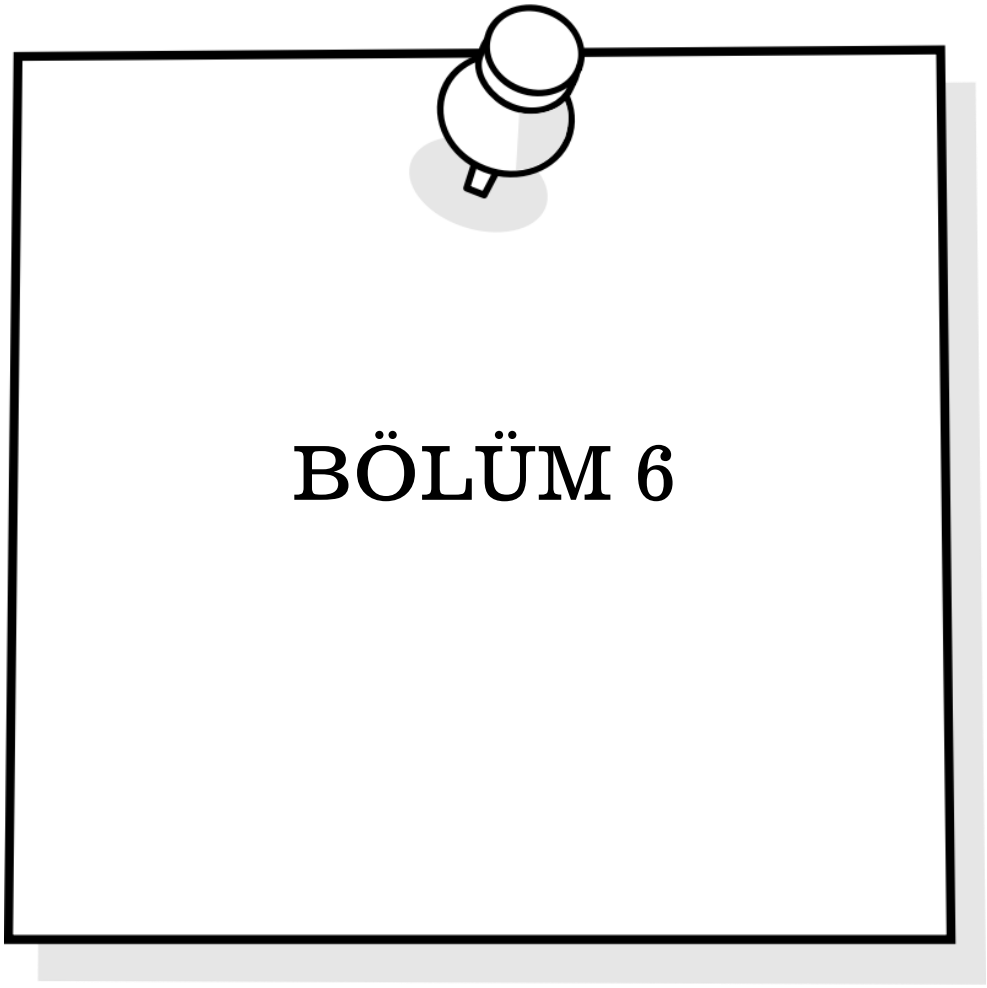
URL-1 Hafif beton görseli. https://www.yandex.com.tr/gorsel/search?from=tabbar&img_url=https%3A%2F%2Fsipilpedia.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2017%2F05%2Fmortar-busa.jpg&lr=103846&pos=5&rpt=simage&text=HAF%C4%B0F%20BETON Erişim tarihi: 04/07/2023.

URL-2 Kendiliğinden yerleşen beton görseli. https://www.yandex.com.tr/gorsel/search?from=tabbar&img_url=https%3A%2F%2Fi.ytimg.com%2Fvi%2FN1tS_CF7d4A%2Fmaxresdefault.jpg&lr=103846&pos=5&rpt=simage&text=kendili%C4%9Finden%20yerle%C5%9Fen%20beton Erişim tarihi: 04/07/2023.

URL-3 Lifli beton görseli. https://www.yandex.com.tr/gorsel/search?from=tabbar&img_url=https%3A%2F%2Fustgrup.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2022%2F11%2Flifbeton.jpg&lr=103846&pos=5&rpt=simage&text=lifli%20beton Erişim tarihi: 04/07/2023.

URL-4 SIFCON uygulama görseli. https://www.yandex.com.tr/gorsel/search?from=tabbar&img_url=https%3A%2F%2Finzynierbudownictwa.pl%2Fimages%2Fmagda%2Ffibra_fot_1.jpg&lr=103846&pos=5&rpt=simage&text=sifcon Erişim tarihi: 04/07/2023.

ISBN: 978-625-6971-84-4



BÖLÜM 6

ISBN: 978-625-6971-84-4

AĞIR BETON ÜRETİMİNDE KULLANILAN BAZI AGREGALAR ÜZERİNE BİR ARAŞIRMA

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf Tahir ALTUNCI[1]

1.GİRİŞ

Beton yeraltı, yerüstü ve su tesislerinin en temel malzemesidir. Nükleer santrallerde, askeri yapılarda, sığınak yapılarında, sondaj hatlarının inşasında, istinat duvarlarında, köprü ayaklarında, radyasyon geçirimsizliği istenilen hacimlerde vb. alanlarda yüksek birim hacim ağırlığa sahip betonların kullanılması gerekmektedir. Bu betonlarda kullanılan agregaların seçimi, karışım oranları, üretim ve yerleştirme esasları normal betonlara göre daha hassasiyet gerektirmektedir (Gümüş vd., 2020). Bu bağlamda bu çalışmada, ağır beton üretiminde kullanılan bazı ağır agregalar üzerine bir araştırma yapılmıştır.

2. AĞIR AGREGALAR

2.1.BARİT

Ağır beton üretiminde en yaygın olarak kullanılan agrega barittir (Topçu, 2006). Özgül ağırlığı 4.5 g/cm^3 civarındadır. Baryum elementinin metalik olmayan en yaygın mineralidir ($BaSO_4$). Basınç altında ve yüksek sıcaklıkta kimyasal sabitliğini koruduğundan dolayı barit kullanımı oldukça yaygındır. Petrol ve doğalgaz sondajlarında, otomotiv, boya ve kaplama, yapıştırıcı, plastik, poliüretan, kâğıt, plastik, tarım ilaçları, kimya ve seramik sanayisi gibi birçok alanda kullanılmaktadır (URL-1). Bununla birlikte literatürde, barit içeren ağır betonların gama zayıflatma özellikleri açısından diğer betonlardan üstün olduklarını gösteren (Ünal vd., 2016), baritin yüksek sıcaklık etkisindeki davranışının araştırıldığı (Esen, 2017), kendiliğinden yerleşen harçların mekanik özelliklerine baritin et-

[1] Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, ORCID: 0000-0002-5418-7742

kisinin incelendiği (Cemalgil, 2020), polimer beton içerisinde mineral katkı olarak barit kullanımın araştırıldığı (Polat vd., 2020) farklı çalışmalarda bulunmaktadır. Barite ait görsel şekil 1'de (URL-2) verilmiştir.



Şekil 1. Barit görseli

Ülkemizde özellikle Antalya (Alanya-Gazipaşa), Bitlis, Giresun, Isparta, Kahramanmaraş, Kocaeli, Konya, Kütahya ve Muş bölgelerinde önemli barit yatakları bulunmaktadır. 2020 yılı itibariyle dünyada 300 milyon ton barit rezervlerinin Çin, Hindistan, Fas, Kazakistan, Meksika, İran, Türkiye, ABD ve Rusya'da bulunması ve mevcut üretim kapasitesi ile yeni rezervler keşfedilmediği sürece 30 yıllık ömrünün kalmasından dolayı barit piyasasında yoğunlaşma ve rekabet önem kazanmıştır (Ak vd., 2021).

2.2. HEMATİT

Önemli bir demir cevheri olan hematit (Fe_2O_3), hidrotermal damarlarda ve magmatik kayalarda bulunabilir (Polat ve Oltulu, 2021). Hematit cevherinin, boya ve çelik endüstrisinde ana hammadde olarak kullanıldığı bilinmektedir. Literatürde kendiliğinden yerleşen hematit agregalı betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırıldığı (Zengin ve Özel, 2019), hematit mineralli polimer kompozitlerin mekanik özelliklerinin araştırıldığı (Polat ve Oltulu, 2021), hematitin radyasyon zırhlama işlemlerinde kullanımının araştırıldığı (Turhan vd., 2020) farklı çalışmalarla karşılaşmak mümkündür. Hematite ait görsel şekil 2'de (URL-3) verilmiştir.

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 2. Hematit görseli

Hematit dünyanın çeşitli bölgelerinde bulunabilen bir kayaçtır. Özellikle Brezilya, İtalya, İngiltere, Güney Afrika, Bangladeş, Çin, Yeni Zelanda, Çek Cumhuriyeti ve ABD'de önemli kaynaklarının olduğu bilinmektedir (URL-4). Ülkemizde ise Kayseri, Yozgat (Sarıkaya) ve Malatya (Pötürge) civarındaki oluşumları dikkat çekmektedir (URL-5).

2.3. LİMONİT

Limonit sarı ile kahverengi tonları arasındaki renklere sahip bir kayaçtır. Kimyasal içeriği $2Fe_2O_3.2H_2O$ şeklindedir. Limonit cevheri tipik bir refrakter demir cevheridir ve dünya genelinde kullanım alanı vardır (Elias, 2002). Özellikle yapı malzemesi endüstrisinde (demir çelik, boya, seramik vb.) ana hammadde olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Limonitin; ağır beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı (Esen ve Doğan, 2018), çimento ikame malzemesi olarak kullanıldığı (Shahjalal vd., 2022), ağır beton agregası olarak radyasyon geçirgenliklerinin araştırıldığı (Gur vd., 2017), nötron ve gama radyasyonu için iyi bir koruyucu malzeme olarak incelendiği (Oto vd., 2015) farklı çalışmalar literatürde mevcuttur. Limonite ait görsel şekil 3'de (URL-6) verilmiştir.



Şekil 3. Limonit görseli

2.4.OLİVİN

Dünit kayaçlarının bünyesinde yüksek oranda olivin bulunmaktadır. Olivin yeşil renkli bir mineraldir, demirce zengindir ve bileşiğindeki diğer yüksek bileşik SiO_2' dir. Olivin; CO_2 salınımının azaltılmasında, döküm sanayinde, demir-çelik endüstrisinde, refrakter uygulamalarında, nükleer atıkların yok edilmesinde, aşındırma uygulamalarında, ısıtıcı malzemelerinde, denge malzemesi uygulamalarında, endüstriyel atıkların arındırılmasında, tarımsal uygulamalarda ve çevre uygulamaları gibi birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Altuğ, 2019). Olivin agregaların alkali-silis reaksiyonu açısından zararsız agregalar olduğu bilinmektedir (Korkanç ve Tuğrul, 2004). Literatürde olivinin, yüksek performanslı beton içerisinde (Chen vd., 2022), radyasyon geçirimsiz beton içerisinde (Akyıldırım, 2019), kuyu çimentosunda (Achang ve Radonjic, 2021), yüksek sıcaklık etkisindeki beton içerisinde (Altuncı ve Ceylan, 2023) çeşitli performans özelliklerinin araştırıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Olivine ait görsel şekil 5'de (URL-7) verilmiştir.

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 5. Olivin görseli

Dünyada yıllık olivin üretim miktarları; Norveç'te 3.5 milyon tondan fazla, Japonya'da yaklaşık 2 milyon ton, İspanya'da 700000 ton civarında, Güney Kore'de yaklaşık 500000 ton civarında, Çin'de 350000 – 500000 ton aralığında, Tayvan'da 400000 ton, Brezilya'da 350000 ton, A.B.D.' de 200000 ton, Meksika'da 150000 ton, İtalya'da 100000 ton, Avusturalya'da 80000 ton, Avusturya'da 20000 ton ve ülkemizde ise 590000 ton' dur (Örgün ve Erarslan 2012).

Ülkemizde özellikle Adana, Antalya, Denizli, Isparta, Bursa, Konya, Kütahya, Muğla, Tekirdağ bölgelerinde önemli olivin yatakları bulunmaktadır. Bu yüzden son yıllarda ülkemizde olivin kullanımının araştırılmasına yönelik çalışmalar giderek artmaktadır.

3.SONUÇ

Ağır agregalı betonların özellikle; nükleer enerji santrallerinde, köprü ayaklarında, baraj gövdelerinde, radyasyona maruz kalabilme ihtimali olan yapılarda, kütle betonlarında, sığınak yapılarında, sondaj hatlarında, askeri yapılarda vb. patlamaya karşı direnç performansı beklenen yapılarda kullanılması gerekmektedir. Bu amaçla, çalışmada belirtilen kayaçlarla birlikte, ağır agrega olarak kullanılabilecek diğer kayaçlarında (manyetit, siyenit, kromit, peridotit vb.) bölgesel olarak belirlenip beton ve çimento içerisinde kullanılabilirliğine yönelik çalışmaların arttırılması önem arz etmektedir.

KAYNAK

Ak, H., Aksoy, M., & Konuk, A. (2021). Dünya Barit Madenciliğinin Durumu Ve Piyasalarda Rekabet Düzeyinin Gelişimi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(2), 210-223.

Achang, M., & Radonjic, M. (2021). Adding olivine micro particles to Portland cement based wellbore cement slurry as a sacrificial material: A quest for the solution in mitigating corrosion of wellbore cement. Cement and Concrete Composites, 121, 104078.

Akyildirim, H. (2019). Olivine mineral used in concrete for gamma-ray shielding. Arabian Journal of Geosciences, 12(8), 264.

Altuğ, C. (2019). Türkiye'deki Olivin Mineralinin Fiziksel ve Optiksel Özelliklerinin Farklı Tekniklerle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi.

Altuncı, Y. T., & Ceylan H. (2023). Olivin Agregalı Harçların Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Mekanik Davranışları. UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 5(1): 1-10.

Cemalgil, S. (2020). Barit Tozu Modifiyeli Kendiliğinden Yerleşen Harçların Mekanik Özellikleri. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 11(2), 817-823.

Chen, Y. X., Li, S., Mezari, B., Hensen, E. J., Yu, R., Schollbach, K., ... & Yu, Q. (2022). Effect of highly dispersed colloidal olivine nano-silica on early age properties of ultra-high performance concrete. Cement and Concrete Composites, 131, 104564.

Elias, M., 2002. Nickel laterite deposits — geological overview, resources and exploitation. In: Cooke, C.R., Pontgratz, J. (Eds.), Giant Ore Deposits: Characteristics, Genesis and Exploitation. : CODES Special Publication. Centre for Ore Deposit Research, University of Tasmania,205–220.

Esen, Y. (2017). Barit, diatomit, silis dumanı ve uçucu kül katkılı betonların yüksek sıcaklık etkisi altındaki davranışları. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 29(1), 83-93.

Esen, Y., & Doğan, Z. M. (2018). Investigation of usability of limonite aggregate in heavy-weight concrete production. Progress in Nuclear Energy, 105, 185-193.

Gur, A., Artig, B., & Cakir, T. (2017). Photon attenuation properties of concretes containing magnetite and limonite ores. Physicochemical Problems of Mineral Processing, 53.

Gümüş, M., Demir, Ş., & Sevim, O. (2020). Agrega Tipinin Ağır Betonların Radyasyon Soğurma Özelliklerine Etkisi. International Journal of Engineering Research and Development, 12(2), 777-786.

Korkanç, M., & Tuğrul, A. (2004). Beton Agregası Olarak Kullanılacak Bazaltların Alkali-Silis Reaksiyonu Yönünden İncelenmesi. İstanbul Yerbilimleri Dergisi, 17(2), 161-169.

Oto, B., Yıldız, N., Korkut, T., & Kavaz, E. (2015). Neutron shielding qualities and gamma ray buildup factors of concretes containing limonite ore. Nuclear Engineering and Design, 293, 166-175.

Örgün, Y. ve Erarslan, C., (2012). 21. Yüzyılda Olivin ve Türkiye'nin Olivin Potansiyeli. Madencilik ve Yer Bilimleri Dergisi, 23, 62-75.

Polat, H., Demirel, B., Kolak, M. N., & Oltulu, M. (2020). Polimer Betonlarda Barit Minerali Kullanımının Araştırılması. Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi, 1(1), 25-32.

Polat, H., & Oltulu, M. (2021). Hematit Mineralli Polimer Kompozitlerin Mekanik Özellikleri. Türk Doğa ve Fen Dergisi, 10(1), 63-67.

Shahjalal, M., Rahman, J., Haque, A. F., Habib, L., Jalal, K. B., & Rahman, M. M. (2022, April). Study on Partial Replacement of Cement with Limonite in Mechanical Strength of Mortar. In Proceedings of the 5th International Conference on Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials: SCESCM 2020 (pp. 255-267). Singapore: Springer Singapore.

Topçu, İ. B. (2006). Beton Teknolojisi, Uğur Ofset A.Ş yayını Notları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Eskişehir.

Turhan, M. F., Akman, F., Polat, H., Kaçal, M. R., & Demirkol, İ. (2020). Gamma-ray attenuation behaviors of hematite doped polymer composites. Progress in Nuclear Energy, 129, 103504.

URL-1. Barit kullanım alanları, http://baritmaden.com/urun/barit/. Erişim tarihi: 20/04/2023.

URL-2. Barit görseli, https://tr.wikipedia.org/wiki/Barit. Erişim tarihi: 20/04/2023.

URL-3. Hematit görseli, https://www.isbiliravm.com/isbilirdogaltas/Bs30-hematit-tasinin-faydalari.html. Erişim tarihi: 20/04/2023.

URL-4. Hematit taşı nerede bulunur, https://www.degerlidogaltas.com/hematit/ Erişim tarihi: 20/04/2023.

URL-5. Hematit (Spekülarit) oluşumları, https://www.degerlitaslar.gen.tr/turkiyede-cikarilan-yari-degerli-taslar#:~:text=%E2%80%93%20Hematit%20(Spek%C3%BClarit),olarak%20he

n%C3%BCz%20kullan%C4%B1m%20alan%C4%B1%20yarat%C4%B1lamam%C4%B1%C5%9Ft%C4%B1r. Erişim tarihi: 20/04/2023.

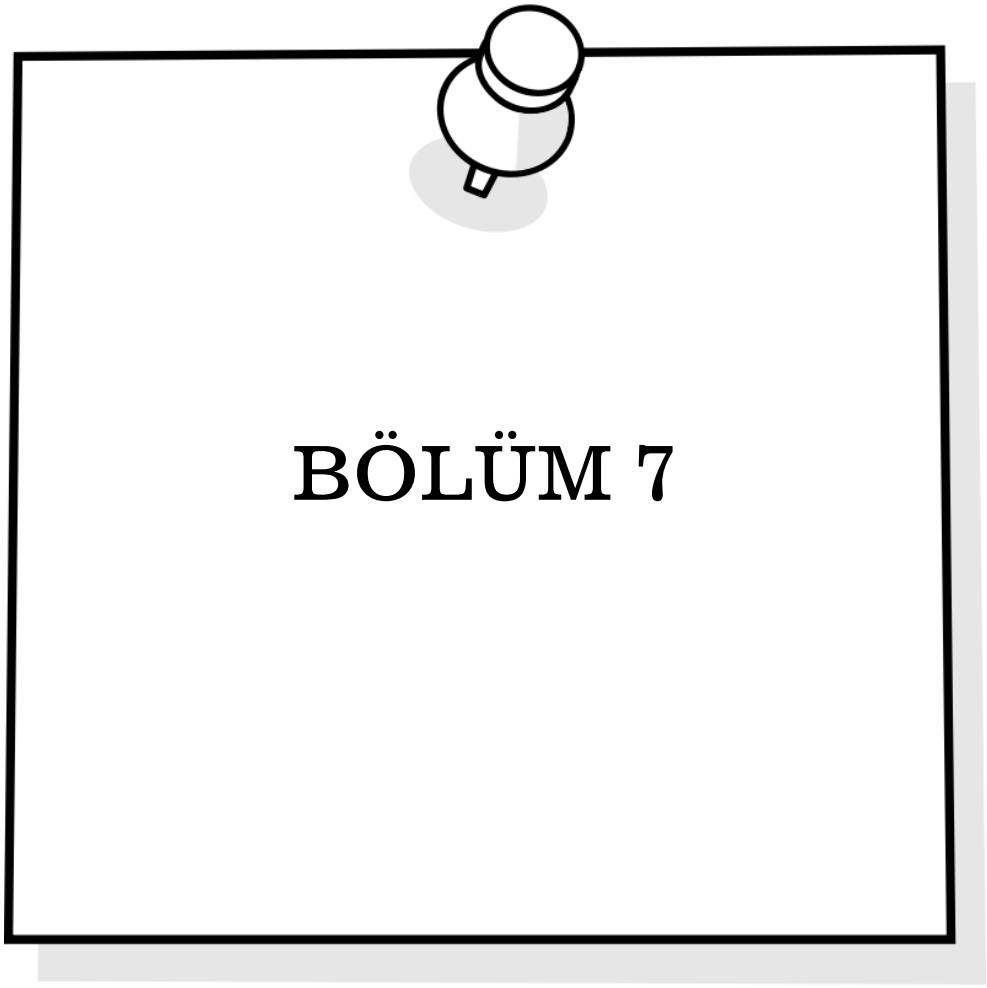
URL-6. Limonit görseli, https://en.wikipedia.org/wiki/Limonite. Erişim tarihi: 20/04/2023.

URL-7. Olivin görseli, https://tr.wikipedia.org/wiki/Olivin. Erişim tarihi: 20/04/2023.

Ünal, O., İçağa, Y., & Çoşkun, A. (2016). Barit Agregalı Betonların Radyasyon Soğurma Özelliklerinin Araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(1), 125-131.

ZengİN, B., & Özel, C. (2019). Kendiliğinden Yerleşen Hematit Agregali Betonun Bazi Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştirilmasi. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 5(2), 95-102.

ISBN: 978-625-6971-84-4



BÖLÜM 7

ISBN: 978-625-6971-84-4

BENTONİTLERİN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Dr. Onur Eser KÖK[1]

Prof. Dr. Hüseyin VAPUR[2]

Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN[3]

BENTONİTİN TANIMI

Bentonit terimi tarihte ilk olarak Knight isimli bilim insanı tarafından 1898 yılında A.B.D. sınırları içerisinde yer alan Wyoming bölgesinde Fort Benton yakınındaki kretase yaşlı kolloidal özelliği yüksek olan plastik killeri tanımlamak için kullanılmıştır (Çetinel, 2008).

Bentonit, genel olarak alüminyum ve magnezyum bakımından zengin volkanik kül, lav ve tüflerin kimyasal olarak bozunması ve ayrışması sonucunda meydana gelmiş baskın minerali montmorillonit olan kristal yapılı, kolloidal özellik gösteren poroz ve yumuşak kayaç olarak tanımlanmaktadır (El-Nagar ve Sary, 2021; Kumar ve Lingfa, 2020).

Bilimsel olarak, baskın minerali (>%75) montmorillonit olan yumuşak yapıda kolloidal özellikli alüminyum hidrosilikat olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca bileşimlerinde montmorillonit hariç saponit, nantronit ve hektorit de içermektedir. Ancak baskın minerali montmorillonit olduğundan ve çoğunlukla montmorillonit ile aynı özelliklere sahip olduğundan dolayı bazı çalışmalarda doğrudan montmorillonit olarak da kullanılmaktadır (Kocakuşak ve ark., 1997; İpekoğlu ve ark., 1997).

Ticari olarak, çeşitli renklerde (gri, sarı, beyaz, açık yeşil) başlıca minerali smektit grubuna ait olan ve katyon değiştirme kapasitesi yüksek bir kil türevi

[1] İskenderun Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0002-7061-2921
[2] Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0003-4438-3982
[3] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, ORCID: 0000-0002-2314-5216

olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca geniş yüzey alanı, su ile süspansiyonlarında hacimce şişme özelliği göstermesi ve asit ile aktive olabilmesi ile karakterize edilmektedir (Çetinel, 2008; Asad ve ark., 2013).

Bentonitlerin adlandırılması ise kimyasal bileşiminde bulundurduğu baskın element/mineral türüne göre değişim göstermektedir. Kimyasal bileşimleri hangi tip bentonit türü olduğunu tam olarak ifade edememektedir. Ancak yüksek oranda yaklaşım sağlanabilmektedir. Bileşiminde birçok mineral bulunmasına rağmen temelde Sodyum Bentonit (Na-Ben), Ara Tip Bentonit (Na/Ca-Ben) ve Kalsiyum Bentonit (Ca-Ben) olmak üzere üç farklı türü bulunmaktadır. Bu adlandırma ise kimyasal analizden yola çıkılarak Na2O+K2O/CaO+MgO oranı ile hesaplanmaktadır. Bu oran 1 ve daha büyük ise Na-Ben, 1/3-1 aralığında ise Na/Ca-Ben ve 1/3 değerinden düşük ise Ca-Ben olarak adlandırılmaktadır (Çinku, 2008; Yıldız ve ark., 1999; Akbulut, 1996; İpekoğlu ve ark., 1997).

FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLER

Şekil ve Renk

Bentonit doğada bulunduğu hali ile yumuşak yapıda, kırılgan, porozitesi yüksek ve kaolin kıvamlı yağlı his oluşturan bir kayaç olarak tanımlanabilir. Kimyasal içeriğine bağlı olarak sarı, gri, yeşil, beyaz gibi renkleri bulunmaktadır. Doğal renginin belirlenmesinde ise ağırlıklı olarak demir iyonu, valans durumu ve demir oksitlerin konsantrasyonu etkili olmaktadır. Örneğin yeşil renk genel olarak pirit kaynaklı iki valanslı demir iyonundan kaynaklanmaktadır. Demir iyonunun üç valansı var ise oksitlenme durumuna göre sarı veya kahverengi renk oluşmaktadır. Ayrıca nem miktarı da renk oluşumu üzerinde etkili olmaktadır. Nem miktarına bağlı olarak bentonitin rengi koyulaşmaktadır. Demir iyonuna kıyasla az miktarda da olsa organik maddeler renk oluşumunu etkilemektedir (Kök, 2017; Eruslu, 1993).

Özgül Ağırlık

Bentonitin özgül ağırlığı optimal kurutma koşullarında (105 ^{0}C/120 dk) 2,6-2,8 g/cm^3 aralığında değişim göstermektedir. Ancak öğütme koşullarına bağlı olarak mikronize boyuta indirgendiği durumlarda ise özgül ağırlığında önemli miktarda düşüş meydana gelerek 0,8-1,8 g/cm^3 aralığında değişmektedir (Chimeddorj, 2007).

ISBN: 978-625-6971-84-4

Şişme Özelliği

Bentonitlerin sulu süspansiyonlarında göstermiş oldukları şişme özelliği, diğer kil mineralleri arasında ayırıcı özellik gösteren önemli bir faktördür. Şişme özelliği tane boyutuna ve süspansiyonun hazırlanma şekline bağlı olarak değişmektedir. Verimli bir şişme özelliği tayini için süspansiyonun hazırlanma koşulları oldukça önemlidir. Süspansiyon oluştururken sıcaklığın 30-50 ^{0}C aralığında olması ideal olarak kabul edilmektedir. Tane boyutunun azalması ise şişme özelliğini artırmaktadır. Ayrıca bentonit üzerine su eklenmesi yerine su içerisine bentonitin ilave edilmesi şişme özelliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu ilave işlemi sırasında ise bentonitin yavaş yavaş ilavesi şişme oranını artırmakta ve daha kısa sürede gerçekleşmesini sağlamaktadır (Tüysüz, 2016; Kocakuşak ve ark., 1997; Yıldız, 2004).

Bentonitlerin şişme özelliği kristal içi şişme ve ozmotik şişme olmak üzere iki türlü gerçekleşmektedir. Kristal içi şişme, nemsizleştirilmiş bir bentonitte değişebilir özellik gösteren katyonların hidrasyon adı verilen su çekme özelliği ile sağlanmaktadır. Bu değişebilen katyonlar ya tabaka yüzeyine ya da tetrahedron tabakalardaki hegzagonal yapılardaki boşluklarda yer almaktadırlar. Yerleşen bu katyonların hidrasyonu ile tabakalar arasındaki mesafe genişlemekte ve şişme olayı sağlanmaktadır. Kristal içi şişme, su moleküllerinin polar özelliğinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Normal şartlar altında su molekülleri elektriksel açıdan iki negatif ve iki pozitif yük merkezi bulundurarak nötr özellik taşımaktadır. Değişebilir katyonların hidrasyon olayında nötr haldeki su moleküllerinin negatif kutupları katyona doğru yönelim göstermektedir. Dolayısıyla negatif yüklü tabakalar ile katyonlar arasında kurulmuş olan elektrostatik etkileşim zayıflayacaktır. Bu durum da katyonların etrafını su moleküllerinin sarmasına sebep olarak şişme olayını gerçekleştirecektir. Bu durum ise kristal içi şişme olarak adlandırılmaktadır. Yüksek oranda montmorillonit mineralinden oluşan bentonitte, tabakalar birbirlerine temas edecek derecede yakın bulunmaktadırlar. Kalınlığı 0,91 nm olan tabakaların arasındaki mesafe 0,94-1,0 nm aralığında değişim göstermektedir. Bu bölgelerde bulunan değişebilir katyonların hidrasyon yeteneği, bentonitin kristal içi şişme oranı ile doğrudan ilişkilendirilmektedir. Ozmotik şişme ise bentonitin gözenekli yapısı ile ilişkilendirilmektedir. Gözeneklerde yer alan su ve bentonit yüzeyine yakın olan bölgelerdeki iyon derişimlerine bağlı olan büyük farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Kristal içi şişme ile kıyaslandığında mesafenin daha fazla olduğu koşullar altında da etkili olabilmektedir. Bentonitin kristal ağ yapısındaki anomaliler negatif yük fazlalığı ile ifade edilmektedir. Bu anomali, yüzeye yakın olan pozitif yüklü iyonlar ile giderilmeye ve nötrlenmeye eğilimlidir. Dolayısıyla

tabaka yüzeyine yakın durumda olan pozitif yüklü iyonların konsantrasyonu yüksek iken negatif yüklü iyonların ise düşüktür. Pozitif yüklü iyonların konsantrasyonu yüzey ile olan mesafesinin artışına bağlı olarak azalmaktadır. Negatif yüklü iyon konsantrasyonu ise yüzey ile olan mesafeden ters orantılı olacak şekilde etkilenmektedir. Negatif yüklü yüzey ile iyon bulutu arasında EÇT oluşur ve tabaka yüzeyi negatif potansiyel ile yüklenmektedir. Oluşan bu negatif potansiyelin gücü ise yüzeye olan mesafe ile ters orantılıdır. Bu olaylar sonucunda meydana gelen iki negatif yük potansiyel bölgesi birbirlerine itme kuvveti uygularlar ve ozmotik şişme meydana gelmektedir. Bu kuvvetlerin ve ozmotik şişmenin eğri profili ise itme kuvvetine, EÇT bölgesinde yer alan iyonların çapı ile değerliğine ve gözenek suyunda yer alan elektrolitlerin konsantrasyonuna bağlı olarak değişim göstermektedir (Yıldız, 1999; Kök, 2017; Kocakuşak ve ark., 1997).

Şişme özelliği, bentonit sınıflandırılmasında da önemli rol oynamaktadır. Na-Ben, Ca-Ben ve Na/Ca-Ben sınıflandırması yaparken bentonitlerin su ile yaptıkları süspansiyon davranışları oldukça önemlidir. Suda şişme özelliği en yüksek olan tür Na-Ben iken sırasıyla Na/Ca-Ben ve Ca-Ben olarak devam etmektedir. Na-Ben suda şişen bentonit olarak bilinirken, Na/Ca-Ben orta derecede şişme özelliği olan; Ca-Ben ise suda şişme özelliği çok az olan bentonit türü olarak bilinmektedir. Sulu süspansiyonlarda farklı şişme oranına sahip olan bu türler, 100-150 ^{0}C sıcaklık aralığında serbet su moleküllerinden arınarak önceki formlarına dönebilmektedirler. Ancak yüksek sıcaklıklarda kalsinasyona uğradıkları zaman ise şişme özelliklerini kaybetmektedirler. Şişme özelliği, bir bentonitin türü hakkında en doğru yaklaşımda bulunan bir faktör olarak bilinmektedir (Kozak ve ark., 2002; Bol, 1986; Kök, 2017).

Tiksotropi

Tiksotropi, kısaca jel formundaki bir sistemi oluşturan moleküller arası bağ yapılarının hareket ile değişebilme durumu olarak tanımlanmaktadır. Bentonit-su süspansiyonlarında mineraller ile su molekülleri temasa geçtiğinde bir jel formu oluşmaktadır. Oluşan bu jel form ise hareket enerjisi ile birlikte (çalkalanma) tekrar sıvı forma geçebilmektedir. Bu durum bentonitin tiksotropi özelliği olarak tanımlanmaktadır. Bentonitin tiksotropi özelliği ise türüne göre değişim göstermektedir. Tiksotropi özelliği yüksekten düşüğe doğru sırasıyla Na-Ben, Na/Ca-Ben ve Ca-Ben olarak sıralanmaktadır (Vatansever, 2009; Avcı, 2009).

ISBN: 978-625-6971-84-4

Viskozite

Viskozite, temel olarak 1 cm aralığında birbirine paralel iki yassı tabaka arasından akan distile suyun akma hızını 1 cm/sn artırmak için gerekli olan güç olarak tanımlanmaktadır. Birim olarak centipoise (cP) ile ifade edilmektedir. Ölçümü viskozimetre adı verilen cihaz ile yapılmaktadır. Ayrıca sıcaklık ve basınç gibi ortam koşullarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Sıcaklık artışı ile birlikte viskozite düşüşü meydana gelmesine rağmen basınç artışı ile birlikte sıvının ya da süspansiyonun viskozitesi yükselmektedir (Chimeddorj, 2007).

Bentonit taneciklerinin yassı plakalar şeklindeki yapılarının elektriksel olarak birbirlerine itme ve çekme kuvvetleri uygulamalarının ve anyon ile katyonların etkileşimlerinin bir sonucu olarak sulu ortamda dispers olur ve süspansiyon içinde askıda kalabilmektedir. Dispers olabilme ve askıda kalabilme yeteneği, bentonit türüne bağlı olarak değişmektedir. Sulu süspansiyon ortamında sırasıyla Na-Ben, Na/Ca-Ben ve Ca-Ben olmak üzere dispers olabilme ve askıda kalabilme yeteneği azalmaktadır. Ca-Ben ile hazırlanan süspansiyonlarda diğerlerine kıyasla çöküntü meydana gelmektedir. Ancak Na-Ben ve bazı Na/Ca-Ben süspansiyonlarında bu durum meydana gelmemektedir. Bu durum tiksotropi ile de ilişkilendirilerek doğrudan bentonit süspansiyonlarının viskozite davranışlarını oluşturmaktadır (Tüysüz, 2016; Çinku, 2008).

Viskozite, kil türüne bağlı olmanın dışında kil minerallerinin saflık durumuna ve süspansiyon oluşturma koşullarına (sıcaklık, karıştırma hızı, kil ilave süresi) bağlı olarak da değişim göstermektedir. Bentonit su süspansiyonlarının viskozite değeri zaman ile doğru orantılı olarak değişirken hareket enerjisi (karıştırma, çalkalama) ile ters orantılı olarak değişmektedir. Ayrıca süspansiyonda kullanılan bentonitin şişme özelliği ile de viskozite değeri ilişkilendirilmektedir. Sisteme ilave edilen bentonit, serbest suyun miktarında azalmaya yol açmakta ve bentonit-su süspansiyonun bir iç sürtünme kuvveti oluşturarak akmaya karşı direnç oluşturmasına sebep olmaktadır. Bentonitlerin şişme özellikllerinin de tiksotropi ile ilişkilendirildiği düşünüldüğünde, süspansiyon sisteminin birbirine bağlı farklı mekanizmalardan oluştuğu ve etkileşim halinde olduğu da ifade edilmektedir (Akbulut, 1996; Kök, 2017; Yıldız, 2004).

Elektriksel Yük Dağılımı ve İyon Değişimi

Bentonitler yapı olarak negatif yük potansiyeline sahiptirler. Bu sebeple yapılarını nötr hale getirebilmek amacıyla katyon (pozitif değerlikli iyon) adsorbe etmektedirler. Adsorbe edilen bu katyonlar, nötr durum sağlamasına karşın zayıf çekim kuvveti ile bağlanırlar. Bu zayıf çekim kuvvetleri ise bentonit-su süspansiyon sistemlerinde kırılıp adsorbe edilen katyonlar ile süspansiyon

sisteminde yer alan diğer katyonlar yer değiştirebilmektedir. Bu durum iyon değişimi olarak tanımlanmaktadır. Adsorplanan ve değişebilen iyonlar bentonitlerin temel yapı ünitesi olan Si-Al yapısının dışında yer aldığı için iyon değiştirme reaksiyonları bentonitin yapısında bir değişim meydana getirmezler. Negatif yüklü bentonit taneciklerinin yüzeyine adsorplanan ya da süspansiyon içerisinde yer değiştiren katyonlara K^{+}, Na^{+}, Al^{+3}, NH_4^{+}, Mg^{+2}, Ca^{+2} ve H^{+} örnek olarak verilebilir. İhtimal düşük osa dahi bazı durumlarda pozitif yük potansiyeli meydana gelmektedir. Bu durumda ise anyon değişimleri meydana gelerek elektriksel açıdan nötr yapı oluşturulmaktadır. Değişebilen anyonlara SO_4^{-2}, Cl^{-}, NO_3^{-} ve PO_4^{-2} örnek olarak verilebilir (Güngör, 1981; Çinku, 2008).

Plastisite

Bentonitlerin plastisite özelliği, basınç altında deformasyona uğrayıp fiziksek formunu değiştiren, basınç durumu kalktığında ise önceki fiziksel formuna geri dönebilen çamur yapma eğilimi olarak tanımlanmaktadır. Süspansiyonlarda plastik özellik oluşabilmesi için Atterberg Limitleri olarak adlandırılan 'plastik limit (PL)' ve 'likit limit (LL)' olmak üzere iki önemli parametre bulunmaktadır. PL, süspansiyonda plastik özelliği sağlayabilmek için gereken su miktarı olarak tanımlanmaktadır. LL ise süspansiyonun plastik halden akıcı hale geçmesi için gereken su miktarı olarak tanımlanmaktadır. Bu iki önemli parametre arasındaki fark ise 'plastiklik indeksi (PI)' olarak literatürde yer almaktadır. PL ve LL değerleri bentonit türüne göre değişim göstermektedir. Na-Ben için PL ve LL değerleri sırasıyla ~75 birim ve 500 birim; Na/Ca-Ben için 75-90 birim ve 160-500 birim; Ca-Ben için ise ~90 birim ve ~160 birim olarak belirlenmiştir (Akbulut, 1996; Vatansever, 2009; Avcı, 2009). Ayrıca yüzey kimyası, tane boyutu ve nem miktarı da bentonitin plastisite özelliğini doğrudan etkilemektedir. Tane boyutunun küçülmesi ile birlikte bentonitin plastisite özelliğinde artış meydana gelmektedir. Nem miktarının %5 ve daha az olduğu koşullarda ise plastiklik özelliğinde azalma meydana gelmektedir (İpekoğlu ve ark., 1997).

Isıl Etki

Bentonit, ısıl işleme maruz kaldığında farklı sıcaklık derecelerinde yapılarında fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelmektedir. Bu değişimler, bentonitin kimyasal bileşimi ve safsızlıklarına bağlı olarak farklılık gösterecek şekilde belirli sıcaklık aralıklarında meydana gelmektedir. 100-105 ^{0}C aralığında bünyesinde bulundurduğu nem uzaklaşmaktadır. 120-145 ^{0}C aralığında ise absorplanmış olan gözenek suyu yapıdan ayrılmaktadır. 600-750 ^{0}C aralığında hidroksil grupları (OH^{-}) yapıdan ayrılacağı için hem hacimsel azalma hem de kütle kaybı meydana gelmektedir. 650-850 ^{0}C aralığında $CaCO_3$ ve $MgCO_3$

bileşikleri ayrışarak CaO ve MgO bileşiklerine dönüşmektedir. Bu ayrışma sonucunda ise sistemden CO_2 gazı uzaklaşmaktadır. 900 ^{0}C ve daha yüksek sıcaklık koşullarında ise yapıda cam-silikat fazı oluşmaya başlamaktadır. Cam-silikat fazının oluşması ısıl işleme uğrayan bentonite fiziksel mukavemet kazandırmaktadır. 950-1100 ^{0}C aralığında ise sinterleşme meydana gelmektedir. 1150 ^{0}C ve daha yüksek sıcaklık koşullarında ise ergime noktasına ulaşılarak fizikokimyasal özelliklerde değişimler meydana gelmektedir (İpekoğlu ve ark., 1997; Alemdar, 2001).

Adsorpsiyon

Bentonit, fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre değişkenlik gösteren bir gözenekli yapı formundadır. Gözenekli yapısından dolayı yüzey alanı görünenden çok daha büyüktür. Bu alan, 'Özgül Yüzey Alanı' veya 'Özgül Gözenek Hacmi' olarak adlandırılır ve bir gram bentonitin sahip olduğu tüm yüzey alanının metrekare (m^2) biriminden ifadesi olarak tanımlanmaktadır (Grim, 1968). Bentonitler için genel olarak ~80 m^2/g özgül yüzey alanı bulunmaktadır. Ayrıca bentonit türüne göre de özgül yüzey alanı ve dolaylı olarak adsorpsiyon özelliği de değişmektedir. Sırasıyla Ca-Ben, Na/Ca-Ben ve Na-Ben olarak adsorpsiyon özellikleri yüksekten düşüğe sıralanmaktadır (Vatansever, 2009).

Adsorpsiyon sıvı, gaz ya da buhar fazlarından herhangi birisi ile temas halinde olan bir katı maddenin yüzeyinde ve gözenek duvarlarında moleküllerin tutunması olarak tanımlanmaktadır. Dolayısı ile elektriksek yük dağılımı da dikkate alındığında bentonitlerin özgül yüzey alanları ile adsorpsiyon özelliği arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Bentonitlerin özgül yüzey alanı, mikrogözenek (<2 nm), mezogözenek (2-50 nm) ve makrogözenek (>50 nm) olmak üzere üç farklı genişlik ile sınıflandırılmaktadır. Bentonitlerin ise her türden gözenek türünü içermesine rağmen özgül yüzey alanı genellikle mikrogözenek ve mezogözenek türlerinden oluşmaktadır. Makrogözeneklerin özgül yüzey alanına etkisi ihmal edilebilecek düzeydedir. Ancak gözenek hacmi ise büyük oranda makrogözeneklerden oluşmaktadır. Bu gözenekler ise özgül yüzey alanının belirlenmesinde rol oynadığından dolayı adsorplama özelliği ile ilişkilendirilmektedir. Özgül yüzey alanı ne kadar yüksek ise adsorplama özelliği o kadar iyi olmaktadır (Yıldız, 1999).

Bentonitlerin özgül yüzey alanı Brunauer-Emmet-Teller (BET), Harkins Jura, de Boer-Lippens, Langmuir ve Dubinin-Rudushkevich-Kaganer olmak üzere beş yöntem ile belirlenebilmektedir. Ancak genellikle standart olarak kabul edilen BET yöntemi kullanılmaktadır. BET yönteminde özgül yüzey alanı 77 K

sıcaklığındaki azotun adsorpsiyonu ya da desorpsiyonu ile Langmuir denklemleri kullanılarak hesaplama yapılmaktadır (Gregg ve Singh, 1982).

Katyon Değiştirme Kapasitesi (KDK)

Bentonitlerde tetrahedral tabakalarındaki Si^{+4} katyonunun yerini bazı durumlarda Al^{+3} iyonu, Al^{+3} katyonunun yerini de Mg^{+2}, Zn^{+2}, Fe^{+2} ve Li^{+} katyonları alabilmektedir. Gerçekleşen bu yer değişimine 'Katyon Değişimi' adı verilmektedir. Katyon Değiştirme Kapasitesi (KDK) ise bu değişim miktarını belirten bir kavram olup 100 gram kil minerali tarafından adsorbe edilen katyonların miliekivalent (meq) sayısı olarak tanımlanmaktadır (Kök, 2017).

Katyon değişimi sonucunda elektriksel yük dengesizliği oluşmaktadır. Katyon eksikliği sonucu oluşan bu dengesizlik, sulu süspansiyonda bulunan Na^{+}, Ca^{+2} veya K^{+} katyonlarının negatif iyonlara bağlanması ve nötr yapı meydana gelmesi ile giderilmektedir (Avcı, 2009).

Bentonitler aşağıda verilen üç temel sebep ile katyon değişimi gerçekleştirmektedir.

- Kırık bağlar
- Kristal kafesteki izomorfik yer değişimi
- OH^{-} iyonlarının yer değişimi

Kırık Bağlar: Bentonitleri oluşturan Si-Al tabakalarının kenarında yer alan ve kırık bağ yapılarına sebep olan anyonlar, sulu süspansiyonlarda yer alan katyonların adsorbe edilmesi ile nötr hale gelmektedirler. Bu esnada meydana gelen iyon değişimi, tabaka kenarlarında yer alan kırık bağlar ile orantılı olarak değişim göstermektedir. Kristal ağ yapısında meydana gelen anomaliler de kırık bağ sayısında artışa sebep olmaktadır. Dolayısıyla katyon değişiminde artışa sebep olmaktadır. Bentonitlerin katyon değişim kapasitesinin yaklaşık %20 oranındaki bir kısmı kırık bağ yapılarından kaynaklanmaktadır (Alemdar, 2001).

Kristal Kafesteki İzomorfik Yer Değişimi: Bentonitlerin tetrahedral tabakalarında istisnai durumlarda Si^{+4} yerine Al^{+3}, oktahedral tabakada ise Al^{+3} yerine Fe^{+2} ya da Mg^{+2} iyonları bulunmaktadır. Bu istisna sonucu elektriksel denge bozulmakta ve negatif yüklenme meydana gelmektedir. Elektriksel olarak nötr hale gelebilmesi için süspansiyonda bulunan katyonlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple tabakalar arasına süspansiyonda yer alan serbest katyonlar yerleşerek nötr yapı oluşturulmaktadır. Meydana gelen bu katyon değişimi, tetrahedral ve okthedral yapılardaki anomalilere göre farklılık göstermektedir. Oktahedral tabakalardaki katyon değişimleri daha uzun mesafelerden yapılabileceği gibi tetrahedral tabakalarda ise daha kısa

ISBN: 978-625-6971-84-4

mesafelerdeki katyonlar ile gerçekleşmektedir. Bu durum oktahedral tabakalarındaki çekim kuvvetinin daha büyük olduğunu ifade etmektedir. Bentonitlerde meydana gelen katyon değişim kapasitesinin %75 oranındaki kısmı kristal yapıdaki izomorfik yer değiştirme ile gerçekleşmektedir (Erdinç, 1976).

OH^- İyonlarının Yer Değişimi: Kırık bağlar sonucu kil minerallerinin tabaka kenar veya uçlarında OH^- grupları yer almaktadır. Kırık bağlar sonucu meydana gelen katyon değişimlerine benzer şekilde OH^- gruplarına ait H^+ iyonlarının yer değiştirmesi ile elektriksel yük dengesi oluşabilmektedir. Genellikle kaolin ve halloysit gibi kil türevlerinde meydana gelen bu durum, bentonitlerin katyon değişim kapasitesinin yaklaşık %5 oranındaki bir kısmını oluşturmaktadır (Güngör, 1981).

Bentonitlerin KDK değeri sıcaklık, basınç, konsanstrasyon ve süspansiyon ortam koşullarıda bağlı olarak farklılık göstermektedir. Ayrıca bentonit türü (Na-Ben, Na/Ca-Ben, Ca-Ben) ve tane boyutu ile de farklı KDK değerleri hesaplanabilmektedir. Bu parametreler arasında ise sıcaklık ve tane boyu etkileri öncelik taşımaktadır. Isıl işleme maruz kalan bentonitlerin sıcaklık artışına bağlı olarak KDK değerlerinde azalma meydana gelmektedir. 600 ^{0}C sonrası ani bir azalma gerçekleşmekte ve 900 ^{0}C sonrası KDK değeri sıfır olmaktadır. Tane boyutu ile ters orantılı olarak değişim göstermektedir. Tane boyutunun azalması ile birlikte KDK değerinde artış meydana gelmektedir. Bileşiminde bulundurduğu katyon cinsine göre iyon değişim hızları düşükten yükseğe Na^+, K^+, Ca^{+2}, Mg^{+2} ve NH_4^+ olarak sıralanmaktadır (Vatansever, 2009).

Bentonitlerin KDK değeri ile fiziksel ve kimyasal özellikleri arasında bir ilişki bulunmaktadır. Bileşiminde bulundurduğu değişebilen iyonların cinsi ve miktarı iletkenlik, plastisite, porozite ve permeabilite, hidrasyon derecesi ve hızı, viskozite, disperse hızı ve süspansiyonlarda tanecik dağılımı gibi kolloidal özelliklerini etkilemektedir. Bentonitin Na^+ iyonu bakımından doygun olması (Na-Ben) ile Ca^{+2} iyonu bakımından doygun olması (Ca-Ben) arasında önemli derecede farklılıklar bulunmaktadır. Na-Ben ile hazırlanan süspansiyonlarda zeta potansiyeli Ca-Ben ile hazırlanan süspansiyonlara kıyasla daha yüksektir. Dolayısıyla süspansiyon sisteminde yer alan taneciklerin birbirlerine y apışması ve kümelenmesi nispeten daha az durumdadır. Bu durumda Ca-Ben ile hazırlanan süspansiyonlarda tanecikler kümeleşmekte ve süspansiyon tabanında çökme meydana getirmektedir. Na-Ben ile hazırlanan süspansiyonlarda Na^+ iyonlarının yüksek hidrate olma özelliği sayesinde negatif yük ile yüklenmiş yüzeyler ile kuvvetli bağlar kuramayarak elektriksel açıdan nötr hale gelemeyecektir. Bu durum taneciklerin birbirlerine yapışarak süspansiyon tabanında ökmelerini engelleyecek ve flokülasyon meydana gelmeyecektir. Ancak Ca-Ben ile

hazırlanan süspansiyonlarda Ca^{+2} katyonlarının Na^{+} iyonlarına kıyasla daha düşük hidrate olabilme özelliği sonucunda negatif yüklü yüzeyler ile kuvvetli bağlar kurabilmekte ve elektriksel açıdan nötr durum meydana gelmektedir. Dolayısıyla flokülasyon meydana gelerek süspansiyon tabanında bentonit partikülleri birikmektedir. Bu durumlar, Na-Ben için daha iyi kolloidal özellik gösterdiği ve viskozitesi ile şişme özelliği yüksek, elektriksel açıdan iletken bir süspansiyon oluşturduğunu göstermektedir. Na/Ca-Ben ile hazırlanan süspansiyonlar ise ara değerlerde sonuçlar vermektedir (Çinku, 2008).

KDK, farklı kil türleri için farklı değerlerde hesaplanmaktadır. Montmorillonit mineralince zengin olan bentonit için 60-150 meq/100g aralığında değişirken kaolin için 3-15 meq/100g, illit için 10-40 meq/100g, sepiyolit ve attapulgit için 20-30 meq/100g ve vermikülit için 100-150 meq/100g aralığında değişim göstermektedir (Çinku, 2008).

KAYNAKLAR

Akbulut, A., 1996. Bentonit. MTA eğitim serisi no:32, Ankara.

Alemdar, A., 2001. Bentonit ve Montmorillonit Dispersiyonlannın Reolojik, Viskoelastik, Kolloidal Özellikleri Üzerine Organik Ve İnorganik Tuzların Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi. Doktora Tezi, İstanbul.

Asad, A., Kar, S., Ahmeduzzaman, M. H. R., and Hassan, M. R., 2013. Suitability of Bentonite Clay: An Analytical Approach. International Journal of Earth Science, 2(3): 88-95.

Avcı, S.B., 2009. Soda ve MgO İle Aktiflendirilmiş Aratip Bentonitlerin Sondaj Ve Döküm Bentoniti Karakteristiklerinin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,117 s.

Bol, G.M., 1986. Bentonite Quality and Evaluation Methods. SPE Drilling Engineering, 288-296

Chimeddorj, M., 2007. Farklı Bentonitlerin Nem Alıcı (Desikant) Özelliklerinin Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Çetinel T., 2008. Ara Ve Ca Bentonitlerin Soda Ve MgO İle Aktivasyonu. Dumlupınar Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, Kütahya,141 s.

Çinku K., 2008. Aktivasyon Yöntemleri ile Bentonitten Su Bazlı Kıvamlaştırıcı Üretiminin Araştırılması. İstanbul Üniversitesi. Doktora Tezi. İstanbul. 296s.

El-Nagar, D. A., and Sary, D. H., 2021. Synthesis and Characterization Of Nano Bentonite and Its Effect On Some Properties Of Sandy Soils. Soil and Tillage Research, 208: 104872.

Erdinç, S.Ş., 1976. Bentonitlerin Metalurjik Uygulamaları Yönünden Araştırılması ve Reşadiye Bentonitlerinin Bu Açıdan İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Doktora Tezi, İstanbul.

Eruslu, N., 1993. Türkiye Bentonitleri ve Döküm Kumları Araştırma Projesi. DPT Teknolojik Araştırma Projesi.

Gregg, S.J., and Singh, K.S.W., 1982. Adsorption surface area and porosity, 2nd ed. Academic Press, London.

Güngör, N. 1981 Bentonitik Kil Minerallerinin Yapı Ve Özellikleri Üzerine Değişebilen Katyonların Etkilerinin Fiziksel Yöntemlerle İncelenmesi. İstanbul Üniversitesi. Doktora tezi, İstanbul.

İpekoğlu, B., Kurşun, İ., Bilge, Y. ve Barut, A., 1997. Türkiye Bentonit Potansiyeline Genel Bir Bakış. 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, s. 51-56.

Kocakuşak, S., Akçay, K., Köroğlu, H.J., Yüzer, H., Ayok, T., Savaşçı, Ö.T., ve Tolun, R., 1997. Bentonitlerin, Silanlama Yöntemi ile Tiksotropilerinin Araştırılması. İkinci Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, s.177-186.

Kozak, M., Domka, L. and Skrzypczak, A., 2002. Adsorption of the Quaternary Ammoniumsalts on Bentonite. Physicochemical Problems of Mineral Processing, 36: 299-306.

Kök, O.E., 2017. Nanobentonit Eldesi Ve Karakterizasyonu. İskenderun Teknik Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, Hatay, 87 s.

Kumar, A., and Lingfa, P., 2020. Sodium Bentonite and Kaolin Clays: Comparative Study on their FT-IR, XRF, and XRD. Materials Today: Proceedings, 22:737-742.

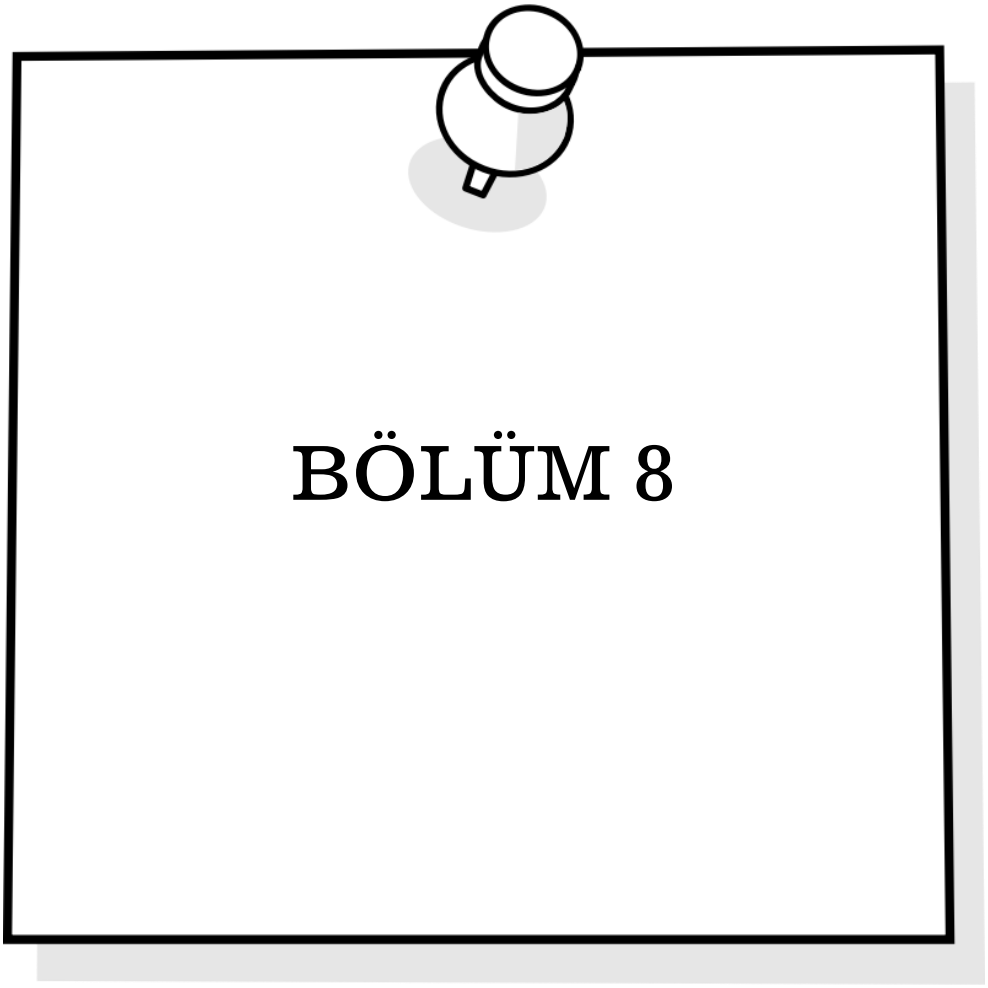
Tüysüz E., 2016. Çankırı-Eldivan Yöresi Bentonitinin Döküm Kalıp Kumu Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 69 s.

Vatansever, A., 2009. Reşadiye Bentonitinden Organofilik Bentonit Sentezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,121 s.

Yıldız N., 1999. The Effects of the Electrolyte Concentration and Ph on the Rheological Properties of the Original and the Na2CO3-Activated Kütahya Bentonite. Applied Clay Science, 14: 319-327.

Yıldız, N., 2004. Süperkritik Akışkan Ortamında Adsorbantların Rejenerasyonu, T.C. Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, Ankara.

Yıldız, N., Çalımlı, A., and Sarıkaya, Y., 1999. The characterization of Na2CO3 Activated Kütahya Bentonite. Turkish Journal of Chemistry. 23 : 309 - 317.



BÖLÜM 8

ISBN: 978-625-6971-84-4

BENTONİTLERİN AKTİVASYONU VE UYGULAMA YÖNTEMLERİ

Dr. Onur Eser KÖK[1]

Prof. Dr. Hüseyin VAPUR[2]

Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN[3]

BENTONİTLERİN SINIFLANDIRILMASI

Bentonitler iyon değişimini tetrahedral ve oktahedral tabakalardaki elektriksel yük dengesizliğini gidermek amacıyla yapmaktadırlar. Böylece elektriksel yük bakımından nötr hale gelirler, ancak kimyasal içerik ve bağ yapıları bakımından çeşitlilikler meydana gelmektedir. Kimyasal bileşimde yer alan iyon konsantrasyonuna göre sınıflandırma yapılabilmekte ve 'Dominant İyon Sınıflandırması' olarak adlandırılmaktadır. Bu sınıflandırma sonucunda bentonitlerin kullanılacağı sektöre en uygun türü belirlenip uygulanmaktadır (Tüysüz, 2016; Kozak ve ark., 2002).

Bentonitin kimyasal bileşiminde bulunan oksitlere göre dominant iyon sınıflandırması yapılmaktadır. Bu yöntemde bir yaklaşım sağlamak amacıyla kimyasal analiz sonuçlarında dayanan ve Na_2O, CaO, K_2O ve MgO olmak üzere dört bileşik kullanılarak bir yöntem uygulanmaktadır. Uygulanan bu yöntem Kütle Oranı (Mass Ratio, MR) olarak tanımlanmaktadır ve eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$MR = \frac{Na_2O + K_2O}{CaO + MgO}$$

[1] İskenderun Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0002-7061-2921
[2] Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, ORCID: 0000-0003-4438-3982
[3] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, ORCID: 0000-0002-2314-5216

MR hesaplaması, bentonitlerin kimyasal analiz sonuçları ile hesaplanmaktadır. MR değeri 1 veya daha büyük değerde ise sodyum tip bentonit (Na-Ben), 1/3 ile 1 aralığında ise ara tip bentonit (Na/Ca-Ben) ve 1/3 veya daha düşük değerde ise kalsiyum tip bentonit (Ca-Ben) olarak adlandırılmaktadır (Avcı, 2009; Çinku, 2008; Tüysüz, 2016; Çetinel, 2008).

Na-Ben, baskın minerali sodyum olan montmorillonitleri yüksek oranda içeren bentonitler olarak tanımlanmaktadır. Bu bentonit tiplerinde katyon ihtiyacı Na^{+} iyonu ile sağlanmakta ve elektriksel yük dengesi gerçekleşmektedir. Hacimce 10-15 kat olan yüksek oranda şişme özelliği ve viskozitesi ile sulu süspansiyonlarının reolojisiyle sondaj sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır (Tüysüz, 2016; Kök, 2017).

Na/Ca-Ben, kesin bir baskın minerali bulunmayan, ancak sodyum ve kalsiyumun birlikte baskınlık gösterdiği montmorillonitleri yüksek oranda içeren bentonitler olarak tanımlanmaktadır. Bu bentonitlerde katyon ihtiyacı Na^{+} ve Ca^{+2} ile sağlanmakta ve yük dengesi gerçekleşmektedir. Bu bentonitler, diğer bentonit türlerinin karakteristik özelliklerini paylaşırlar. Hacimce 5-7 kat ile orta derecede şişme özelliği gösterirler. Sulu süspansiyonlarının reolojik özellikleri ve viskozitesi Na-Ben ile hazırlananlara kıyasla daha düşük, Ca-Ben ile hazırlananlara göre ise daha yüksektir (Çinku, 2008; Bloodworth ve ark., 1993).

Ca-Ben, baskın minerali kalsiyum olan montmorillonitlerden meydana gelen bentonitler olarak tanımlanmaktadır. Elektriksel yük dengesizliğinde katyon ihtiyacı Ca^{+2} iyonu ile sağlanır ve elektriksel açıdan nötr hale gelirler. Hacimce 2-4 kat olarak diğer bentonit tiplerine kıyasla şişme özelliği oldukça düşüktür. Sulu süspansiyonlarının düşük viskozitesi ve asit reaksiyonu ile köpürmesi başlıca karakteristik özellikleridir (Mingelgrin ve ark., 1978; Tüysüz, 2016).

AKTİVASYON VE UYGULAMA YÖNTEMLERİ

Bentonitler, diğer kil minerallerine kıyasla oldukça fazla kullanım alanına sahiptir. Dolayısıyla, kullanım amacına uygun olacak şekilde 'Aktivasyon' ya da 'Zenginleştirme' olarak tanımlanan farklı teknolojik işlemler uygulanmaktadır. Uygulanan bu teknolojik işlemler, doğal kaliteli rezervlerin giderek artan tüketim oranını azaltmakta ve daha düşük kalitedeki rezervlerin geliştirilerek farklı sektörlerde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sebeple gelişen teknoloji doğrultusunda bentonit gün geçtikçe daha fazla sektöre hammadde kaynağı olmaktadır. Bentonit kalitesini artırmaya yönelik uygulanan teknolojik işlemler aşağıda verilmiştir (Çetinel, 2008; Vatansever, 2009; Avcı, 2009; Kılınç, 2010).

- Alkali (soda) aktivasyon
- Asit ile aktivasyon

ISBN: 978-625-6971-84-4

- Karboksimetil selüloz (CMC) ile aktivasyon
- Organik Aktivasyon
- Yüzey aktif maddeler ve diğer bileşikler ile aktivasyon

Alkali (Soda) Aktivasyon

Alkali (soda) aktivasyon, genellikle yüzey alanı yüksek Ca-Ben ve Na/Ca-Ben kullanılarak tiksotropik özellikleri ve sulu süspansiyonlarının viskozitesi yüksek Na-Ben elde etmek amacıyla uygulanan yöntem olarak tanımlanmaktadır. İyon değişimi esasına dayanan bu yöntemde alkali olarak yüksek saflık derecesine sahip sodyum karbonat (Na_2CO_3) veya sodyum bikarbonat ($NaHCO_3$) kullanılmaktadır (Khalifa ve ark., 2020). Aktifleşme reaksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$\text{Ca-Ben / Na/Ca-Ben} + Na_2CO_3 / NaHCO_3 \Rightarrow \text{Na-Ben} + CaCO_3$$

Alkali aktivasyon kısaca kurutulan kalsiyum ve ara tip bentonitlerin mikronize boyuta indirgenecek şekilde öğütme işlemi sonrası %35-45 aralığında nemlendirilmesi, sonrasında ağırlıkça farklı oranlarda (% 2-5,5) Na_2CO_3 veya $NaHCO_3$ ilave edilerek karıştırılması ve sıkıştırılması olarak ifade edilebilmektedir. Sıkıştırma işlemi sonrası oluşan Na-Ben, 105-110 ^{0}C sıcaklık aralığında kurutulup kullanım amacına uygun boyutta öğütülmesi ile hazır hale gelmektedir (Avcı, 2009; Çetinel, 2008).

Aktifleşme reaksiyonu tek yönlü olarak gerçekleşmektedir. Dolayısıyla reaksiyon sonucu oluşan Na-Ben, doğal koşullar altında Ca-Ben ya da Na/Ca-Ben formuna dönmemektedir. Aktifleşme reaksiyonu sonucunda yan ürün olarak oluşan $CaCO_3$ ise sulu süspansiyonlarda çözünmemektedir. Reaksiyon, ortam koşulları ve bentonit türüne göre değişim göstermektedir. Bazı Ca-Ben ve Na/Ca-Ben mineralleri alkali aktivasyon işlemi başladıktan birkaç saniye sonra iyon değişimini tamamlayarak tiksotropisi yüksek bir jel oluşturmaktadır. Bazıları ise iyon değişimini yavaş gerçekleştirdiği için reaksiyon uzun sürede gerçekleşmektedir. Reaksiyonu hızlandırmak için karışımın ısıtılması, kurutulması ve karıştırılması gibi işlemler gerekmektedir (Yıldız ve ark., 1999; Çinku, 2008; Vatansever, 2009).

Asit ile Aktivasyon

Bentonit mineralleri adsorbant olarak nitelendirilebilmektedir. Dolayısıyla berraklaştırma, arıtma ve ağartma amaçlarıyla baskın minerali kalsiyum olan bentonit türlerine (Ca-Ben) HCl ve H_2SO_4 gibi kuvvetli asitler ile aktivasyon reaksiyonu uygulanmaktadır. Buradaki amaç, adsorban özelliğini artırmak ve başlıca olarak gıda sektöründeki kullanımını sağlamaktır (Murray, 2007; Tsai ve ark., 2003; Yıldız ve Çalımlı, 2002).

Asit ile bentonit aktivayonu, kristal ağ yapısından Fe^{+2}, Mg^{+2}, Al^{+3} ve diğer katyonların uzaklaştırılması temeline dayanmaktadır. Asit ile aktivasyon reaksiyonu üç temel adımda tamamlanmaktadır. Bunlardan ilki kalsit benzeri safsızlıkların asit ile reaksiyonu sonucunda sistemden uzaklaşması, ikincisi Ca^{+2} katyonlarının asitten (HCl veya H_2SO_4) gelen H^+ katyonu ile yer değiştirmesi ve üçüncü adım ise bentonit mineralinin oktahedral tabakasında yer alan Fe^{+2}, Al^{+3} ve Mg^{+2} iyonları ile tetrahedral tabakada yer alan Al^{+3} iyonlarının asit ile reaksiyonu sonucu sistemden uzaklaşması olarak ifade edilmektedir (Clarke, 1985; Vatansever, 2009). Aktivayon işlemi sırasında bentonitin yapısı bozulmadan yüzey alanında artış meydana gelir, porozitesi artar ve adsorban özelliği gelişir. Ayrıca aktivasyon esnasında tabaka ağ yapısında bozulma meydana gelmemektedir. Bu sayede adsorban ve katalizör olarak kullanılabilirliği gelişmektedir (Grim, 1962; Rhodes ve Brown, 1992; Chirstidis ve Scott, 1997).

Asit ile aktivasyon işlemi, yaş ve kuru metot olmak üzere iki farklı yol ile yapılabilmektedir. Yaş metot, aktivasyon öncesi farklı derişimlerde seyreltilen HCl ya da H_2SO_4 sulu solüsyonuna bentonitin ilave edilmesi prensibine dayanmaktadır. Kuru metot ise bentonitin asit-su solüsyonu kullanılarak yoğun kıvamlı hamur haline getirilmesi prensibine dayanmaktadır. İki metotta da ısıtma işlemi uygulanarak reaksiyonun hızlandırılması gerekmektedir. Reaksiyon aşamasında asit, süspansiyon ya da hamur halinde olan bentonit partiküllerine ulaşarak kristal ağ yapısı ile temas etmektedir. Elektriksel yük dengeleri de dikkate alındığında öncelikle kristal yapının uç kısımları ile temas etmektedir. Aktivasyonun devamında oktahedral yapıda yer alan katyonlar (Fe^{+2}, Al^{+3}, Mg^{+2}) asit ile reaksiyona girerek tuz halinde kristal yapıdan uzaklaşmaktadır. Bu esnada kristal tabakada yer alan Ca^{+2} değişebilir katyonları kristal yapıdan uzaklaşan katyonların yerini alarak reaksiyon tamamlanmış olur. Bu değişim oktahedral tabakada yer alan tüm katyonlar ile gerçekleşmesine rağmen yer değişimi genellikle Al^{+3} ve Ca^{+2} katyonları arasında meydana gelmektedir. Açıkta kalan ve yerleşemeyen Ca^{+2} katyonları ise aktivasyonda kullanılan asit türüne bağlı olarak $CaSO_4$ ya da $CaCl_2$ tuzları olarak sistemde etkisiz duruma gelmektedir. Yıkama ve kurutma işlemleri ile bu tuzlar ayrıştırılarak yığın yoğunluğu düşük aktivasyonlu bentonit kullanım amacına uygun hale gelmektedir (Çakıcıoğlu ve ark., 1985; Steudel ve ark., 2009).

ISBN: 978-625-6971-84-4

Bentonitin asit ile aktivasyonu, belirli şartlar altında yüksek verimde gerçekleşebilmektedir. Adsorban ve katalizör özelliklerini geliştirmek için asit aktivasyonu uygulanan bentonitler, oktahedral tabakada yer alan katyonların yarısı ve daha fazlasının kristal ağ yapısından uzaklaştırılması sonucunda yüksek verimlilikte bir değere ulaşmaktadır. Bu katyonların yarısından fazlası kristal yapıdan uzaklaştırılmadığı durumda nihai bentonitin tepkimeleri hızlandırıcı katalizör etkisi, ağartıcı ve berraklaştırıcı özelliği düşük olmaktadır (Yalçın ve Özbilge, 1985; Kılınç, 2010).

Karboksimetil Selüloz (CMC) ile Aktivasyon

Sondaj çamurlarında akış özelliklerini iyileştirmek, viskozite artırmak ve filtrasyonu azaltmak amacıyla düşük viskoziteli (LV) ve yüksek viskoziteli (HV) karboksimetil selüloz (CMC) katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ca-Ben ve Na/Ca-Ben tipi bentonitlerin Na-Ben formuna gelebilmesi amacıyla uygulanan bu aktivasyon yöntemi, alkali (soda) aktivasyonu ile benzer özellik göstermektedir (Seçkin ve Köytepe, 2006; Benslimane ve ark., 2016; Akbulut, 1996).

Na^{+} ve Ca^{+2} iyonlarının yer değiştirmesi temeline dayanan bu aktivasyon türü hem kuru mekanik karıştırma hem de nemlendirilerek koyu kıvamlı hamur hazırlanarak yapılabilmektedir. Kuru mekanik karıştırma yöntemi ile aktivasyonda reaksiyon daha yavaş gerçekleşmektedir. Diğer yöntem ise alkali (soda) aktivasyonu ile aynı reaksiyon adımları ile gerçekleştirilmektedir. Anyonik karakterde olan CMC, bentonitin sulu süspansiyonlarında zeta potansiyeline pozitif etki yaparak süspansiyonun stabilitesini artırmaktadır (Avcı, 2009; Kök, 2017).

Aktivasyon esnasında Ca-Ben ya da Na/Ca-Ben minerallerinin yüzey adsorpsiyon özellikleri önemli rol oynamaktadır. Bu aktivasyon türündeki amaç, bentonitin Na^{+} miktarını artırmak olduğundan, CMC haricinde çok nadir durumlarda poliakrilamit, polianyonik selüloz veya poliamin gibi polimerler de kullanılabilmektedir. Ancak en yaygın aktivasyon CMC ile yapılmaktadır. Aktivasyon reaksiyonu sonucu elde edilen Na-Ben, yaygın olarak sondaj çamurlarında viskozite artırıcı ve filtrasyon düşürücü katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Çetinel, 2008; Çinku, 2008).

Organik Aktivasyon

Organik aktivasyon, genellikle sodyum tipi bentonitlere (Na-Ben) uygulanan bir aktivasyon yöntemi olup, alkilamin ve türevi organik bileşenler ile temelde iyon değiştirme esasına dayanan bir aktifleştirme reaksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Organik aktivasyon sonrası ende edilen ürüne ‘organik kil (organoclay)’ adı verilmektedir. Organik aktivasyon sonucu elde edilen organik killer

özellikle boya endüstrisinde solvent bazlı boya üretimi, pigment süspansiyonu, damla kontrolü, viskozite sağlayıcı ve yoğunluk artırıcı reolojik katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Kılınç, 2010; Vatansever, 2009).

Organik aktivasyon, Na-Ben tipi bentonit minerallerinin kuaterner amonyum tuzları (QAT) ve silan bileşikleri ile reaksiyon sonucu gerçekleşmektedir. Hidrofilik özellikteki bentonitin şişme özelliği öncelikli olmak üzere tiksotropi, viskozite ve reolojik faktörleri gibi özelliklerinden organik sıvılarda da verim sağlayabilmek için farklı zincir uzunluklarına sahip organik katyonlar (alkil amonyum tuzları) ile gerçekleştirilen bir reaksiyondur. Hem QAT hem de silan bileşikleri oldukça geniş bir çeşitliliğe sahip oldukları için, aktivasyon reaksiyonu sonucu elde edilen organik killer de farklı özelliklerde olmaktadır (Kocakuşak ve ark., 1997; Avcı, 2009).

Na-Ben sulu süspansiyonları, içeriğindeki Na^+ katyonu sebebiyle hidrofilik davranış sergileyerek yüksek şişme özelliği göstermektedir. Yüksek şişme özelliği sayesinde ise değişebilen katyonlar arasında olan Na^+, QAT yapısında bulunan organik moleküller ile yüksek oranda yer değiştirerek aktivasyonu tamamlamaktadır (Liang ve ark., 2015). İyon değişimine dayanan reaksiyon mekanizması aşağıda verilmiştir.

$$[(R_4)N]^+Cl^- + \text{Na-Ben} \Rightarrow [(R_4)N]^+ \text{Bentonit} + NaCl$$

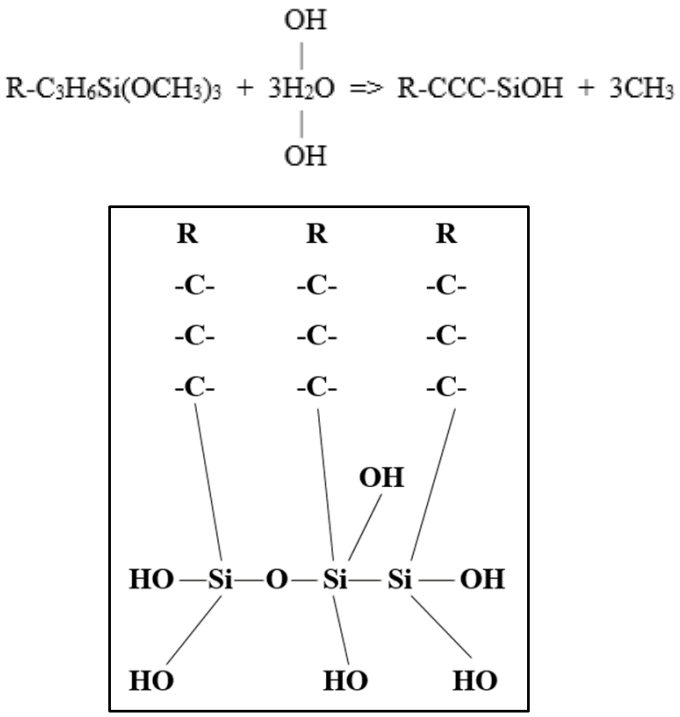
(QAT) **(Organoclay)**

Verilen reaksiyon mekanizmasında alkik grubu ile Na^+ inorganik katyonu yer değiştirerek Na-Ben organofilik hale gelmektedir. Ayrıca reaksiyon sonucunda tuz oluşmaktadır (Yıldız ve ark., 2006).

Organik aktivasyon ile organoclay elde etmenin bir başka yolu da silan bileşikleridir. Aktivasyon reaksiyonu genellikle alkoksi silanlar kullanılmaktadır ve bu işlem 'Silanlama' olarak adlandırılmaktadır. Silanlama kısaca şişme kapasitesi yüksek Na-Ben tipi bentonitlerin polar uzun zincirli organik yapıdaki silan bileşikleri ile kaplanarak hidrofobik özellik kazandırılması olarak ifade edilebilmektedir. Aktivasyon reaksiyonu sonucu elde edilen hidrofobik organik bentonitin kristal ağ yapısına solvent türevi organik moleküller girebilmekte ve jel yapılı aktive ürün oluşturmaktadır. Bu ürün, organik malzemelerin bulunduğu süspansiyonlarda tiksotropi sağlayıcı katkı malzemesi olarak kullanılabilmektedir (Avcı, 2009; Çinku, 2008; Kök, 2017).

ISBN: 978-625-6971-84-4

Silanlama ile aktivasyon esnasında silan bileşiklerinin Na-Ben yüzeyine bağlanabilmesi için bazı reaksiyonların gerçekleşmesi gerekmektedir. Meydana gelen ilk reaksiyon aşağıda reaksiyon mekanizması verilen Na-Ben yüzeyinde oluşan aktif trisilanol gruplarıdır. Oluşan bu gruplar, Na-Ben yüzeyindeki hidroksil guplarıyla kuvvetli H^+ bağı kurmaktadır. Aktivasyonun devamında ise bu gruplarla da ayrı bir reaksiyon gerçekleşmektedir. Ayrıca, N-Ben yüzeyine bağlanmış durumda olan trisilanol grupları, kendi aralarında da bir reaksiyon göstererek Na-Ben yüzeyinde organik bir tabaka meydana getirmektedir (Vatansever, 2009; Çinku, 2008; Çetinel, 2008). Tabaka şeklinde oluşan moleküller Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Bentonit-Silan Tabakası (Kök, 2017)

Silanlama ile aktivasyon esnasında Na-Ben etrafında oluşan silan tabakası bazı durumlarda Şekil 1'de verildiği gibi mono moleküler yapı yerine kalın bir tabaka halinde de olabilmektedir. Bu durum, silanlama işlemi esnasında ortamdaki su miktarının reaksiyonun gidişatını etkileyebileceğini ifade etmektedir. Su miktarının yetersiz olduğu durumlarda silanlama işlemi verimli düzeyde olmamaktadır. Fazla olduğu durumlarda ise reaksiyon esnasında oldukça fazla trisilanol grubu oluşmasına ve kendi aralarında etkileşim göstererek aktivasyonun başarısız olmasına sebep olmaktadır (Kocakuşak ve ark., 1997; Kılınç, 2010).

QAT ile aktivasyon yöntemi hem daha düşük maliyetli hem de daha kolay bir aktifleştirme yöntemi olduğu için silanlamaya göre daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, elde edilen organik yapılı bentonitler kullanılan QAT ve silan bileşiklerinin çeşitliliği sebebiyle geniş bir kullanım alanına yayılmaktadır. Dolayısıyla, bazı durumlarda özel kullanım amacından dolayı silanlama yöntemi QAT ile aktivasyon yöntemi yerine kullanılmaktadır (Vatansever, 2009).

Yüzey Aktif Maddeler ve Diğer Bileşikler ile Aktivasyon

Yüzey aktif maddeler ve diğer bileşikler ile gerçekleştirilen aktivasyon türünde diğerlerine kıyasla çok daha fazla ve farklı kimyasal bileşikler kullanılmaktadır. Bu bileşikler, bentonitin su bazlı süspansiyon sistemlerinin kullanım amacına göre belirlenmektedir. Ancak genel ifade ile alüminyum ve magnezyum tuzları ile oksit ve hidroksitli bileşikler temel aktivasyon katkıları olarak kullanılmaktadır (Salihi ve Mahramanlıoğlu, 2014; Avcı, 2009; Kılınç, 2010).

Yüzey aktif maddeler genel olarak su bazlı bentonit sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu sistemlerin en önemli kullanım alanı ise sondaj sektörüdür. Sondaj sektöründe çamur adı verilen bentonit katkılı süspansiyonların Amerikan Petrol Enstitüsü (API) standartlarına uygun reolojik özelliklerde olması amacıyla aktivasyon işlemi yapılmaktadır. Bu aktivasyon işlemleri çoğunlukla suda çözünen polimerler ve sodyum karbonat ya da sodyum bikarbonat bileşikleri ile organik ve alkali aktivasyon yapılmaktadır. Bentonit süspansiyonlarının suda çözünebilen polimerler ya da farklı bileşik türleri ile aktivasyonu sonucunda viskozite ve tiksotropi artışı ile filtrasyon azalımı gibi reolojik özellikler geliştirilmiştir (Burdick, 2002; Swanson ve Okla, 1970). Ancak bu aktivasyon türleri her zaman istenilen başarıda gerçekleşmemektedir. Polimerler ve organik bileşikler ile yapılan aktivasyon işlemlerinde 120^0C ve daha fazla sıcaklıklar ile yüksek türtünme kuvvetinin meydana geldiği durumlarda yapısal bozulmalar meydana gelerek reolojik özellikler API standartlarını karşılamamaktadır. Ayrıca hazırlanan süspansiyonların depolanma koşulları da bakteriyel bozulmalar sonucunda zorlaşmaktadır. Bu sebeplere bağlı olarak inorganik bileşikler ile çözüm sağlanabilmektedir. Ancak maliyet artışı meydana geldiği için aktivasyon sonucu elde edilen ürün ya da ürünlerin kullanım alanı sınırlı kalmaktadır (Kocakuşak ve ark., 1997; Çinku, 2008; Çetinel, 2008).

KAYNAKLAR

Akbulut, A., 1996. Bentonit. MTA eğitim serisi no:32, Ankara.

Avcı, S.B., 2009. Soda ve MgO ile Aktiflendirilmiş Aratip Bentonitlerin Sondaj ve Döküm Bentoniti Karakteristiklerinin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,117 s.

Benslimane, A., Bahlouli, I. M., Bekkour, K., and Hammiche, D., 2016. Thermal Gelation Properties of Carboxymethyl Cellulose and Bentonite-Carboxymethyl Cellulose Dispersions: Rheological Considerations. Applied Clay Science, 132: 702-710.

Bloodworth A.J., Highley D.E., Inglethorpe, S.D., and Morgen D. J., 1993. Industrial Minerals Laboratory Manual Bentonite. British Geological Survey.

Burdick, C. L., 2002. U.S. Patent No. 6,359,040. U.S. Patent and Trademark Office, Washington, DC.

Christidis, G., and Scott, P.W., 1997. Acid Activation And Bleaching Capacity Of Bentonites From İslands Of Milos And Chios. Aegean, Greece. Applied Clay Science, 12: 329-347.

Clarke, G.M., 1985. Special Clays. Industrial Minerals, 25-51.

Çakıcıoğlu, F., Böke, N., Umaç., ve Peker, S., 1985. Kilin Kuru Yöntemle Asit Aktivasyonuna Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi. II. Ulusal Kil Sempozyumu, Ankara, s.187-203.

Çetinel T., 2008. Ara Ve Ca Bentonitlerin Soda Ve MgO İle Aktivasyonu. Dumlupınar Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, Kütahya,141 s.

Çinku K., 2008. Aktivasyon Yöntemleri ile Bentonitten Su Bazlı Kıvamlaştırıcı Üretiminin Araştırılması. İstanbul Üniversitesi. Doktora Tezi. İstanbul. 296s.

Grim, R.E., 1962. Applied Clay Mineralogy, McGraw-Hill, New York.

Khalifa, A. Z., Cizer, Ö., Pontikes, Y., Heath, A., Patureau, P., Bernal, S. A., and Marsh, A. T., 2020. Advances In Alkali-Activation of Clay Minerals. Cement and Concrete Research, 132:106050.

Kılınç, T., 2010. Farklı Bentonitlerin Fiziksel Ve Döküm Özelliklerinin İncelenmesi. Cumhuriyet Üniversitesi. Doktora Tezi, Sivas, 142 s.

Kocakuşak, S., Akçay, K., Köroğlu, H.J., Yüzer, H., Ayok, T., Savaşçı, Ö.T., ve Tolun, R., 1997. Bentonitlerin, Silanlama Yöntemi ile Tiksotropilerinin Araştırılması. İkinci Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, s.177-186.

Kozak, M., Domka, L. and Skrzypczak, A., 2002. Adsorption of the Quaternary Ammoniumsalts on Bentonite. Physicochemical Problems of Mineral Processing, 36: 299-306.

Kök, O.E., 2017. Nanobentonit Eldesi Ve Karakterizasyonu. İskenderun Teknik Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, Hatay, 87 s.

Liang, H., Long, Z., Yang, S., and Dai, L., 2015. Organic Modification of Bentonite and Its Effect on Rheological Properties of Paper Coating. Applied Clay Science, 104:106-109.

Mingelgrin, U., Kliger, L., Gal, M. and Saltzman, S., 1978. The Effect of Grinding on The Structure And Behaviour of Bentonites. Clays and Clay Minerals, 26: 299-307.

Murray, H.H., 2007. Applied Clay Mineralogy: Occurrences, Procesing and Application Kaolins, Bentonites, Palygorskite-Sepiolit, and Common Clays, Developments in Clay Science 2. Elsevier Publishing Company, 180 s.

Rhodes, C.N., and Brown, D.R., 1992. Structural Characterization and Optimization of Acidtreated Montmorillonite and High-Porosity Silica Supports For ZnC12 Alkylation Catalysts. Journal of Chemical, Faraday Transactions, 88 (15): 2269-2274.

Salihi, E. Ç., and Mahramanlıoğlu, M., 2014. Equilibrium And Kinetic Adsorption of Drugs on Bentonite: Presence Of Surface Active Agents Effect. Applied Clay Science, 101: 381-389.

Seçkin T., ve Köytepe S., 2006. Poliimit-Smektit Nanokompozitlerin Hazırlanması ve Fizikokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi, Kil Bilimi ve Teknoloji Dergisi, 1: 7-16.

Steudel, A., Batenburg, L. F., Fischer, H. R., Weidler, P. G., and Emmerich, K., 2009. Alteration of Swelling Clay Minerals by Acid Activation. Applied Clay Science, 44(1-2):105-115.

Swanson B. L., and Okla B., 1970. Drilling Fluids, US3525688. US-Patent Office.

Tsai, W.T., Lai, C.W., and Hsien, K.J., 2003. Effect of Particle Size of Activated Clay on the Adsorbtion of Paraquat From Aqueous Solution. Journal of Colloid and İnterface Science, 263: 29-34.

Tüysüz E., 2016. Çankırı-Eldivan Yöresi Bentonitinin Döküm Kalıp Kumu Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,69 s.

Vatansever, A., 2009. Reşadiye Bentonitinden Organofilik Bentonit Sentezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,121 s.

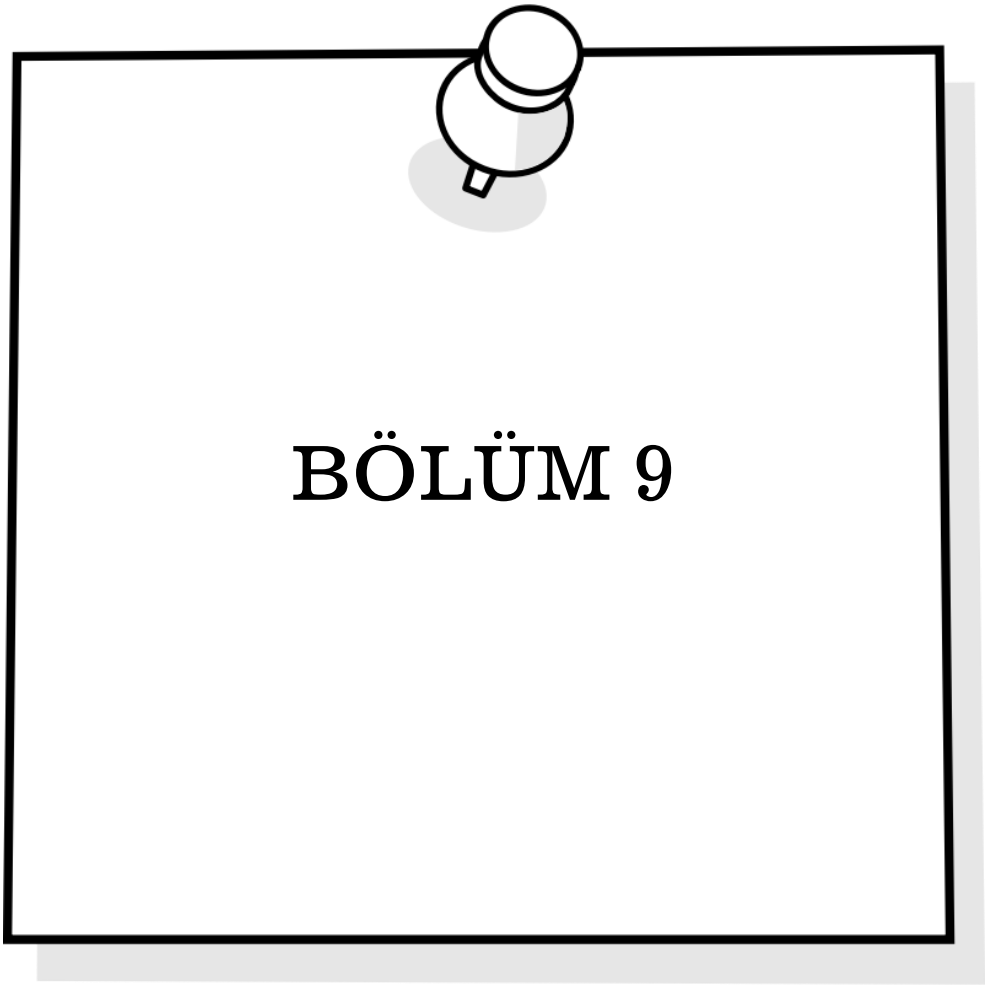
Yalçın, S., ve Özbilge, Ö., 1985. Bentonitin asit ile aktifleştirilmesi. II. Ulusal Kil Sempozyumu.

Yıldız, N., and Çalımlı, A., 2002. Alteration of Three Turkish Bentonites by Treatment with Na2CO3 and H2SO4. Turkish Journal of Chemistry, 26: 393-401.

ISBN: 978-625-6971-84-4

Yıldız, N., Çalımlı, A., and Sarıkaya, Y., 1999. The characterization of Na2CO3 Activated Kütahya Bentonite. Turkish Journal of Chemistry. 23 : 309 - 317.

Yıldız, N., Gönülşen, R., ve Çalımlı, A., 2006. Tek ve Çift Katyonlu Organobentonitlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu. Kil Bilimi ve Teknoloji Dergisi, 2: 21-33.



BÖLÜM 9

ISBN: 978-625-6971-84-4

AVİYONİK SİSTEMLERDE BLOK ZİNCİRİ TEKNOLOJİSİ

Harun ÇELİK[1]

Ayşenur SAYIL[2]

1. GİRİŞ

Aviyonik kelimesi, havacılık elektroniği (aviation electronics) kelimelerinin birleştirilmesiyle türetilmiştir. Aviyonik sistemler hava araçlarının uçuşunu daha güvenilir, daha düşük maliyetle ve daha kolay gerçekleştirebilmeleri için kullanılan elektronik sistemlerdir. Uçak gibi bir hava aracı üretmenin toplam maliyetinin sivil uçaklar için %35-40, askeri projeler için ise %50'den fazlasını aviyonik sistem geliştirme maliyetleri oluşturmaktadır (Fedosov, Koverninsky, Kan, Volkov, & Solodelov, 2017). Hava araçlarında farklı görevleri yerine getiren birçok elektronik sistem bulunabilmektedir. Bu farklı sistemlerin birbirleriyle entegre olarak çalışmalarını sağlamak son yıllardaki önemli araştırma alanlarından biridir. Bu amaçla oluşturulan entegre modüler aviyonik (Integrated Modular Avionics, IMA) mimarileri daha yüksek düzeyde performans ve sistem kapasitesi sağlamaları, daha fazla donanımın birbirini destekleyerek kullanılabilmesi ve daha düşük bakım-onarım emeği gerektirmesi sayesinde aviyonik sistem maliyetini oldukça düşürmekte ve bu düşüş genel maliyete de önemli katkı sağlamaktadır (Gaska, Watkin, & Chen, 2015). Bunun yanı sıra IMA konsepti sayesinde çok sayıdaki donanımın ve hat üzerinde değiştirilebilir birimlerin (Line Replaceable Unit, LRU) vazifesi, daha az sayıda ve daha merkezi işlem birimleriyle başarılabilmekte, böylece askeri ve ticari hava platformlarında önemli düzeyde ağırlık azaltımı ve bakım tasarrufu sağlanabilmektedir.

Helikopterler de dâhil olmak üzere farklı hava araçlarında herhangi bir yapısal değişiklik gerekmeksizin aynı aviyonik sistemlerin kullanılabilmesi, eklenen yeni sistemlerin eski sistemlerle uyumlu olarak çalışabilmeleri, ortaya çıkacak hataların ek bir teçhizata ihtiyaç duyulmadan sistem içerisinde bulunan fonksiyonlarla tespit edilebilmesi hedeflendiğinden (Collinson, 2011) bu hedefleri gerçekleştirebilen entegre aviyonik sistem kullanımı da gün geçtikçe artmaktadır.

[1] Uzay Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, ORCID: 0000-0001-5352-3428
[2] Otonom ve Zeki Sistemler Laboratuvarı, Erciyes Üniversitesi, ORCID: 0000-0001-7788-6610

Diğer taraftan aviyonik sistemlerde veriye dayalı karar oluşturma; verinin kullanılabilirliği, tutarlılık ve kesinlik düzeyi gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Pilotsuz uçan hava araçlarının yaygınlaşması havacılık endüstrisinde veri yükünü ciddi boyutta arttırmakta ve büyük boyutlara ulaştığı durumda bu veriler tutarsız olabilmektedir (Alladi, Chamola, Sahu, & Guizani, 2020). Dolayısıyla bu durum, uçağın uçuşa elverişlilik seviyesini, emniyetini ve finansmanını etkileyebilmektedir. Uygulanan yöntemler sistemlerin çok fazla karmaşık hale gelmesine, ortaya çıkan hatalarda sorumlu tarafın kim olduğunun belirlenmesinin zorlaşmasına ve birçok alandaki tasarım mühendislerinin birlikte çalışmalarının zorunlu hale gelmesine neden olduğundan hava araçlarında aviyonik sistem kullanımı kısıtlanabilmektedir.

Blok zinciri teknolojisinde aviyonik sistemleri temel hizmetler konusunda iyileştirebilme, bilgi paylaşımında farklı garantiler sunabilme, güvenliği ve uçuşa elverişlilik seviyesini iyileştirmek için kapsamlı bir veri sağlama kapasitesi bulunmaktadır (Alladi et al., 2020). Blok zinciri, dağıtılmış bir düğüm ağında depolanan, merkezi olmayan, dağıtılmış ve değişmez bir işlem kaydıdır. Hata yapmadan çalışabilen blok zinciri teknolojisi merkezi kayıt tutan teknolojilerle karşılaştırıldığında verilerin şeffaflığını sağlamak gibi önemli avantajlar sunmaktadır (Ahmad et al., 2021). Düğümler veya taraflar arası ağları kriptografik algoritmalarla birleştirerek, bir grup kullanıcının belirli bir durum üzerinde bir anlaşmaya varabilmesini ve bir kontrol otoritesine ihtiyaç duymadan bu anlaşmayı kaydedebilmesini sağlamaktadır (Mehta, Gupta, & Tanwar, 2020). Teknolojik sistemlerin artmasıyla iletişim sinyallerinin birbirine karışmasının yanı sıra, üçüncü kişiler tarafından karıştırılması, verilere dışarıdan müdahale edilerek bozulması, müdahaleler sonucu veri bütünlüğünün sağlanamaması ve hatta hava araçlarının kaçırılması gibi tehditlerin artmasına neden olmaktadır. Blok zinciri teknolojisi, sistemler arasında iş birliğini kolaylaştırmak için güven oluşturabilmektedir.

Bu özellikleri sayesinde blok zinciri teknolojisinin aviyonik sistemlere uygulanması, uçuş operasyonlarının daha güvenli, özerk, esnek ve uygun maliyetli hale getirilmesini sağlayabilir. Günümüzde, hem hava aracı teknolojilerine yapılan yatırımlar hem de hava araçlarına karşı geliştirilen savunma teknolojileri, farklı teknolojiler arasındaki iletişim güvenliğinin sağlanması ihtiyacını önemli kılmaktadır.

Bu bölümde, aviyonik sistemler ile blok zincirinin yapısı ve türleri tanıtıldıktan sonra aviyonik sistemlerde sunulan temel hizmetler, haberleşme, seyrüsefer, uçuş yönetim sistemleri ile bunlarla ilgili problemlerden hangilerinin çözümünde blok zincirinin kullanılabileceği ve hangi yeni kabiliyetlerin

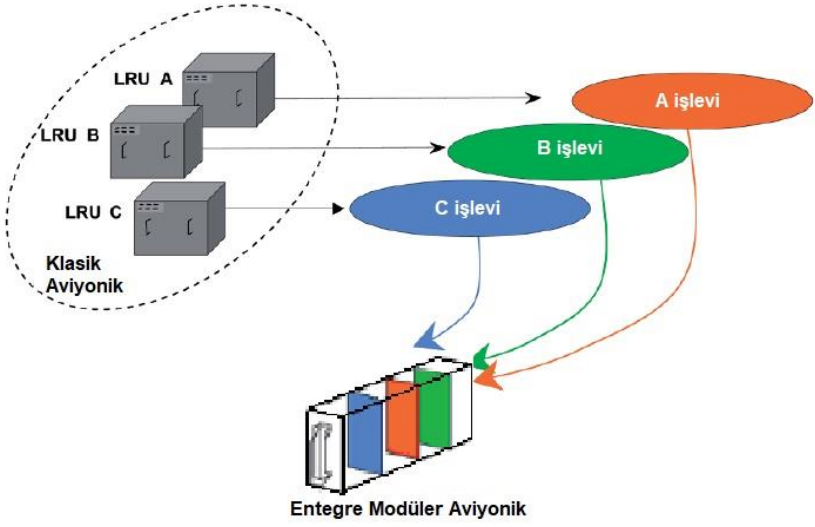
kazandırılabileceği irdelenmektedir. Blok zinciri teknolojisini kullanmanın nasıl bir fayda sağlayacağı, bu teknolojiyi kullanmanın etkili olmayacağı problem yapıları, blok zincirinin aviyonik sistemlerde kullanımının faydaları ile sınırları açıklanmaktadır. Bu açıklamalar belirli bir aviyonik sistem veya hava aracı özelinde yapılmayıp temel konular genelinde ele alınmaktadır. Ayrıca örnekler verilirken daha özel yöntemlere de başvurulmaktadır. Örneklerin bu şekilde bir hava aracına özel olduğu durumda da konunun anlaşılması, blok zincirinin farklı hava aracı problemlerine de nasıl uygulanabileceğine dair ufuk açmaktadır. Bu sayede henüz oldukça yeni bir teknoloji olan blok zincirinin tüm aviyonik sitemler açısından nasıl kullanılabileceği veya neden kullanılmaması gerektiği genel hatlarıyla tartışılmakta ve bu alanda çalışanlara rehber bir araştırma sunulmaktadır.

2. AVİYONİK SİSTEMLER

Aviyonik sistemler, uçak ve hava taşıtları işletilirken farklı birçok görevin ifasında kullanılan elektronik sistemlerdir. Gün geçtikçe gelişmekte olan bu sistemler arasında uçak yönetim sistemleri, seyrüsefer sistemleri, hava veri sistemleri, uçuş kontrol sistemleri, hava arama ve kurtarma sistemleri, hava trafik kontrol sistemleri, çarpışma önleme sistemleri gibi farklı sistemler bulunmaktadır. Bu sistemler uçak ve hava taşıtlarının güvenli ve etkili bir şekilde uçmasını sağlamaktadır (Kayton & Fried, 1997). Hava aracında bu kabiliyetleri sağlayan aviyonik sistemler, tüm alt sistemleri ile birlikte mimari bir yapı oluşturmaktadır. Bu mimari yapı içerisinde veri iletiminin yapısı, verilerin işlenme şekli, veri yolları, kullanılan sensörler ile mimari yapının kapladığı yer ve ağırlığı; aviyonik sistemin performansını, kapasitesini ve maliyetini doğrudan etkilemektedir. Sistem mimarisini etkileyen bu temel işlevlerin yanında hava aracında uygulanan son teknolojilerle mimariye yeni işlevsellikler de eklenebilmektedir.

Bir aviyonik sistemde, temel işlevlerin her birinde sağlanacak ilerlemeler aviyonik açıdan önemli avantajlar sunabilir. Bunu sağlamak için son zamanlarda entegre modüler aviyonik mimarilerin büyük önem kazandıkları görülmektedir (P. Han, Zhai, & Zhang, 2020; Wang & Niu, 2018). Bu mimariler sayesinde aynı aviyonik sistemin farklı hava araçları için değişiklik gerektirmeden uygulanabilmesi, eklenen yeni sistemlerin eski sistemlerle uyumlu olarak çalışabilmesi, ortaya çıkan arızaların ek bir teçhizata ihtiyaç duyulmadan sistemin kendi içerisinde bulunan fonksiyonlarla tespit edilebilmesi hedeflenmektedir. Bu bağlamda daha hızlı ve gelişmiş veri yolları oluşturulmakta veya Şekil 1'de

gösterildiği gibi klasik bağlantı elemanları olan LRU'lar modüler olarak tasarlanmaktadırlar (Collinson, 2011). Ancak bu yöntemler sistemlerin çok daha karmaşık hale gelmesine, ortaya çıkan hatalarda sorumlu tarafın kim olduğunun belirlenmesinin zorlaşmasına ve birçok alandaki tasarım mühendislerinin birlikte çalışmalarını zorunlu kılmaya neden olduğundan hava aracında uygulanabilirliği zor ve kısıtlı olmaktadır.



Şekil 1. Aviyonik sistemlerin entegre edilmesi

Teknolojinin sürekli ilerlemesine ve nesneler/teçhizatlar arası iletişimin artmasına paralel olarak modern hava araçlarında da aviyonik sistemlerin artık sınırlı etkileşimli bir sistem olarak kullanılmasından öte diğer aviyonik sistemlerle eşgüdümlü olarak birlikte ve çok daha verimli çalışması için birçok araştırma yapılmaktadır (Chen, Du, & Han, 2016; S. Han & Jin, 2014; Miller, Cofer, Sha, Meseguer, & Al-Nayeem, 2009). Bu araştırmaların ana hedefinde hava araçlarında bulunan elektronik sistemlerin uyum içinde ve birlikte çalışabilecekleri sistemler tasarlamak ve son teknolojilerin uygulandığı yeni mimariler oluşturmak bulunmaktadır. Dolayısıyla aviyonik sistemler sınırlı etkileşimli bir sistem olmaktan öte IMA'da olduğu gibi tüm aviyonik sistemlerin birbirleriyle eşgüdümlü çalıştıkları, yeri geldiğinde iki sistem arasında bir bağlantı olmasa dahi başka bir sistemi aracı yaparak iletişim kurabildikleri, uçuş yönetim sistemi gibi aviyonik sistemlerin yönetim fonksiyonunun çok daha geliştiği bir konuma gelmektedir.

Hava aracı aviyonik sistemleri arasındaki ARINC veya MIL-STD ile belirlenen standartlardaki dahili veri akışı ile uçuş veri kayıt (Flight Data Recorder, FDR) sistemlerinin güvenliği kadar dış aviyonik sistemlerle (hava trafik kontrolü,

ISBN: 978-625-6971-84-4

çarpışma önleme sistemleri gibi) olan bağlantılar da modern ihtiyaçları karşılayacak şekilde yeni yöntemlerin uygulanmalarını zorunlu kılmaktadır. Nitekim gün geçtikçe artan hava aracı trafiği de, hava aracının kendi güvenli uçuşuyla birlikte diğer hava araçları ve yer istasyonları ile sağlıklı bir etkileşim kurmayı gerektirmektedir. Hava aracı sayısı arttıkça trafikte çıkabilecek sorunların risk oranı da artmaktadır. Tüm bu aviyonik sistemlerin gelişiminde blok zinciri teknolojisinin önemli bir rol alabileceği görülmektedir.

3. BLOK ZİNCİRİ TEKNOLOJİSİ

Blok zinciri, tüm verilerin şifreleme yöntemleri kullanılarak merkezi olmayan bir yapıdaki veri tabanında tutulduğu, tutulan kayıtların da değiştirilmesinin çok zor olduğu bir teknolojidir (Juma, Shaalan, & Kamel, 2019). Bu yapıda, her işlem sistemde bloklar halinde tutulmaktadır (Mehta et al., 2020). Karma şifreleme algoritmasıyla oluşturulan her blok kendinden önce oluşturulmuş bloğun bilgilerini tutan şifrelenmiş bir değer de taşımaktadır (Zhu, Zheng, & Wong, 2019). Bloklar bu şifrelenmiş değerlerle birbirine bağlanmakta, her blok önceki bloğun özet (hash) değerine kendi blok başlığında yer vermektedir. Bu sayede, blok zincirinde bulunan herhangi bir özet değerinin değişmesi durumunda ağda bulunan tüm değerlerin değişmesi gerekmektedir (Mehta et al., 2020; Zhu et al., 2019). Birbirini tetikleyen bu durum nedeniyle tüm blok değerlerinin yeniden hesaplaması gerekecektir. Çok büyük boyuttaki yeniden hesaplama işlemi de sistem üzerinde büyük yük oluşturduğundan gerçekleştirilmesi çok zordur. Bu da blok zincirin değiştirilemez olmasını sağlamaktadır (Ahmad et al., 2021). Her bir bloğun bir önceki bloğa ait özet değerini içermesi vasıtasıyla kaydedilmiş işlemlerde kötü niyetli değişiklikler yapılması önlenmektedir (Akleylek & Seyhan, 2018).

Merkezi kayıt tutma biçimleriyle karşılaştırıldığında blok zinciri hem verilerin tam şeffaflığını sağlamakta hem de kötü niyetli girişimleri engellemektedir. Blok zinciri teknolojisi bir yandan taraflar için anonimlik ve güvenlik sağlarken diğer yandan da onay için bir aracıya veya üçüncü bir kişiye olan ihtiyacı ortadan kaldırmaktadır. Örneğin bir veri tabanına yalnızca bir kişi sahip olduğunda yanlışlıkla veya kasıtlı olarak hata yapılma olasılığı bulunmaktadır. Fakat sistemdeki herkes bu veri tabanının bir kopyasına sahipse, yani veri tabanı tek değilse, hile yapmak zorlaşmaktadır. Bu özellikleri barındıran blok zinciri teknolojisinin güvenli, esnek, değiştirilemez, merkezi olmayan ve şeffaf bir veri yapısına sahip olması bu teknolojisinin farklı birçok alanda tercih edilmesine neden olmuştur (Alladi et al., 2020; Zhu et al., 2019). Blok zincirinin bu üstünlüklere nasıl sahip olduğunun anlaşılabilmesi için bu teknolojinin dayandığı temellerin anlaşılması gerekir.

3.1. Blok Zincirinin Yapısı

Blok zinciri yapısı itibariyle veri, ağ, mutabakat, teşvik, sözleşme ve uygulama katmanlarından oluşmaktadır. Veri katmanı, zaman damgalı veri bloklarını içeren blok zinciri mimarisinin en alt katmanıdır (Alladi et al., 2020). Bloklar verilerin saklandığı yapılardır. Blok zincirinde belirli bir işlem depolama kapasitesine sahip bir blok, belirli bir zaman diliminde ağa eklenmek amacıyla oluşturulmaktadır (Güven, 2020). Her bir veri bloğu, blok gövdesi ve blok başlığından oluşmaktadır. Bloğun başlık kısmı ağın versiyonunu, bir önceki bloğa ait özet değerini, Nonce sayısını, zorluk hedefini, oluşturulma zamanını, Merkle kökü değerini barındırmaktadır.

Blok gövdesinde ise veriler tutulmakta ve içerisinde doğrulaması yapılmış işlemler bulunmaktadır. Blok zincirde blok içerisindeki tüm işlemler önce tek tek, sonra da ikişer ikişer özet değeri fonksiyonuna sokulmakta, en son elde edilen özet değeri de Merkle kökü olmaktadır (Aslan & Kasapbaşı). Blok zincirinde her bir blok kendinden önceki bloğun özet değerini içermekte, böylece blok içerisinde saklanan işlemlerin değiştirilmesi ya da silinmesini zorlaştırılmaktadır (Aslan, 2022). Bu sayede herhangi bir saldırganın, blok zincir ağında hedef aldığı blokların içeriklerini değiştirebilmesi için hedef bloklarla birlikte bu blokları takip eden diğer tüm blokları da değiştirmesi gerekmektedir.

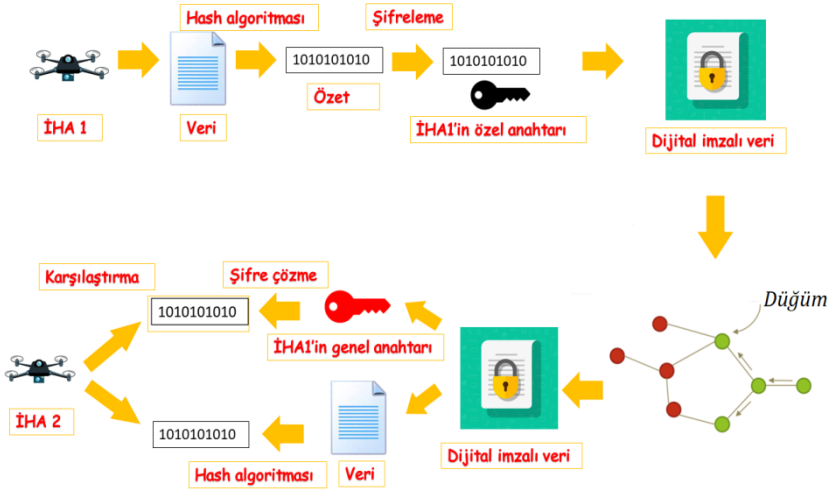
Yapıda yer alan kriptografik özet değeri fonksiyonu, matematiksel fonksiyonlar kullanarak değişken boyutlu işlem girdisinden sabit boyutlu eşsiz değer üreten işlemdir. Herhangi bir veri girdisinde ufak bir değişiklik dahi yapılması tamamen farklı bir özet değerin üretilmesine sebep olmaktadır. Blok içindeki ağın versiyonu, önceki bloğun özet değeri, zorluk hedefi, işlem adedi gibi veriler sabit olduğunda farklı özet değerleri üretebilmek maksadıyla rastgele oluşturulan bir sayı yani Nonce değeri fonksiyona eklenir. Nonce sayı değeri zorluk hedefine göre belirlenen rastgele bir sayı olarak tanımlanabilir. Nonce değerini tek başına bulmaya çabalayan bir tarafın veya düğümün verdiği uğraş bir yıl kadar uzun zaman gerektirebilmekteyken, ağdaki tüm düğümlerin eş zamanlı verdikleri uğraş Nonce değerinin birkaç dakika kadar kısa bir zamanda bulunabilmesini sağlamaktadır. Düğümün işlem gücünün artması veya daha fazla düğümün sisteme eklenmesi ile blokların üretilmesi için gerekli süre oldukça kısalabilmektedir.

Birinin hızlıca Nonce değeri bularak blokları seri bir şekilde eklemesini engellemek için dinamik olarak değişebilen bir zorluk hedefi belirlenmektedir. Şayet ağdaki işlem gücü artar ve blokların eklenmesi belirlenen süreden daha kısa sürerse sistem zorluk seviyesini otomatik olarak artırmakta, ağdaki işlem gücünün azalması ve dolayısıyla blok eklenme süresinin belirlenen süreden daha uzun sürmesi durumunda da sistem zorluk seviyesini azaltmaktadır. Belirlenen zorluk seviyesine göre özet değerinin kaç hanesinin sıfırla başlayacağına yani boyutuna karar verilmektedir.

ISBN: 978-625-6971-84-4

Blok zinciri teknolojisinin ağ katmanı ile de işlemler dağıtılmakta, iletilmekte ve doğrulanmaktadır. Merkezi mimariden farklı olarak genellikle tarafların eşit haklara sahip olduğu (peer-to-peer, P2P) ağlar olarak tasarlanan blok zincirlerinde bir işlem, oluşturulduktan sonra doğrulama için komşu düğümlere yayınlanmaktadır (Alladi et al., 2020). Bu süreç, önceden tanımlanmış özelliklere göre gerçekleştirilmektedir. İşlem doğrulandıktan sonra diğer düğümlere gönderilmekte ve düğümlerin reddetmesi durumunda işlem iptal edilmektedir. Bu da her düğümde yalnızca geçerli işlemlerin kaydedilmesini sağlamaktadır.

Blok zincirinde güvenlik amacıyla asimetrik bir kriptografi mekanizması kullanılmaktadır. Bu sayede yalnızca özel anahtar sahibinin şifreyi çözebileceği şekilde veriler şifrelenebilmekte veya verileri özel bir anahtarla imzalayarak onların güvenilir bir kaynaktan geldiği kanıtlanabilmektedir. Blok zincirinde bu mekanizma kullanılırken bahsedilen bu iki temel kriptografik fonksiyon veri doğrulama ve veri sahipliğinin kanıtı aşamaları olarak adlandırılmaktadır (Kamel Boulos, Wilson, & Clauson, 2018). Bu mekanizmaya bir örnek insansız hava araçları (İHA'lar) üzerinden Şekil 2 ile sunulabilir.



Şekil 2: Blok zinciri ağında veri doğrulanması ve veri sahipliğinin kanıtlanması

Burada İHA 1, İHA 2'ye bir veri göndermek istediğinde, önce verinin özeti oluşturulmakta sonrasında özet sadece İHA 1'de bulunan özel bir anahtarla kilitlenmektedir. Özel anahtar önemlidir ve kimseyle paylaşılmamaktadır. Veri sahipliğinin kanıtı için İHA 1 bu özel anahtarını kullanarak dijital imza oluşturabilmekte ve kendisinin imza sahibi olduğunu kanıtlayabilmektedir. İHA 1 bu dijital imzayı, açık anahtar ve iletilecek belgeyle beraber doğrulama yapılması için tüm ağa yayar. Bu düğüm dijital imza ve genel anahtarı doğrulama algoritmasına so-

kulur. Şifrelenmemiş özet, alınan belgenin oluşturulmuş bir özetiyle karşılaştırılır. Doğrulama işleminin başarılı olarak yapılmış olması için bu karşılaştırma sonucunun eşleşmesi gerekir (Kamel Boulos et al., 2018). Yani İHA 1'in gönderdiği veri başka birinin özel anahtarı ile imzalanmışsa, İHA 1'in genel anahtarı ile doğrulanmayacaktır, sadece İHA 1'in özel anahtarıyla imzalanmışsa doğrulanacaktır. Doğrulama işlemi gerçekleştirildikten sonra işlem bloğa eklenir. Sonrasında madencilik süreci başlar. Yani taraflar matematiksel bir problemi çözmek için yarışmaya başlarlar. Kazanan zincire yeni blok ekleme hakkı elde eder. Eklenen yeni blok ile birlikte her bir düğüm sahip olduğu özeti günceller. İHA 1' den İHA 2'ye veri aktarımı gerçekleşir.

Mutabakat katmanı, blok zinciri ağına katılan güvenilmeyen taraflar arasında bir fikir birliğine varmak için gerekli olan farklı fikir birliği algoritmalarından oluşmaktadır (Kumar, 2021). Katılımcılar arasındaki fikir birliği, merkezi bir varlığa olan ihtiyaçtan kaçınmanın anahtarıdır. Bu nedenle, blok zinciri ilkesinin temelini oluşturmaktadır. Blok zinciri tarafları arasında fikir birliği sağlamak için bazı protokollere ihtiyaç duymaktadır. Pratik Bizans Hata Toleransı (PBFT), İş Kanıtı (PoW) ve Hisse Kanıtı (PoS), Yetkilendirilmiş Hisse Kanıtı (DPoS) fikir birliği algoritmalarının başlıcalarıdır. İş kanıtı (Proof of Work) algoritmasının en düşük hata payına sahip olmasına rağmen enerji verimliliğinin düşük olduğu görülmektedir.

Teşvik katmanı ise düğümler için karşılıklı fayda sağlayan bir plan oluşturmaktadır (Alladi et al., 2020). Sözleşme katmanıyla blok zinciri programlanabilir hale gelmekte ve blok zinciri üzerinde karmaşık işlemlerin gerçekleştirilebileceği farklı komut dosyalarının, akıllı sözleşmelerin ve algoritmaların dahil edilmesini sağlamaktadır (Alladi et al., 2020). Uygulama katmanı havacılık, uzay veya finans, nesnelerin interneti gibi çeşitli pratik alanlardaki uygulamalardan oluşan blok zincirin en üst katmanıdır.

Blok zinciri teknolojisinin önemli uygulamalarından biri de akıllı sözleşmelerdir. Akıllı sözleşme, katılımcılar arasında yapılması düşünülen bir anlaşmanın sözleşmesinin tüm maddelerinin bilgisayarla kodlanması ve bu sayede denetimi dijital ortamda yapılabilen sözleşmeleri mümkün kılmaktadır. Bir akıllı sözleşme, katılımcılar arasında güven oluşturan, önceden belirlenmiş şartlar çerçevesinde yürüyen bir yazılımdır. Akıllı sözleşme, kullanıcıların arasında anlaşmalar yapmasına blok zinciri ağı ile olanak tanımaktadır. Bu sözleşmeler aşağıdan yukarıya inşa edilmiş olan bir Merkle karma ağacı şeklinde tasarlanır. Veri koleksiyonlarını içeren belirli bir blok zincir adresinde kaydedilmiş ve önceden tanımlanmış talimatlar bulundurur. Akıllı sözleşmeler güveni, verimliliği, doğruluğu ve özerkliği arttırmaktadır. Bu özellikleri tarafların üzerinde mutabık kaldığı sözleşmelere noter gibi herhangi bir üçüncü taraf olmadan zor ve uzun işlem sü-

recini kolaylaştırması ve hızlandırması için kullanılmaktadır. Noter gibi onay mekanizmalarının yazılım almaktadır (Oğuzhan & Kiani, 2018). Bundan dolayı, blok zinciri ve akıllı sözleşmelerin birlikte kullanımının merkezi olmayan aviyonik sistemlerde uygulanması, güvenli veri paylaşımı ve erişim yetkisi sağlama kapasitesi sunmaktadır.

3.2. Blok Zincirinin Türleri

Blok zincirlerini herkese açık olanlar, özel olanlar ve iş birlikteliğinde kullanılanlar olmak üzere üç ana sınıfta toplamak mümkündür. Bunlardan herkese açık veya genel blok zincirinde tüm kayıtları herkes görebilmekte ve fikir birliği sürecine katılabilmektedir. Açık blok zincirlerinde katılımcı sayısı çok yüksek olduğu için diğer iki türe kıyasla en yüksek değişmezliğe, fakat daha düşük verimliliğe sahiptir (Alladi et al., 2020). Kripto para teknolojileri tamamen dağıtık yapıdaki herkese açık blok zinciri ağını kullanmaktadır. Herkese açık olmakla ağ, güvenilirliğini yitirmemektedir. Nitekim ağdaki herkesin yaptığı işlemler açıkça görülmekte ancak kişisel bilgiler ise bilinmemektedir (Aslan, 2022).

Özel blok zincirinde sadece bir kurumdan ya da müşteriden gelen düğümlerin ağa ve fikir birliği sürecine katılmasına izin verilmektedir, yani izinli bir fikir birliği sürecine sahiptir. Tamamen tek bir organizasyonun kontrolü altında olduğu için merkezi bir ağ olarak da kabul edilmektedir. Bu tür ağlar yüksek verimliliğe sahiptir, ancak daha az sayıda katılımcı olması nedeniyle veriler halka açık blok zincirlerinden daha kolay değiştirilebilmektedir. İş birliğinin veya konsorsiyum blok zincirinde ise yalnızca birkaç seçilmiş kuruluşun katılmasına izin verilmektedir yani izinli bir fikir birliği sürecine sahiptir. Bu nedenle, kısmen merkezi olmayan bir sistemdir. Aynı zamanda yüksek verimliliğe sahiptir, değiştirilebilme veya karıştırılabilme yönünden herkese açık blok zincirleri kadar olmasa da özel blok zincirlerinden daha güvenilirdir (Alladi et al., 2020). Blok zinciri türlerine kullanılacağı sistemlere ve kullanım amaçlarına göre karar verilmesi gerekmektedir.

4. AVİYONİK SİSTEMLERDE BLOK ZİNCİRİNE OLAN İHTİYAÇ

Aviyonik sistemler arasında merkezi ve öncü bir konumu olan uçuş yönetim sistemi (flight management system, FMS) hava aracında temel denetim birimi olarak işlev görmektedir. Modern hava araçlarında nesneler arası iletişimin artması FMS'yi sadece sınırlı etkileşimli bir sistem olmaktan çıkarmıştır. Böylece, FMS diğer aviyonik sistemlerle verimli bir şekilde eşgüdümlü çalışabilmektedir (Chen et al., 2016; S. Han & Jin, 2014). Gelişmiş bu FMS'lerde blok zinciri teknolojisi de hava araçlarında yolculuk ve uçuş güvenliğini artırmaya yardımcı olacak şekilde kullanılabilmektedir. Blok zinciri teknolojisine sahip FMS sistemleri

sayesinde uçakların bakım ve onarım geçmişi izlenerek uçakların daha güvenli bir şekilde uçması sağlanmaktadır. Ayrıca bu tür FMS'ler ile hava trafiği yönetim sistemleri aracılığıyla, uçuş güzergâhlarının tasarımı, uçuş izleme sistemleri ve uçuş kontrol sistemleri gibi birçok farklı sistem eşgüdümlü çalışabilmektedir (Clementi, Larrieu, Lochin, Kaafar, & Asghar, 2019).

Sivil havacılıkta gelişen aviyonik sistemlerden biri de Otomatik Bağımlı Gözetleme Yayını (ADS-B) teknolojisidir, bazı ülkelerde bu teknolojinin kullanımı zorunlu hale getirilmiştir. ADS-B uçakların pozisyonunu, hızını ve diğer yolculuk bilgilerini gerçek zamanlı olarak iletmek için kullanılan bir teknolojidir. Bu teknoloji, GPS veya GLONASS gibi konum belirleme sistemleri kullanarak uçağın pozisyonunu belirlemekte ve bu bilgiyi hava trafik kontrolörüne ile diğer uçaklara iletmektedir. Bu sayede, hava trafik kontrolörü daha etkili bir şekilde uçakların yönünü ve hızını yönetebilmekte ve uçaklar arasındaki potansiyel çarpışma riskini azaltabilmektedir.

Öte yandan bu teknoloji aynı zamanda güvenlik riskleri de taşımaktadır. Örneğin, gönderilen bilginin sahte olması ve değiştirilmesi, bilginin yanlış yönlendirilmesi veya gönderimin engellenmesi, gecikmesi gibi problemler mevcuttur. Bu nedenle, ADS-B sistemi kullanılırken güvenliğin sağlanması için önlemler alınmalıdır. Uçakların konum bilgisinin blok zinciri ile saklanıp kaydedilmesi ile sistemin güvenliğinin arttırılması mümkündür (Gaska et al., 2015). Seyrüsefer iletişiminde gecikmenin azaltılıp, az gecikmeyle iletişim güvenliğini sağlamak için akıllı sözleşmeli bir blok zinciri kullanılabilmektedir (Blasch, Xu, Chen, Chen, & Shen, 2019).

Ülkemizdeki kayıtlı sivil hava araçlarının sayısı son yirmi yılda yüzlü rakamlardan atmış binin üzerine çıkmıştır. Başta insansız hava araçları olmak üzere sayı her geçen gün daha fazla artmaktadır. Aviyonik sistemlerin kullanıldığı hava araçlarının önemli bir kısmını da İHA'lar oluşturmaktadır. İHA'lar uçuş görevlerinde yük taşıyabilen, uzaktan kumanda istasyonları tarafından veya otonom bir şekilde yönlendirilen robotik araç sınıfı olarak tanımlanmaktadır. 2030 yılına kadar Japonya topraklarında günlük olarak yaklaşık 210 000 adet İHA ile devriye gezmeyi planlamaktadır (Yaguchi & Wakazono, 2021). İHA'ların birçok alanda kullanımı verimlilikte artış sağlarken, aynı zamanda güvenilmeyen üçüncü şahıslardan gelen siber tehditlere ve saldırılara da kapı açmaktadır.

Hava aracı sayısı arttıkça aralarındaki iletişim, güvenlikleri, hava veri güvenliği, veri depolama ve yönetimi gibi hava aracı ağlarındaki çeşitli sorunlar da artmaktadır. Hava araçları kaybolmaya, yok edilmeye veya kaçırılmaya karşı savunmasız kalmaktadır (Alladi et al., 2020; García-Magariño, Lacuesta, Rajarajan, & Lloret, 2019). Farklı görevleri birlikte icra ederken grup üyeleri arasındaki iletişim dış müdahalelere açık hale gelebilmektedir (Millard, Timmis, & Winfield, 2013). Grup veya sürü hava aracı sistemleri de dahil olmak üzere herhangi bir

ortamda güvenlik, temel olarak verinin gizliliği ve doğruluğu, varlık kimlik doğrulaması ve veri kaynağı kimlik doğrulaması gibi temel hizmetlerin sağlanması ile ilgilidir. Bu tip güvenlik sorunlarına pratik çözümler bulma konusunda ise sıkıntı yaşanmaktadır (Higgins, Tomlinson, & Martin, 2009). Blok zinciri teknolojisi bu sorunlara ve zorluklara çözüm sunacak bir yol olarak görülmektedir. Blok zinciri şifreleme şemasında, açık anahtar ve dijital imza kriptografisi gibi teknikler, yalnızca güvenli olmayan ve paylaşılan kanalları kullanarak işlem yapmanın değil, aynı zamanda bir ağdaki belirli aracıların kimliğini kanıtlamanın da yöntemleridir (Ferrer, 2016). Blok zinciri teknolojisi hem hava araçlarına güvenilir bir düğümler arası iletişim kanalı sağlama hem de farklı tehditlerin, güvenlik açıklarının ve saldırıların üstesinden gelme potansiyeline sahiptir.

4.1. Uçuş Güvenliği

Uçuş yönetim sistemi, uçuş bilgilerinin aktarılmasını sağlayan haberleşme sistemleri ile hava trafik yönetimi uçuş güvenliği açısından en önemli aviyonik sistemleri oluşturmaktadır. Uçuş yönetim sistemi (FMS) gibi aviyonik sistemler, yakıt ve zaman tasarrufu açısından en verimli uçuşun hesaplanması, uçuş planının oluşturulması ve pilotların navigasyon sistemi ile uçuş hazırlığında işlerini kolaylaştırmak için de kullanılmaktadır (Yaguchi & Wakazono, 2021). Uçuş ile ilgili verilerin paylaşıldığı önemli sistemler arasında ADS-B (Automatic Dependent Surveillance Broadcast) ve ACAS (Airborne Collision Avoidance System) sayılabilir. Hava trafik yönetimi ise ATM (Air Traffic Management) sistemi tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu sistemlerin herhangi birindeki güvenlik açığı uçuş güvenliğini doğrudan tehdit etmektedir.

Uçaklarda ve helikopterlerde ATM sisteminin taşıdığı önemin benzerini insansız hava araçlarında da yer kontrol istasyonu ile olan iletişim taşımaktadır. Kablosuz ağların yoğun kullanımı ve düşük ağ kapasitesi, ulaşılabilen alanın alanının dar olması ve önleyici önlemlerin alınmaması gibi faktörler kablosuz sinyal yoğunluğuna sebebiyet vermektedir. Bu yoğunluğun saldırı amacıyla oluşturulduğu ve bu nedenle oluşan güvenlik zafiyeti sonucunda bir mühendisin hayatını kaybettiği bir kaza da mevcuttur (Kuzmin & Znak, 2018). Dolayısıyla uçuş kontrol ve seyrüsefer sistemlerinin yer kontrol istasyonundan gelen komutlara bağlı olduğu durumlarda kablosuz sinyallerdeki yoğunluk ölümcül olabilmektedir.

Güvenliğin sağlanması gereken yerlerden biri de hava aracı bakım kayıtlarıdır. İşletilen hava araçlarının bakım süreçleri uçak bakım kayıt defterleri ile belgelenmektedir. Hava aracı havalanmak için mükemmel durumda olsa dahi uygun bakımın tamamlandığını gösteren defter olmadan uçuşa elverişli kabul edilmez. Ancak, kayıtların doğru tutulması, bir uçağın uçuşa elverişliliğinin sağlanmasında kritik bir prosedürdür. SHGM'nin ilgili yönetmeliğine göre bu kayıt defterleri sınıfına göre belirli bir süre saklanmak da zorundadır. Saklama yöntemleri

(fiziksel veya elektronik ortamda saklama) hava aracı sahiplerinin tercihine bırakılmakla birlikte genellikle ilgili uçakta veya havayollarının mülkiyetinde fiziksel bir defter olarak saklanmaktadır (Aleshi, Seker, & Babiceanu, 2019). Kayıtların hem tutulmasında hem de saklanmasında oluşabilecek güvenlik tehditleri hava aracı, yolcu ve işletici açısından farklı kötü sonuçlar doğurabilir. Dağıtık bir depolama hizmetine sahip blok zincir teknolojisi, ilgili uçağın servis, bakım, sertifika gibi önemli kayıtlarını süresiz, şeffaf ve güvenli bir şekilde saklama imkanı sunabilmektedir.

4.2. Milli Güvenlik Riskleri ve Mahremiyet

Havaalanları, askeri alanlar, kamu kurumları gibi özel alanlar üzerinde uçan veya bir yükü bir noktadan diğerine taşımak için kullanılan hava araçları kurum ve toplum için mahremiyet, gizlilik gibi ciddi sorunlar teşkil edebilir (Blank, Kirrane, & Spiekermann, 2018). Özel mülklere girmeleri durumunda hava araçları kaçırılarak da insanların özel mülklerinin, ticari alanlarının veya askeri alanların mahremiyeti ihlal edilebilir. Bu ihlaller istihbarat veya şantaj amaçlı da kullanılabilir. Bu nedenle hava araçlarıyla elde edilen verilerin iyi bir şekilde korunmasına ve gizli tutulabilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Mahremiyetin korunması ve gizliliğin temini için hava aracı uçuş planlarının bunları dikkate alarak oluşturulması gerekebilir. Özellikle İHA tabanlı hizmetlerde özel, genel ve endüstriyel uçuşlar sırasında mahremiyetin korunması gerekir (Rahman, Khalil, & Atiquzzaman, 2021). Bu da uçuş planları oluşturulurken gerekli olan irtifa, hareket yönü, geçilecek noktaların sayısı, azami ve asgari sürat gibi bilgilerin yanında mahrem alanların konum bilgilerinin de hesaplamaya dahil edilmesini gerektirir. Bu şekilde oluşturulan uçuş planlarında uçuşun gerçekleştirilmesi daha maliyetli ve uzun olsa da bu uçuş planlarının değiştirilememesi önemlidir. Ayrıca tüm hava araçlarının uçuş kayıtları alınarak daha sonraki incelemeler için saklanması ve bunlara kimsenin geriye dönük olarak müdahalede bulunamaması için değiştirilmesi zor olan bir şekilde kayıt yapan sistemlere ihtiyaç durulmaktadır.

4.3. Veri Güvenliği

Hava araçlarının hem birbirleri hem de yerle olan iletişimlerinin güvenliği de büyük önem arz etmektedir. Hava araçlarında veri üreten Sonar darbe mesafe sensörü, ışık darbesi mesafe sensörleri, uçuş süresi sensörleri, termal sensörler, kimyasal sensörler ve yönelim gibi birçok sensör mevcuttur ve bunların ürettiği verilerin paylaşılması gerekir (Bera, Chattaraj, & Das, 2020). Hava trafiğinin yoğun olduğu bölgelerde her bir sensör verisinin paylaşılması sayesinde bu sensörlere sahip olmayan hava araçları da verileri kendileri üretmek zorunda kalmadan elde edebilirler. Bu gibi amaçları gerçekleştirmek için son yıllarda yapılan nes-

nelerin interneti (internet of things, IoT) çalışmaları da hız kazanmıştır. Nesnelerin interneti ağına bağlı cihaz sayısını artması, sinyallerin uzaktan karıştırılması, mesajların silinmesi veya değiştirilmesi gibi güvenlik saldırılarıyla karşılaşılmaktadır. Bu ağa dâhil edilmiş bir blok zincirine sahip olmak, süreci merkezi olmayan ve özerk hale getirecektir.

Klasik hava araçları ile birlikte haberleşme, ölçüm, sensör, hesaplama sistemleri de genellikle az enerji harcayan, düşük hesaplama gücüne sahip bir yapıdadırlar. Hava araçlarında sistem ve hesaplama karmaşasından mümkün oldukça kaçınılır. Ancak düşük işlem kapasitelerinden dolayı iletilen verileri kötü niyetli girişimlerden korumak için karmaşık şifreleme yöntemleri de çalıştıramazlar. Araçlar arasındaki iletişimde güven eksikliği, özellikle yer kontrol istasyonuyla da beraber gerçek zamanlı çalışmaları gerektiğinde, yapılan veri alışverişi olası saldırılara daha açık hale gelmektedir. İnsansı hava araçları aralarındaki ağ daha savunmasız ve dinamik olduğu için yanlış yönlendirmeler yapılabilmektedir (Mehta et al., 2020). Bu tür saldırıların üstesinden gelmek için yeni yöntemlerin uygulanması gerekmektedir.

4.4. Sürü Güvenliği

Son yıllarda farklı türdeki hava araçlarının iş birliği içerisinde gerçekleştirdikleri ve özellikle İHA'ların sürü halinde hareket ettikleri görevler oldukça artmıştır. Birlikte gerçekleştirilen görevlerde hava araçları arasındaki koordinasyonun; havada olası çarpışmaların önlenmesi, birden fazla hava aracı tarafından toplanan ortak verilere göre kararlar alınması ve sürü içinde güvenli iletişimin sağlanması gibi temel gereksinimleri kapsaması gerekmektedir. Sürülerde kötü niyetli saldırılarla kaçırılma ve yok edilme tehlikesi yaşanabilmektedir. Hava aracının ele geçirilmesi hem sürünün güvenliğini hem de görevin sürdürülebilirliğini tehlikeye atabilir (García-Magariño et al., 2019). Ele geçirilmiş bir hava aracının sürüye göndereceği hatalı bilgilerin ayıklanabilmesi veya kötü niyetli kullanımların tespit edilebilmesi gerekmektedir.

Elektronik uçuş sistemleri bağlamında sayılamayacak olsalar da blok zincirinin havacılık endüstrisinin farklı ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla geliştirilmiş yöntemleri de mevcuttur. Bunlar arasında dijital uçak bakım ve mürettebat sertifikaları, müşteri sadakat programları, bilet rezervasyon ve satış, kargo güvenliği gibi geniş bir yelpazede yer alan uygulamalar sayılabilir (Ahmad et al., 2021). Ancak bu bölümün kapsamı elektronik uçuş sistemleriyle sınırlandırıldığından aviyonik sistemler bağlamında yapılmış çalışmalar bu bölümde verilen alt başlıklara göre sınıflandırılarak Tablo 1'de verilebilir.

Tablo 1. Blok zincirinin aviyonik sistemlere uygulandığı çalışmalar

Amaç	Geliştirilen Model/ Sistem	Çalışma
Uçuş Güvenliği	ATM, ADS-B, SWIM, BACS-IoD	(Arora & Yadav, 2019; Bonomo et al., 2018; Clementi et al., 2019; Reisman, 2019)
Milli Güvenlik Riskleri ve Mahremiyet	Teslimat konsepti, IoT	(Blank et al., 2018; Rahman et al., 2021)
Veri Güvenliği	FDR, LVBS, SEDIBLOFRA	(Barka et al., 2022; Bera et al., 2020; Joshi, Han, & Wang, 2018; Li, Jiang, Chen, Luo, & Wen, 2020)
Sürü Güvenliği	ABS, Ağ	(Bonomo et al., 2018; García-Magariño et al., 2019; Xiao et al., 2021)

5. BLOK ZİNCİRİNİN UYGUNLUĞUNA KARAR VERİLMESİ

Hava araçları arasında kurulan blok zinciri ağındaki hava aracı sayısının artmasıyla hesaplama maliyeti, veri üretiminin artmasıyla da hafıza/disk alanı artar. Daha büyük veriler için özetleme (hashing) yapmak, daha fazla zaman, enerji ve işlem gücü gerektirir. Koordineli bir uçuş gerçekleştiriliyorsa geciken hesaplama veya iletişim hava araçlarının çarpışma riskini artırabileceğinden, blok zincir ağlarına yapılan siber saldırılarla blok zincirin güvenliğine tehdit oluşturulabilir. Burada bahsedilen olumsuz durumlar dışında blok zincir kullanımının, bazı ülkelerde hala regülasyonlara tabi olması ve bu nedenle, blok zincirin kullanımının bazen yasal olarak kısıtlanabilmesi de güncel bir sorun olarak görülebilir. Dolayısıyla bu teknolojinin belirli bir problemin çözümünde kullanılıp kullanılamayacağının veya hangi blok zincir türünün problem çözümünde daha elverişli olacağının da belirlenmesi gerekmektedir.

ISBN: 978-625-6971-84-4

5.1. Blok Zinciri Kullanımının Sınırları

Blok zincirin aviyonik sistemlerde haberleşme, seyrüsefer, uçuş yönetimi, veri güvenliği gibi alanlarda kullanıldığı görülmektedir. Bunun yanında aviyonik sistemler, bu teknolojinin kullanılabileceği daha farklı alanları da barındırmaktadır. Özellikle sınır güvenliği, sürü içi haberleşme, hava trafik yönetimi, gözetleme, depo envanter kontrolü gibi alanlarda çok daha ilerleme potansiyeli mevcuttur. Ancak blok zincirin şeffaflık, güvenlik, verimlilik, değiştirilemezlik, taraflar arası güven sağlama gibi üstünlüklerinin yanında işlemlerin yavaş olmasından ve siber saldırılardan kaynaklanan eksiklikleri de bulunmaktadır.

Blok zincirinin eksikliklerinin başında özellikle herkese açık blok zincirin siber saldırılara maruz kalabilmeleri gelmektedir (Rodríguez-Molina, Corpas, Hirsch, & Castillejo, 2021). Performans açısından da blok zinciri, bloklar arasında yapılan işlemlerin sayısına ve boyutuna bağlı olarak yeterli seviyeleri yakalamayabilmektedir. Blok zincirin ölçeklenebilirliği, bloklar arasında yapılan işlemlerin sayısına ve işlemlerin boyutuna göre değişebilmektedir (Su, Wang, Xu, & Zhang, 2020). Bu nedenle de blok zincirin ölçeklenebilirliği ve performansı bazı durumlarda düşük olabilmektedir. Enerji tüketimi düşünüldüğünde ise blok zinciri teknolojisi, çalışırken yüksek miktarda elektrik tüketmektedir. Blok zincirin enerji tasarrufu genel olarak düşüktür (Zhenzhen, Xu, Fudong, & Jing, 2021). Öyle ki günümüzde blok zinciri kullanımı, bazı ülkelerde belirli düzenlemelere tabi tutulmuş, hatta yasal olarak kısıtlandığı yerler de olmuştur.

Blok zinciri siber saldırılara karşı da savunmasız kalabilmektedir. Zincirin güvenlik seviyesi, özetleme (hashing) yapma işlem gücüyle doğru orantılıdır. Zincir ağının bilgi işlem gücü arttırılarak saldırıların gerçekleştirilmesi daha zor hale getirilebilir. Bir blok zincirinin maruz kalabileceği saldırılar, %51, çift işlem, Finney, Vector76, kaba kuvvet, denge, Sybil, Netsplit ve Eclipse, madenci havuzu, DDoS gibi farklı şekillerde olabilmektedir (Oğuzhan & Kiani, 2018). Aviyonik sistemlerde uygulanan blok zinciri mimarileri de yapıları itibariyle benzer saldırılara maruz kalabilmektedir. Ancak sistemler, nesneler veya cihazlar arası ilişkiler bireysel kullanıcılarınkiyle aynı olmadığından saldırı türlerinin tehlike oluşturma kapasiteleri de farklılık göstermektedir. Bu saldırılardan aviyonik sistemlerde etkili olabilecekler ile bunlara karşı alınabilecek önlemler Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Blok zincirine yapılan saldırı türleri

Saldırı Türü	Tanım	Önlem
Çift İşlem Saldırısı	Bir saldırganın, birbiriyle çelişen iki işlemi hızlı bir şekilde arka arkaya göndererek aynı anda çift işlem (örneğin finansal yapılarda çift harcama) yapma potansiyeline sahip olmasıdır.	Doğrulama sayısını artırma, ağa nöbetçiler yerleştirme
Finney Saldırısı	Kötü niyetli bir kullanıcının, henüz onaylanmamış bir işlemi diğer bir işlemin onaylanması anında ağa sokması ve ardından blok zincirinin bu onaysız blok üzerinden çatalını oluşturmasıdır.	Doğrulama sayısını artırma
Kaba Kuvvet (Brute Force) Saldırısı	Finney saldırısının geliştirilmişidir, saldırganın ağdaki çok daha fazla düğümü kontrol altına alarak çift işlem saldırısı için kullanmasıdır.	Ağa nöbetçiler yerleştirme
%51 Saldırısı	Bir madencinin blok zinciri hesaplama gücünün ve özet oranının %50'sinden fazlasını kontrol ederek blok zinciri ağını savunmasız hale getirmesidir.	Saldırganın boykot edilerek özetleme oranın %51 altına düşürülmesi
DDoS Saldırıları	Dağıtık Hizmet reddi saldırısı çok sayıda kaynaktan yapılan ve kullanıcıların hizmete erişimini sınırlamayı amaçlayan saldırıdır.	Merkeziliğin azaltılması

Blok zincirin bu sınırlılıkları ile üstünlükleri onun aviyonik sistemlerde kullanılabilirliğini belirleyecektir. Bu sınırlılıklarıyla birlikte ihtiyaçları karşılayabilecek uygun bir yöntem olup olmadığına veya sınırlılıklar, üstesinden gelinebilecek düzeyde olduğu durumlarda çözümün blok zinciri teknolojisi yardımıyla gerçekleştirilmesine ve kullanılması gereken blok zinciri türüne karar verilmesi sıradaki adım olmaktadır.

5.2. Uygun Blok Zincirinin Seçilmesi

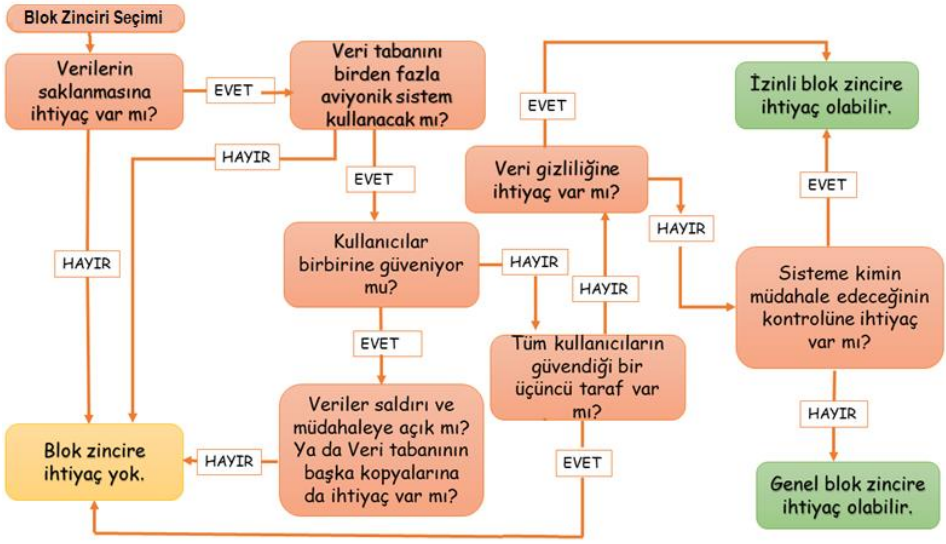
Aviyonik sistemlerde blok zincirinin kullanımı sayesinde güvenlik, değiştirilmez veri, anonimlik, merkezi olmayan veri yönetimi ve veriye erişim gibi özelliklerinden faydalanılabilmektedir. Aviyonik sistemler için blok zincirini kullanırken, öncelikle dikkat edilmesi gereken noktalar da vardır. Aviyonik sistemler genellikle hassas verileri işlediğinden bu verilerin güvenliği ve doğruluğu önemlidir. Blok zinciri teknolojisi, verilerin değiştirilmesini veya yanıltılmasını engel-

ISBN: 978-625-6971-84-4

leyerek güvenliği arttırabilir. Blok zinciri teknolojisi sayesinde, kaydedilen verilerin bir kısmı dahi olsa değiştirilemez. Bu da aviyonik sistemlerde önemli bir fayda sağlayabilir. Aviyonik sistemlerde verilerin kimin tarafından paylaşıldığının veya hangi kullanıcılar tarafından erişildiğinin gizlenmesi de önemlidir. Blok zinciri, kullanıcıların anonim olarak veri paylaşmasını sağlayabilir. Aviyonik sistemlerde, verilerin merkezi olmayan bir yapıda yönetilmesini blok zinciri sağlayabilir ve işletim maliyetlerini azaltabilir. Aviyonik sistemlerde, veriye erişimin kolay olması önemlidir. Blok zinciri teknolojisi ile oluşan veri tabanı tek merkezi değildir. Bu da aviyonik sistemlerde veriye erişimi kolaylaştırabilir (Li, Jiang, Chen, Luo, & Wen, 2017).

Diğer taraftan herhangi bir teknolojide olduğu gibi blok zincirinde de kullanım için bazı ticari, teknik veya hukuki kısıtlamalar olabilir. Ekonomik olarak blok zincirinde işlem maliyetleri yüksek olup aviyonik sistemler için uygun olmayabilir. Blok zincirinde veri saklama kapasitesi sınırlı olduğu için bazı aviyonik sistemler için yeterli olmayabilir. Güvenliği arttırmak için, blok zincirinin işlem hızının azaltılması gerekebilir. Ancak bu da blok zincirinin daha fazla işlemi doğrulamak için daha fazla zaman harcamasına neden olabilir. Performansı arttırmak için ise blok zincirin güvenliğinin azaltılması gerekebilir. Bu da blok zincirin daha az güvenli işlemleri kabul etmesine neden olabilir.

Blok zincirin merkeziyetsiz yapısını arttırmak için de veri depolama kapasitesi azaltılabilirken bu, sistemin daha az veri depolamasına neden olabilir. Güvenlik özelliğinden çok faydalanırken, işlem maliyetlerini azaltmak için merkezi olmayan veri yönetimi özelliğinden feragat etmek gerekebilir. Bu tür nedenlerle, aviyonik sistemler için blok zincirini kullanırken, faydalanılması düşünülen özellikler arasındaki dengeyi koruyan bir yol seçmek ve uygun olan özellikleri kullanmak gerekmektedir. Aviyonik sistemlerde blok zinciri kullanımına ihtiyaç olup olmadığı ile hangi blok zinciri türünün problem yapısına uygun olarak seçilebileceğine daha kolay karar verilmesini sağlayacak bir akış şeması Şekil 3'te verilebilir.



Şekil 3. Uygun blok zinciri türünün seçilmesi adımları

Genel olarak, aviyonik sistemlerde gerçekleşen her işlemin kaydedilmesi gerekmez. Örneğin bir aviyonik sistemde verilerin kaydedilmesi gerekmiyorsa blok zincir kullanmaya gerek yoktur. Nitekim kayıt ihtiyacı olmadan sadece iletişim gizliliği gerektiren sistemlerde bu ihtiyaç kriptolama yöntemleriyle de verimli şekilde giderilebilir. Diğer taraftan, verilerin saklanması gereken sistemlerde verilere ulaşan tek bir kullanıcı mevcutsa, blok zincir teknolojisini kullanmadan de veri güvenliği sağlanabilmektedir. Aviyonik sistemler arasında kullanılacak ve ortak işlemler yapılması gereken çok kullanıcının giriş yapabildiği sistemlerde gizlilik, güvenlik, şifreleme gibi ihtiyaçlar yoksa ve kullanılan klasik veri tabanları ihtiyacı karşılıyorsa blok zincir kullanımının getireceği faydalara yine ihtiyaç olmayabilir. Dolayısıyla böyle bir sistem için blok zinciri kullanımına yeterince ihtiyaç olmadığı savunulabilir.

6. BLOK ZİNCİRİNİN AVİYONİK SİSTEMLERDE KULLANILABİLECEĞİ YERLER

Hava aracı sayısının artmasıyla hava trafik güvenliğinin sağlanması da gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Hava trafik yönetimi sistemlerinin gelişimini sınırlandıran ölçeklenebilirlik, dayanıklılık, tutarlılık ve gizlilik olmak üzere dört ana başlık mevcuttur. Hava trafik yönetim sistemleri açısından bir hava aracı sürüsü için yol planlaması yapan bir merkezi ağın tüm alanı kontrol edebilmesi oldukça zordur. Bu nedenle dağıtılmış ağlar önerilmektedir. Bu ağ merkeziyetsiz bir blok zincir ağı ile kontrol edilebilir. Genel anlamda bir uçuş planı, yetkili makamlara

sunulmasından arşivlenmesine kadar birçok paydaşın erişim hakkına sahip olduğu uçuşla ilgili ayrıntıları içeren resmi bir işlemdir. Paydaşlar belgeyi güncelleyebilir ve belgeye veri ekleyebilirler. Paylaşılan verilerin bütünlüğü ve özgünlüğü, hava trafik yönetim hizmetlerinin hava trafiğindeki tıkanıklığı azaltma girişimlerinde kritik bir öneme sahiptir. Hava trafik yönetim teknolojilerinde iletişim, üçüncü kişiler tarafından dinlenme, iki birim arasındaki iletişiminin engellenmesi, mesajların silinmesi ve/veya değiştirilmesi gibi tehditlerle karşı karşıyadır. Uçuş planlama verimliliği ve güvenliğinde daha iyi performans ve daha gelişmiş güvenliğin anahtarı merkezilikten kurtulmaktır. Blok zincirinin tek merkeze ihtiyaç duymayan mimarisi sayesinde hava sahasının her yerinde hizmetlerin ve verilerin kesintiye uğramadan kullanılabilmesi, uçuş planlarının değiştirilememesi ve kaydedilen bilgilerin sızdırılmaması sağlanır. Bu çözüm özellikle merkezi uçuş veri yönetimi mimarisinin de bulunmadığı bölgelerde hava trafik yönetim hizmetlerinin dağıtımını kolaylaştırabilir ("Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B),"). Blok zinciri teknolojisi, hava trafik yönetimi için uçuş verilerinin güvenli bir şekilde paylaşılması amacıyla kullanılabilir.

Uçuş kontrol ve seyrüsefer sistemlerinin yer kontrol istasyonundan gelen komutlara bağlı olduğu durumlarda ağdaki yoğunluk veya kopukluk tehlikeli sonuçlar doğurabilmektedir. Merkezi olmayan bir blok zinciri ağına sahip olmak, bu bağımlılığı ortadan kaldırabilir ve hava aracı ağlarının sinyal yoğunluğuna karşı savunmasızlığını azaltabilir. Her bir hava aracı, diğer hava araçlarının uçuş rotalarını içeren yerleşik bir blok zincir kopyasına sahip olur, bu sayede hedefine doğru ilerlerken diğer hava araçlarıyla olması gereken güvenli mesafeyi koruyabilir. Böylece hava araçlarının gecikmelere ve hatalara oldukça yatkın olan iletişim yoğunluğu azaltılabilir (Alladi et al., 2020; Mehta et al., 2020). Bundan kaynaklanan düşme, çarpışma gibi kazaların önüne de geçilebilir.

Blok zincirin getirdiği yeniliklerin başında verilerin güvenli bir şekilde saklanmasını sağlaması gelmektedir. Uçuş verilerinin kaydedilmesi ve saklanması amacıyla da blok zinciri kullanılabilir ki bunun için geliştirilmiş ve tescillenmiş bir yöntem mevcuttur (Croman et al., 2016). Dolayısıyla uçuş verileri blok zincir üzerinde kaydedilerek, verilerin doğruluğu ve güvenliği sağlanabilir. Bu sayede, uçuş verilerinin değiştirilmesi veya sahtecilik yapılması önlenebilir.

Geleneksel havacılık sistemleri, ticari anlaşmazlıkları çözerken çoğunlukla uzlaşma yöntemi olarak doğrudan müzakereyi veya merkezi arabuluculuk hizmetlerini tercih etmektedir. Yüksek maliyet ve uzun süreler, mevcut bürokratik uzlaşma yöntemlerinin önündeki önemli iki zorluktur. Akıllı sözleşme, katılımcı kuruluşlar arasında güven oluşturan, kendi kendini yürüten bir kod parçasıdır. Blok zincir teknolojisi, düğümler arası ağları kriptografik algoritmalarla birleştirerek, bir grup aracının belirli bir durum üzerinde bir anlaşmaya varabileceğini ve bu anlaşmayı bir kontrol otoritesine ihtiyaç

duymadan güvenli ve doğrulanabilir bir şekilde kaydedebileceğini göstermektedir (Ferrer, 2016; Mehta et al., 2020). Bu yönüyle, blok-zincir teknolojisi kuruluşlar arasında iş birliğini kolaylaştırmak için güven ortamı oluşturmaktadır (Ahmad et al., 2021; Alladi et al., 2020; García-Magariño et al., 2019; Mehta et al., 2020; Rahman et al., 2021). Bu noktada da blok zinciri teknolojisi, akıllı sözleşmeleriyle güvenilirliği sağlar, iş kurallarını otomatikleştirebilir ve böylece anlaşmazlıkları aşabilir.

Nesnelerin interneti, izleme cihazları, sensörler, biyolojik yongalar gibi fiziksel nesnelerin birbirleriyle veya daha büyük sistemlerle veri bağlantısını ve paylaşımını sağlayan iletişim ağıdır. Nesnelerin interneti teknolojileri, tarım, lojistik hizmetleri, üretim süreci gibi birçok farklı sektöre uygulanabilmektedir. Nesnelerin interneti uygulamalarının etkin sahalarından biri de hava araçlarıdır, fakat hava araçlarının güvenlik saldırılarına karşı savunmasız olmaları, geniş kitlelerce kullanımlarını engellemektedir (Bera et al., 2020). Blok zincir teknolojisi kriptografik tekniklerin kullanımıyla güvenli, dağıtılmış bir depolama mekanizması sağlayarak, hava araçlarını nesnelerin interneti uygulamalarının vazgeçilmez bir parçası yapabilmektedir. Hava ve yer sensörü bileşenlerinin karşılıklı şekilde yararlı bir veri alışverişine katılabileceği, havadan yere endüstriyel nesnelerin interneti ağları için merkezi olmayan bir depolama mimarisi oluşturmak için blok zincir kullanılabilir (Rahman et al., 2021). Blok zinciri yardımıyla endüstriyel nesnelerin interneti ağlarını havadan yere kurmak oldukça yenilikçi bir çözümdür (Alladi et al., 2020; Bera et al., 2020). Fakat bu çözüm yöntemlerinin ileride etkin bir şekilde kullanılabilmeleri için farklı ticari işletmelerin işbirliği yapmaları gerekmektedir.

Blok zinciri, olası tehdit ve saldırılardan korunmak için açık anahtarlı kriptografi ve özel anahtarlı dijital imza şemaları kullanmaktadır. Tüm kullanıcıların açık anahtarları diğer tüm kullanıcılar tarafından bilinmekteyken, özel anahtarlar bireysel kullanıcılara özel olduğundan kimseyle paylaşılmamaktadır. Sistemdeki bir kullanıcı, o sistemdeki herhangi bir kullanıcıya veri göndermek istediğinde alıcının açık anahtarını kullanarak mesajını şifreler. Gönderilen bu veriyi alıcının özel anahtarı dışında hiçbir anahtar açamamaktadır (García-Magariño et al., 2019). Blok zincir, açık anahtar ve özel anahtar mekanizması yardımıyla bu tür ağlarda güvenli bire bir ve yayın iletişim olanakları sağlanmaya yardımcı olabilmektedir. Bu özellikten yararlanılarak geliştirilmiş karar verme mekanizmasındaki hava araçları arama ve tanımlama işlemi gerçekleşirken hava araçlarından biri hedefin tanımından emin değilse, onu ağda paylaşmakta ve diğer ağ üyeleri, hedefin kimliğine oy verebilmektedir. Oyların çoğunluğu hedefin gerçek kimliğini belirlemekte ve bu

veriler ileride başvurmak üzere blok zincirinde saklanmaktadır (García-Magariño et al., 2019).

Blok zinciri teknolojisi, açık ve özel anahtar mekanizmalarıyla hava aracı ağlarında güvenli, bire bir iletişimi sağlamanın yanı sıra yayın iletişim olanakları sağlayarak da yardımcı olabilir ve en önemlisi, bu tip hava aracı ağlarında merkeziyetsizleştirilmiş veri depolayabilme imkanı sunabilir. Blok zincirinde her bir hava aracı, üzerine yazmadan kayıtları ekleyebilen bir düğüm görevi görmektedir. Depolanacak kayıtların kritik veriler olduğu durumlarda, dağıtık bir depolama hizmetine sahip blok zincir teknolojisi, ilgili hava araçlarının servis, bakım, sertifika gibi önemli kayıtlarını süresiz, şeffaf ve güvenli bir şekilde saklama imkanı sunabilir. Bu amaçla geliştirilmiş ve ticari amaçlarla kullanılan blok zinciri tabanlı güvenli kayıt yöntemleri de mevcuttur (Aleshi et al., 2019).

Uçuş planları da her bir hava aracı için kritik öneme sahiptir. Hava araçlarının özel, genel ve endüstriyel uçuşları sırasında kalabalık alanlarda uçmamasını sağlamak için gizliliğe duyarlı yol planlaması gereklidir. Bu aviyonik sistem ihtiyacını karşılamak üzere yapılmış çalışma da mevcuttur (Rahman et al., 2021). Özellikle İHA'lar için yol planlamasında uçuş sırasında gizlilik/mahremiyet gibi nedenlerle belirli bölgelerin üzerinden uçulmaması gerekebilir. Ayrıca planda irtifa, konum, rota, geçiş noktalarının sayısı, azami ve asgari hız sınırları gibi diğer kısıtlamalar da dikkate alınır. Gizliliğe duyarlı ve kısıtlamaya dayalı bir yol her zaman en uygun yol olmamaktadır. Hava araçlarının gizliliği ihlal etmeyi göze alarak maliyet açısından en uygun rota tercihinde bulunmamalarının kontrol edilmesi gerekebilir. Blok zinciriyle hava aracının belirlenen yol koordinatlarını kullanıp kullanmadığı kontrol edilebilir. Hava araçlarının uçuşu sırasında irtifası, hızı, yakıtı gibi mevcut durumuna yönelik bilgiler periyodik olarak toplanıp blok zincir ağına işlem olarak gönderilebilir. Blok zincir işlemin, daha önce belirlenen akıllı sözleşmelerle uyumu kontrol edilebilir. Blok zincirde saklanan bilgiler veri bütünlüğü, izlenebilirlik, değişmezlik gibi önemli ayrıcalıklar sağlayabilir.

Dağıtılmış karar verme algoritmaları, özellikle sürü hava aracı uçuşlarının geliştirilmesinde çok önemli bir rol oynayabilir. Dağıtılmış karar verme algoritmaları, dinamik görev tahsisi, toplu harita oluşturma ve engellerden kaçınma dahil olmak üzere birçok uygulamada kullanılabilir. Ancak fazla kullanıcının olduğu kolektif karar alma süreçlerinde karar hızı karar doğruluğu ile ters orantılıdır. Bu nedenle, dağıtık sistemlerde hava araçlarının karar vermesi konusunda daha otonom ve esnek çözümler gerekmektedir. Blok zincirinin sahip olduğu merkezi olmayan bir ağda ise tüm katılımcıların bir görüşü paylaşmaları ve oylamaları sağlanmaktadır. Hava araçları arasında bir konuda anlaşmaya varması için dağıtılmış oylama sistemi oluşturulabilmekte, böylece her bir hava

aracı kendi oyunu şeffaf ve güvenli bir biçimde kullanabilmektedir (Ferrer, 2016).

Hava araçlarının afet yardımı, gözetleme, ağ aktarımı, enerji verimli cihaz keşfi gibi durumlarda da birbirleriyle koordineli hareket etmeleri gerekmektedir. Bu koordinasyonun sağlanabilmesi için havada çarpışmaları önlemek, birden fazla hava aracından toplanan verilere göre kararlar almak ve birbirleriyle güvenli bir şekilde iletişim kurmak gibi gereksinimlerin karşılanması gerekmektedir (Mehta et al., 2020). Hava aracı ağları savunmasız ve dinamik olduğu için düşman bir hava aracı ya da başlangıçta ağın bir parçası olan ancak daha sonra düşmanlar tarafından ele geçirilen hava aracı ağa girerek yanlış bilgi yayınlamaya başlayabilir veya orijinal verileri değiştirebilir. Böyle kötü niyetli girişimleri engellemek için blok zincirin fikir birliği mekanizması uygulanabilir. Doğal afet bölgelerinde yerel haberleşme sistemlerinin kullanım dışı kalması durumlarında örnek bir uygulaması (Joshi et al., 2018)'te verildiği gibi hava araçları için doğru, güvenilir bilgileri paylaşan bir blok zinciri destekli işbirlikçi hava-yer ağ mimarisi geliştirilebilirler. Kritik altyapıların koordineli siber fiziksel saldırılara karşı güvenliğini sağlamak için blok zinciri tabanlı bir hava araçları arası güven değerlendirme çözümü (Kim, KIM, & Lee, 2021)'te denendiği gibi geliştirilebilir. Ayrıca (Barka et al., 2022) tarafından sunulan uygulama, hava araçları tarafından toplanan hava durumu verilerinin güvenli ve etkili bir şekilde paylaşılması amacıyla blok zincirinin kullanılabileceğini göstermektedir. Blok zinciri, açık anahtar ve özel anahtar mekanizması yardımıyla bu tür hava aracı ağlarında güvenli bire bir ve yayın iletişim olanaklarının sağlanmasına yardımcı olabilmektedir. Aviyonik sistemlerde blok zinciri teknolojisinin uygulanabileceği alanlar özet olarak Tablo 3'te verilmiştir.

ISBN: 978-625-6971-84-4

Tablo 3. Blok zinciri uygulama alanları

Uygulanma Alanı	Üstünlükler	Eksiklikler
Uçuş Yönetim Sistemleri ve Uçuş Güvenliği	FMS ve haberleşme sistemleri arasında güvenli ve şeffaf bir veri paylaşımı sağlar. Uçuş planlarının değiştirilmesini ve kaydedilen bilgilere müdahale edilmesini engeller. Bakım kayıtlarının ve uçuş rotalarının blok zinciriyle saklanması uçuş güvenliğini artırır.	Blok zinciri teknolojisi daha karmaşık bir altyapı gerektirebilir ve veri depolama, işleme maliyetleri yüksek olabilir.
Milli Güvenlik Riskleri, Mahremiyet ve Veri Güvenliği	Verilerin güvenli ve değiştirilemez bir şekilde saklanmasını sağlar. Mahremiyet ve milli güvenlik risklerini azaltır, veri güvenliğini artırır.	Blok zinciri teknolojisinin entegrasyonu ve uyumu mevcut sistemlere bağlı olarak zor olabilir. Veri güncellemeleri ve erişimi için ek süreçler gerekebilir.
Haberleşme Sistemleri	Hava araçları arasında ve hava aracı ile yer istasyonu arasında güvenilir iletişim kanalı sağlar. Hizmetlerin ve verilerin kesintiye uğramadan kullanılabilmesini, bilgilerin sızdırılmamasını sağlar.	Blok zinciri kullanımı veri depolama gereksinimlerini artırabilir ve özel veri güvenlik önlemlerini gerektirebilir. Veri erişimi ve güncelleme süreçleri karmaşık olabilir.
Ticari Anlaşmalar	Hava aracı üreticileri, işleticileri, servisleri gibi şirketler arasında akıllı sözleşmeler yapılabilir. Bu anlaşmalar farklı bir kontrol otoritesine ihtiyaç duymadan güvenli ve doğrulanabilir bir şekilde denetlenebilir.	İleride etkin bir şekilde kullanılabilmeleri için farklı ticari işletmelerin kapsamla iş birlikleri yapmaları gerekmektedir.
Nesnelerin interneti	Güvenli, dağıtılmış bir depolama mekanizması sağlar.	İşlemlerin yüksek hızlarda yapılması zor olabilir.

7. SONUÇ

Havacılık kuruluşları tarafından üretilen büyük miktarda veri, hızlı veri işleme gerektirmektedir. Blok zinciri teknolojisi üretilen bu verileri değiştirilemez, şeffaf ve güvenilir bir şekilde kaydedebilir. Akıllı sözleşmeleriyle güvenilirliği sağlayabilir. Taraflar arasında belirlenen prosedürleri otomatikleştirerek anlaşmazlıkları ortadan kaldırabilir. Böylece, katılımcı kuruluşlar arasında güven oluşturabilir. Hava aracı aviyonik sistemleri arasındaki veri akışının güvenliği kadar dış aviyonik sistemlerle olan bağlantılar da doğacak yeni ihtiyaçları karşılayacak şekilde yeni yöntemlerin uygulanmalarını zorunlu kılmaktadır. Nitekim farklı hava araçları ve sistemlerinin artışı bu sistemler arasındaki iletişimi saldırılara karşı daha büyük bir hedef haline getirmektedir.

Verilerin iletimi ve saklanması konusunda ise blok zincir teknolojisinin önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmalar, güvenli bir veri iletimi ve veri tabanı için blok zincirin önemli imkânlar sunduğunu göstermektedir. Bu çalışmaların başında blok zincir teknolojisinin sağladığı güvenilir iletişim imkânlarının kullanılarak hava araçlarının birlikte ve koordinasyon içerisinde hareket etmelerinin sağlanması ve böylece olası tehdit ve saldırıların üstesinden gelinmesi, çarpışmaların engellenmesi gösterilebilir. Ayrıca karar verme mekanizmalarında dağıtık bir yapı kullanma, yine farklı hava araçlarından gelen veriler sayesinde dağıtık ve çoklu veri toplama sayesinde iletişim güvenilirliği oldukça yüksek düzeylere çıkarılabilmektedir.

Aviyonik sistemler, çalışma şekilleri ve kapasiteleri itibariyle oldukça dinamik ve karmaşıktır. Akıllı sözleşmeler ve fikir birliği mekanizması gibi blok zinciri özelliklerini kullanarak otomatikleştirilebilir ve güvenli hale getirilebilir. Blok zincirin önemli bir avantajı olan dağıtık veri depolamaya sunduğu imkân kullanılarak hava ve yer verilerinin güvenilir bir şekilde depolandığı yöntemler geliştirilebilmektedir. Yine hava araçlarının kendi aralarındaki iletişimin güvenilirliği blok zincir kullanılarak sağlanabilmekte, elde edilen bilgilerin sadece kendi aralarında paylaşılmasına olanak sağlamaktadır.

Bu bölüm, blok zinciri teknolojisinin havacılık elektroniği açısından kullanılabilirliğini, çözüm önerilerini ve taşıdığı potansiyeli ortaya koymuştur. Blok zinciri teknolojisinin havacılık elektroniğinde sağlayabileceği temel fırsatlar tartışılmış ve özetlenmiştir. Havacılık sistemleri ve bileşenleri arasındaki temel hizmetleri ve etkileşimleri vurgulamak için blok zinciri tabanlı bir çerçeve sunulmuştur. Blok zinciri teknolojisinin başarılı bir şekilde kullanılmasını engelleyen çeşitli açık araştırma konuları ve zorluklar irdelenmiştir. Böylece oldukça yeni olan ve hızla gelişen blok zinciri teknolojisinin aviyonik sistemler açısından sunduğu fırsatlar ortaya çıkarılmıştır.

Bunun yanında bu alanda araştırma ve geliştirme yapmayı hedefleyen çalışanların blok zincirini hangi tür havacılık problemlerine uygulayabilecekleri veya fayda sağlaması zor olan konuları genel hatlarıyla belirlemektedir. Blok zincirin kendi problemlerinin çözümünde kullanılabilirliğini görebilmeleri için araştırmacılara yol haritalarını çizerken bir ön rehber sunulmuştur. Bu bölüm temel alınarak gelecekte aviyonik sistemlerdeki uçuş güvenliği, mahremiyet, veri ve sürü güvenliği konuları üzerine daha ileri ve kapsamlı çalışmalar yapılabilir. Uçuş yönetimi, haberleşme, hava trafik sistemleri için yeni yöntemler geliştirilebilir.

TEŞEKKÜR

Bu bölüm, Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (TUSAŞ) ile Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenen FKA-2022-11017 numaralı projeden faydalanılarak hazırlanmıştır. Araştırma süresince verdikleri katkılardan ötürü TUSAŞ Helikopter Otopilot Sistemleri Birimi personeline teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Ahmad, R. W., Salah, K., Jayaraman, R., Hasan, H. R., Yaqoob, I., & Omar, M. (2021). The role of blockchain technology in aviation industry. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 36(3), 4-15.

Akleylek, S., & Seyhan, K. (2018). Blok Zinciri Bileşenleri ve Uygulamaları Üzerine Bir Derleme. Paper presented at the İnformasiya təhlükəsizliyinin aktual multidissiplinar elmi-praktiki problemləri IV respublika konfransının materialları.

Aleshi, A., Seker, R., & Babiceanu, R. F. (2019). Blockchain model for enhancing aircraft maintenance records security. Paper presented at the 2019 IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST).

Alladi, T., Chamola, V., Sahu, N., & Guizani, M. (2020). Applications of blockchain in unmanned aerial vehicles: A review. Vehicular Communications, 23. doi:10.1016/j.vehcom.2020.100249

Arora, A., & Yadav, S. K. (2019). Batman: Blockchain-based aircraft transmission mobile ad hoc network. Paper presented at the Proceedings of 2nd International Conference on Communication, Computing and Networking: ICCCN 2018, NITTTR Chandigarh, India.

Aslan, M. (2022). Blok zinciri ağ güvenliği ile konsensüs mekanizmaları ve akıllı sözleşmeler. (Yüksek Lisans). İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul.

Aslan, M., & Kasapbaşı, M. C. Blok Zinciri Platformları, Fikir Birliği Mekanizmaları ve Ağın Güvenlik Analizi. Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5(1), 43-72.

Barka, E., Kerrache, C. A., Benkraouda, H., Shuaib, K., Ahmad, F., & Kurugollu, F. (2022). Towards a trusted unmanned aerial system using blockchain for the protection of critical infrastructure. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 33(8), e3706.

Bera, B., Chattaraj, D., & Das, A. K. (2020). Designing secure blockchain-based access control scheme in IoT-enabled Internet of Drones deployment. Computer Communications, 153, 229-249. doi:10.1016/j.comcom.2020.02.011

Blank, P., Kirrane, S., & Spiekermann, S. (2018). Privacy-aware restricted areas for unmanned aerial systems. IEEE Security & Privacy, 16(2), 70-79.

Blasch, E., Xu, R., Chen, Y., Chen, G., & Shen, D. (2019). Blockchain methods for trusted avionics systems. Paper presented at the 2019 IEEE National Aerospace and Electronics Conference (NAECON).

Bonomo, I. S., Barbosa, I. R., Monteiro, L., Bassetto, C., de Barros Barreto, A., Borges, V. R., & Weigang, L. (2018). Development of swim registry for air traffic management with the blockchain support. Paper presented at the 2018 21st International conference on intelligent transportation systems (ITSC).

Chen, J., Du, C., & Han, P. (2016). Scheduling independent partitions in integrated modular avionics systems. PloS one, 11(12), e0168064.

Clementi, M. D., Larrieu, N., Lochin, E., Kaafar, M. A., & Asghar, H. (2019). When air traffic management meets blockchain technology: a blockchain-based concept for securing the sharing of flight data. Paper presented at the 2019 IEEE/AIAA 38th Digital Avionics Systems Conference (DASC).

Collinson, R. P. G. (2011). Avionics Systems Integration. In Introduction to Avionics Systems (pp. 459-487). Dordrecht: Springer Netherlands.

Croman, K., Decker, C., Eyal, I., Gencer, A. E., Juels, A., Kosba, A., . . . Wattenhofer, R. (2016). On Scaling Decentralized Blockchains, Berlin, Heidelberg.

Fedosov, E., Koverninsky, I., Kan, A., Volkov, V., & Solodelov, Y. (2017). Use of real-time operating systems in the integrated modular avionics. Procedia Computer Science, 103, 384-387.

Ferrer, E. C. (2016). The blockchain: a new framework for robotic swarm systems (2016). arXiv preprint arXiv:1608.00695.

García-Magariño, I., Lacuesta, R., Rajarajan, M., & Lloret, J. (2019). Security in networks of unmanned aerial vehicles for surveillance with an agent-based approach inspired by the principles of blockchain. Ad Hoc Networks, 86, 72-82. doi:10.1016/j.adhoc.2018.11.010

Gaska, T., Watkin, C., & Chen, Y. (2015). Integrated modular avionics-past, present, and future. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 30(9), 12-23.

Güven, Ö. (2020). Dijital Dönüşümde Blokzincir Teknolojisi Ve Bitcoin'in Ekonomiye Etkisi. Aydin Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Han, P., Zhai, Z., & Zhang, L. (2020). A model-based approach to optimizing partition scheduling of integrated modular avionics systems. Electronics, 9(8), 1281.

Han, S., & Jin, H. W. (2014). Resource partitioning for integrated modular avionics: Comparative study of implementation alternatives. Software: Practice and Experience, 44(12), 1441-1466.

Higgins, F., Tomlinson, A., & Martin, K. M. (2009). Survey on security challenges for swarm robotics. Paper presented at the 2009 Fifth International Conference on Autonomic and Autonomous Systems.

Joshi, A. P., Han, M., & Wang, Y. (2018). A survey on security and privacy issues of blockchain technology. Mathematical foundations of computing, 1(2).

Juma, H., Shaalan, K., & Kamel, I. (2019). A Survey on Using Blockchain in Trade Supply Chain Solutions. IEEE Access, 7, 184115-184132. doi:10.1109/access.2019.2960542

Kamel Boulos, M. N., Wilson, J. T., & Clauson, K. A. (2018). Geospatial blockchain: promises, challenges, and scenarios in health and healthcare. In (Vol. 17, pp. 1-10): BioMed Central.

Kayton, M., & Fried, W. R. (1997). Avionics navigation systems: John Wiley & Sons.

Kim, K.-H., Kim, D., & Lee, S. (2021). United States Patent No. US20210354855A1.

Kumar, V. A. (2021). A Comprehensive Survey on Privacy-Security and Scalability Solutions for Block Chain Technology. Smart Intelligent Computing and Communication Technology, 38, 173.

Kuzmin, A., & Znak, E. (2018). Blockchain-base structures for a secure and operate network of semi-autonomous unmanned aerial vehicles. Paper presented at the 2018 IEEE International conference on service operations and logistics, and informatics (SOLI).

Li, X., Jiang, P., Chen, T., Luo, X., & Wen, Q. (2017). A Survey on the Security of Blockchain Systems. Future Generation Computer Systems, 107. doi:10.1016/j.future.2017.08.020

Li, X., Jiang, P., Chen, T., Luo, X., & Wen, Q. (2020). A survey on the security of blockchain systems. Future Generation Computer Systems, 107, 841-853.

Mehta, P., Gupta, R., & Tanwar, S. (2020). Blockchain envisioned UAV networks: Challenges, solutions, and comparisons. Computer Communications, 151, 518-538. doi:10.1016/j.comcom.2020.01.023

Millard, A. G., Timmis, J., & Winfield, A. F. (2013). Towards exogenous fault detection in swarm robotic systems. Paper presented at the Conference towards Autonomous Robotic Systems.

Miller, S. P., Cofer, D. D., Sha, L., Meseguer, J., & Al-Nayeem, A. (2009). Implementing logical synchrony in integrated modular avionics. Paper presented at the 2009 IEEE/AIAA 28th Digital Avionics Systems Conference.

Oğuzhan, T., & Kiani, F. (2018). Blok zinciri teknolojisine yapılan saldırılar üzerine bir inceleme. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 11(4), 369-382.

Rahman, M. S., Khalil, I., & Atiquzzaman, M. (2021). Blockchain-Powered Policy Enforcement for Ensuring Flight Compliance in Drone-Based Service Systems. IEEE Network, 35(1), 116-123. doi:10.1109/mnet.011.2000219

Reisman, R. J. (2019). Air traffic management blockchain infrastructure for security, authentication, and privacy. Paper presented at the AIAA Scitech Forum.

Rodríguez-Molina, J., Corpas, B., Hirsch, C., & Castillejo, P. (2021). SEDIBLOFRA: A Blockchain-Based, Secure Framework for Remote Data Transfer in Unmanned Aerial Vehicles. IEEE Access, 9, 121385-121404.

Su, Z., Wang, Y., Xu, Q., & Zhang, N. (2020). LVBS: Lightweight vehicular blockchain for secure data sharing in disaster rescue. IEEE Transactions on dependable and secure computing.

Wang, H., & Niu, W. (2018). A review on key technologies of the distributed integrated modular avionics system. International Journal of Wireless Information Networks, 25, 358-369.

Xiao, W., Li, M., Alzahrani, B., Alotaibi, R., Barnawi, A., & Ai, Q. (2021). A blockchain-based secure crowd monitoring system using UAV swarm. IEEE Network, 35(1), 108-115.

Yaguchi, Y., & Wakazono, T. (2021). Flight Plan Management System for Unmanned Aircraft Vehicles Using Blockchain. Paper presented at the 2021 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS).

Zhenzhen, P., Xu, G., Fudong, Z., & Jing, L. (2021). A Blockchain-based Airplane Meteorological Data Sharing Incentive System. Paper presented at the 2021 IEEE 2nd International Conference on Information Technology, Big Data and Artificial Intelligence (ICIBA).

Zhu, Y., Zheng, G., & Wong, K.-K. (2019). Blockchain-empowered decentralized storage in air-to-ground industrial networks. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 15(6), 3593-3601.

ISBN: 978-625-6971-84-4



BÖLÜM 10

ISBN: 978-625-6971-84-4

ELEKTRİKLİ ARAÇ BATARYA YÖNETİM SİSTEMLERİ VE YENİ TRENDLER

Dr. İ. Can DİKMEN[1]

Doç. Dr. Teoman KARADAĞ[2]

1. Giriş

Elektrikli araçlar (EA), batarya teknolojisindeki ilerlemeler, artan çevre bilinci ve destekleyici hükümet politikaları nedeniyle son yıllarda hızlı bir büyüme kaydetmiştir. Elektrikli araçların önemli bir bileşeni, batarya paketinin verimli ve güvenli bir şekilde çalışmasını sağlayan batarya yönetim sistemidir (BYS). BYS, voltaj, akım, sıcaklık ve şarj durumu (SoC) gibi çeşitli batarya parametrelerini izlemek ve kontrol etmekten sorumludur (I. C. Dikmen & Karadag, 2021; İ. C. Dikmen & Karadağ, 2021b; Ecker et al., 2012). Ayrıca BYS, bataryanın performansını, dayanıklılığını ve güvenliğini optimize etmede çok önemli bir rol oynamakta ve böylece elektrikli aracın genel verimliliğini ve güvenilirliğini doğrudan etkilemektedir.

Bu bölümde, elektrikli araç batarya yönetim sistemlerinin temel kavramlarını, bileşenlerini ve işlevlerini içeren kapsamlı bir genel bakış sunulmaktadır. Ayrıca BYS teknolojilerinin geliştirilmesinde karşılaşılan temel teknik problemler ve son gelişmelerin yanı sıra gelişen elektrikli araç pazarı bağlamında BYS'nin gelecekteki beklentileri de ele alınmaktadır.

2. Batarya Yönetim Sistemlerinin Temelleri

2.1. Elektrikli Araçlar için Batarya Teknolojileri

Batarya teknolojisinin seçimi, elektrikli araçların tasarımında ve performansında kritik bir faktördür. EA'larda kullanılan en yaygın batarya türleri, yüksek enerji yoğunlukları, uzun çevrim ömürleri ve nispeten düşük kendi kendine deşarj oranları nedeniyle lityum iyon (Li-ion) bataryalardır (Doyle et al., 1993; Karadağ

[1] Temsa Skoda Sabancı Ulaşım Araçları A.Ş.,ORCID: 0000-0002-7747-7777
[2] İnönü Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği,ORCID: 0000-0002-7682-7771

& Dikmen, 2021). Nikel-metal hidrit (NiMH) ve kurşun-asit gibi diğer batarya kimyaları da bazı elektrikli araç uygulamalarında kullanılmaktadır, ancak daha düşük enerji yoğunlukları ve diğer performans sınırlamaları nedeniyle daha az yaygındırlar.

2.2. Batarya Yönetim Sistemi Bileşenleri

Tipik bir BYS, batarya paketinin çalışmasını izlemek ve kontrol etmek için birlikte çalışan çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır (İ. C. Dikmen et al., 2018; Linden & Reddy, 2002). Bu bileşenler şunlardır:

- Akü izleme ünitesi (Battery Monitoring Unit - BMU): Bu ünite hücre voltajı, akım ve sıcaklık gibi akü parametrelerini ölçme işlevini yerine getirir. Kısaca batarya paketinden veri toplamak ve işlemekten sorumludur. Bu veriler daha sonra karar verme algoritmalarında işlenmesi için merkezi işlem birimine (Central Processing Unit - CPU) gönderilmektedir.
- Merkezi işlem birimi (CPU): CPU, BYS'nin beynidir. BMU'dan alınan verileri analiz etme, önceden tanımlanmış algoritmalara dayalı kararlar alma ve batarya paketine kontrol komutları gönderme işlevlerini yerine getirmektedir.
- Güç yönetim birimi (Power Management Unit - PMU): Bu birim, CPU'dan alınan komutlara dayanarak batarya paketinin şarj ve deşarj işlemlerini kontrol etmekten sorumludur.
- İletişim arayüzü: BYS, CAN, LIN veya Ethernet gibi iletişim protokollerini destekleyebilen bir iletişim arayüzü aracılığıyla, motor kontrolörü ve insan-makine arayüzü (Human Machine Interface - HMI) gibi diğer araç sistemleriyle iletişim kurma işlevini yerine getirmektedir (Farmann et al., 2015).
- Güvenlik ve koruma mekanizmaları: Bu mekanizmalar aşırı gerilim, düşük gerilim, aşırı akım ve aşırı sıcaklık gibi anormal durumları tespit edip önleyerek batarya paketinin güvenli çalışmasını sağlamaktadır.

ISBN: 978-625-6971-84-4

2.3. Batarya Yönetim Sistemi Fonksiyonları

Bir BYS'nin birincil işlevleri temelde izleme, kontrol ve koruma olarak üç kategoride sınıflandırılabilir (I. C. Dikmen, 2022). Bu işlevlerin detayları şu şekildedir:

- İzleme: BYS, batarya paketinin voltaj, akım, sıcaklık ve SoC gibi parametrelerini sürekli olarak izlemektedir. Bunlar, batarya paketinin performansını değerlendirmek, olası sorunları teşhis etmek ve şarj-deşarj süreçlerini optimize etmek için kullanılmaktadır.
- Kontrol: BYS, izleme yoluyla toplanan verilere dayanarak batarya paketinin şarj, deşarj ve termal yönetim gibi çeşitli fonksiyonlarını kontrol etmektedir. BYS bu süreçleri optimize ederek batarya paketinin performansını, verimliliğini ve ömür uzunluğunu artırabilmektedir.
- Koruma: BYS, batarya paketinin güvenliği ve güvenilirliği için risk oluşturabilecek anormal durumları tespit etmek ve önlemekten sorumludur. Bu, aşırı gerilim, düşük gerilim, aşırı akım, aşırı sıcaklık ve kısa devre koşullarının yönetilmesini içermektedir. Tespit edilen bir arıza durumunda BYS, olası hasarı azaltmak ve güvenliği sağlamak için batarya paketinin yük veya şarj cihazıyla bağlantısını kesmek gibi uygun eylemleri gerçekleştirmektedir.

3. Batarya Yönetim Sistemlerinde Karşılaşılan Teknik Zorluklar

3.1. Şarj Durumu Tahmini

Bataryanın şarj durumunun (SoC) doğru tahmin edilmesi, optimum enerji yönetimi ve elektrikli aracın güvenli çalışması için kritik öneme sahiptir. Bununla birlikte, bataryanın doğrusal olmayan davranışı ve sıcaklık, yaşlanma ve kendi kendine deşarj gibi faktörler nedeniyle SoC'ın belirlenmesi karmaşık iş haline gelmektedir (Waag et al., 2014). SoC tahmini için coulomb sayımı, açık devre voltajı (OCV) yöntemi ve Kalman filtreleri ve yapay sinir ağları kullanan model tabanlı yaklaşımlar dâhil olmak üzere çeşitli yöntemler önerilmiştir (Hannan et al., 2017). Her yöntemin avantajları ve sınırlamaları vardır ve devam eden araştırmalar daha doğru ve sağlam (robust) SoC tahmin algoritmalarını geliştirmeyi amaçlamaktadır.

3.2. Sağlık Durumu Tahmini

Bir pilin sağlık durumu (SoH), ilk durumuna kıyasla kalan kapasitesini ve performansını ifade etmektedir. Doğru SoH tahmini, pilin kalan faydalı ömrünü tahmin etmek, bakım planlaması yapmak ve güvenli çalışmayı temin etmek için çok önemlidir. Ancak, karmaşık kimyasal ve fiziksel bozulma mekanizmaları, sıcaklık değişimleri, akım, depolama zamanı ve döngü geçmişi gibi çeşitli faktörlerin etkisi nedeniyle SoH'in tahmin edilmesi oldukça zor bir teknik problemdir (İ. C. Dikmen & Karadağ, 2021a). SoH tahmini için kullanılan yöntemler arasında kapasite modellemesi, empedans tabanlı yöntemler ve makine öğrenimi algoritmalarını kullanan; veri odaklı veya model odaklı yaklaşımlar yer almaktadır (I. C. Dikmen, 2022). Daha doğru ve güvenilir SoH tahmin yöntemlerini geliştirmek için çok sayıda çalışma yapılmaktadır (Bockrath et al., 2023; Chen et al., 2023; Lin et al., 2023; Z. Zhang et al., 2023).

3.3. Termal Yönetim

Sıcaklık bataryanın performansını, güvenliğini ve ömrünü önemli ölçüde etkileyen bir faktördür. Bu nedenle termal yönetim BYS'nin önemli bir fonksiyonudur. Aşırı ısı yaşlanmanın hızlanmasına ve kapasite kaybına yol açabilirken, düşük sıcaklıklar güç çıkışının azalmasına ve iç direncin artmasına neden olabilmektedir (Jaguemont et al., 2016). Hava soğutma, sıvı soğutma ve faz değişim malzemeleri (PCM'ler) de dâhil olmak üzere çeşitli termal yönetim teknikleri geliştirilmiştir (Mustafa et al., 2023; Weragoda et al., 2023). Her yöntemin avantajları ve sınırlamaları vardır ve termal yönetim stratejisinin seçimi batarya kimyası, araç tasarımı ve çalışma koşulları gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

4. Batarya Yönetim Sistemlerindeki Son Gelişmeler

4.1. Makine Öğrenimi ve Yapay Zekâ

Makine öğrenimi ve yapay zekâ (AI) teknikleri, SoC ve SoH tahmini, termal yönetim ve arıza teşhisi gibi BYS'nin çeşitli yönlerini iyileştirmek için umut verici araçlar olarak ortaya çıkmıştır (Ghalkhani & Habibi, 2023; Hossain Lipu et al., 2020; Ren & Du, 2023; W. Zhang et al., 2020). Bu teknikler, batarya parametreleri ve performans arasındaki karmaşık ilişkileri yakalayarak daha doğru ve sağlam tahmin ve kontrol algoritmaları sağlayabilmektedir. BYS'ye uygulanan makine öğrenimi algoritmalarına örnek olarak destek vektör makineleri, yapay sinir ağları ve takviyeli/ pekiştirmeli öğrenme yöntemleri gösterilebilmektedir. Devam eden araştırmalar, BYS uygulamaları için daha verimli ve etkili makine öğrenimi modelleri geliştirmeyi amaçlamaktadır. Kuantum yapay zekâ uygulamaları bu çalışmalara örnek verilebilir.

ISBN: 978-625-6971-84-4

4.2. Kablosuz Batarya Yönetim Sistemleri

Geleneksel kablolu BYS mimarileri, tek tek hücreleri izlemek ve kontrol etmek için gereken çok sayıda kablo ve konektör nedeniyle karmaşık, ağır ve güvenilirlik sorunlarına eğilimli olabilmektedir. Fakat bu tip batarya yönetim sistemlerine olan ilgi, sade yapısı ve daha az arıza çıkartma ihtimali sebebiyle günden güne artmaktadır (Krishna et al., 2022). Kablosuz batarya yönetim sistemleri (Wireless Battery Management System - WBYS) ağrılık gibi parametrelerin önemli olduğu uygulamalar için alternatif bir çözüm olarak önerilmiştir. Daha az kablolama karmaşıklığı, gelişmiş ölçeklenebilirlik ve gelişmiş güvenilirlik gibi avantajlar sunmaktadır (Krishna et al., 2022). Bir WBYS'de her hücre, kablosuz bir ağ üzerinden merkezi bir kontrol ünitesiyle iletişim kuran ve kapsamlı kablolama ihtiyacını ortadan kaldıran bir kablosuz sensör düğümü ile donatılmıştır. WBYS'nin geliştirilmesindeki temel zorluklar güvenilir iletişimin sağlanması, güvenlik endişelerinin giderilmesi ve kablosuz düğümlerin güç tüketiminin optimize edilmesi olarak sayılabilir.

4.3. Modüler ve Ölçeklenebilir BYS Mimarileri

Elektrikli araç pazarı büyümeye ve çeşitlenmeye devam ettikçe, farklı batarya paketi boyutlarını, kimyalarını ve konfigürasyonlarını barındırabilen modüler ve ölçeklenebilir BYS mimarilerine olan talep artmaktadır (Reindl et al., 2020). Bu tür mimariler, yeni elektrikli araç modelleri için geliştirme süresini ve maliyetini azaltmanın yanı sıra bakım ve yükseltmeleri de basitleştirebilmektedir. Modüler BYS tasarımlarına örnek olarak dağıtık, hiyerarşik ve yeniden yapılandırılabilir mimariler verilebilir (İ. C. Dikmen & Karadağ, 2021b). Bu yaklaşımlar, BYS işlevlerini birbirine bağlı birden fazla modül veya katman arasında bölerek daha fazla esneklik ve ölçeklenebilirlik sağlamaktadır. Modüler BYS mimarilerinin geliştirilmesindeki zorluklar sağlam (robust) iletişim, düşük hata toleransı ve verimli kaynak tahsisi sağlanması olarak sıralanabilir.

5. Batarya Yönetim Sistemlerinin Gelecek Beklentileri

5.1. Araç Enerji Yönetim Sistemleri ile Entegrasyon

Elektrikli araç pazarı geliştikçe, BYS'nin güç aktarma organları, ısıtma, havalandırma ve klima (HVAC) ve rejeneratif fren sistemleri gibi diğer araç enerji yönetim sistemleriyle entegre edilmesine yönelik ilgi de artmaktadır (Jaguemont et al., 2016). Bu entegre yaklaşım daha verimli enerji yönetimi sağlayarak araç performansını, menzilini ve kullanıcı konforunu artırabilmektedir. Enerji entegrasyonunu daha da geliştiren uygulama ise araçtan şebekeye (Vehicle to Grid – V2G) uygulamalarıdır. Araçtan şebekeye enerji yönetimi gelişmekte olan ve muhtemel etkisi elektrikli araç kullanımın artmasıyla artacak olan bir uygulamadır. Sürdürülebilir enerji çözümleri alanında elektrikli araçların şebekeyi etkin bir şekilde azaltma potansiyeli istikrarsızlık ve yük dengelemeyi kolaylaştırmaktadır. Çift yönlü etkinleştirerek Şebeke ile aracın bataryası arasındaki enerji akışı, puant tasarrufunu ve yük dengelemeyi teşvik etmektedir. Böylece genel şebeke verimliliğinin optimizasyonu sağlanmaktadır (Siano, 2014). Ayrıca, güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının V2G altyapısı ile entegrasyonu, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve enerji sürdürülebilirliğinin sağlanması için önemli faktör olacaktır (Mojumder et al., 2022).

5.2. Standardizasyon ve Birlikte Çalışabilirlik

Standardizasyon ve birlikte çalışabilirlik, elektrikli araçların yaygın olarak benimsenmesi ve başarısı için kritik öneme sahiptir. Şu anda, BYS tasarımları ve iletişim protokolleri farklı üreticiler arasında farklılık göstermektedir. Bu da uyumluluk sorunlarına yol açabilmekte bunun yanında yenilik ve işbirliği potansiyelini sınırlayabilmektedir (Bockarjova & Steg, 2014). Birlikte çalışabilirliği teşvik edecek ve elektrikli araç ekosisteminde yeni ürün ve hizmetlerin geliştirilmesini kolaylaştıracak BYS mimarileri, veri formatları ve iletişim protokolleri için endüstri çapında standartların geliştirme çabaları devam etmektedir.

5.3. İkinci Ömür Uygulamaları ve Geri Dönüşüm

Yollardaki elektrikli araçların sayısı arttıkça, batarya paketleri için sürdürülebilir kullanım ömrü sonu çözümlerine duyulan ihtiyaç da artmaktadır. Bir elektrikli araç aküsünün kapasitesi, aracın çalışması için gereken eşiğin altına düşebilirken, sabit enerji depolama veya yedek güç sistemleri gibi daha az talepkâr uygulamalar için hala önemli bir kapasiteye sahip olabilir (Kempton & Tomić, 2005). BYS, kullanılmış elektrikli araç akülerinin güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlayarak ikinci el uygulamalar için yeniden kullanımını kolaylaştırmada önemli bir rol oynayacaktır. Ayrıca BYS teknolojileri, kullanılmış ba-

ISBN: 978-625-6971-84-4

tarya paketlerinin sökülmesine ve işlenmesine yardımcı olabilecek batarya sağlığı ve bileşimi hakkında değerli bilgiler sağlayarak batarya malzemelerinin geri dönüşümüne katkıda bulunabilir.

6. BYS'de Gelişen Trendler ve Teknolojiler

6.1. Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Bağlantılı BYS

Nesnelerin İnterneti (IoT), otomotiv ve enerji yönetimi de dâhil olmak üzere çeşitli endüstrileri günden güne dönüştürmektedir. BYS'yi IoT ağlarına bağlayarak, batarya paketlerini uzaktan izlemek ve kontrol etmek; öngörücü bakımı etkinleştirmek, performans analizi ve optimizasyonu için değerli verileri uzaktan toplamayı mümkün kılmaktadır (Rimal et al., 2022). Bağlı BYS ayrıca araçtan şebekeye (V2G) entegrasyonunu kolaylaştırarak elektrikli araçların dağıtılmış enerji kaynakları olarak hareket etmesine ve şebeke yönetim hizmetlerine katılmasına olanak tanıyabilmektedir (Amamra & Marco, 2019). IoT özellikli BYS'deki gelecekteki gelişmeler, iletişim güvenliğini artırmaya, gecikmeyi (latency) azaltmaya ve veri analizi yeteneklerini geliştirmeye odaklanacaktır.

6.2. İleri Malzemeler ve Algılama Teknolojileri

Yeni malzemelerin ve algılama teknolojilerinin geliştirilmesi, batarya yönetim sistemlerinin (BMS) ve elektrikli araç (EV) bataryalarının performansını ve güvenilirliğini önemli ölçüde artırabileceği öngörülmektedir. Örneğin, daha yüksek enerji yoğunluğuna ve daha hızlı şarj kapasitesine sahip yeni elektrot malzemelerinin kullanılması daha verimli ve kompakt batarya paketlerinin geliştirilmesine imkân sağlayabilir. Ayrıca, fiber optik sıcaklık sensörleri, in-situ elektrokimyasal empedans spektroskopisi gibi yeni algılama tekniklerinin geliştirilmesi, batarya parametreleri hakkında gerçek zamanlı ve daha yüksek doğrulukla veri toplayarak; gelişmiş tahmin ve kontrol algoritmalarının geliştirilmesini ve uygulamalar üzerinde kullanılmasını sağlayabilir.

Elektrokimyasal empedans spektroskopisi, batarya yarı hücresi gibi elektrokimyasal sistemler için iyi bilinen bir ölçüm tekniğidir. Bir batarya paketindeki batarya hücrelerini izlemek için çevrimiçi teşhis için kullanılmaktadır (Koch et al., 2014). Ayrıca, batarya dinamiklerinin eşdeğer devre modelleri (Equivalent Circuit Model - ECM), karmaşık elektrokimyasal batarya modellerinden hesaplama açısından daha verimlidir ve bu nedenle EV'ler veya hibrit elektrikli araçlar için BYS'deki kestirim algoritmalarının geliştirilmesinde tercih edilen yaklaşımlardan birisidir. Bu alanda devam eden araştırmalar, BYS algoritmalarının doğruluğunu, elektrikli araç bataryalarının performansını ve dayanıklılığını artırabilecek yeni malzemeleri ve algılama teknolojilerin geliştirilmesine temel teşkil etmektedir.

6.3. BYS Güç Kaynağı için Enerji Hasadı

BYS tasarımındaki zorluklardan biri de, izleme ve kontrol bileşenleri için güvenilir ve verimli bir güç kaynağı sağlamaktır. Ortamdaki enerji kaynaklarını (titreşim, termal gradyanlar veya radyo frekansı sinyalleri gibi) elektrik enerjisine dönüştüren enerji hasadı teknikleri, BYS'ye güç sağlamak için potansiyel olarak kullanılabilmektedir. Bu sayede ek pillere/bataryaya veya kablolu bağlantılara olan ihtiyacı azaltmaktadır (Yamaguchi et al., 2021). BYS'ye uygulanabilen enerji hasadı teknolojilerine örnek olarak piezoelektrik, termoelektrik ve RF enerji hasadı cihazları verilebilir. Batarya paketi ağırlığı ve karmaşıklığı üzerindeki etkiyi en aza indirirken, BYS bileşenlerinin güç gereksinimlerini karşılayabilecek enerji hasadı çözümleri geliştirmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğu aşikârdır. Mevcut sistemlerde DC-DC dönüştürücüler kullanılmaktadır (İ. C. Dikmen et al., 2021).

7. BYS'ler için Kuantum-Klasik Hibrit Sistemler (KKHS) ve Kuantum Kriptografi Potansiyeli

Kuantum-klasik hibrit sistemler (Quantum Classic Hybrid Systems - QCHS), kuantum ve klasik hesaplama sistemlerinin avantajlarını birleştirerek, klasik hesaplama mimarilerinin sağlamlığını ve çok yönlülüğünü kullanırken süperpozisyon ve dolanıklık gibi kuantum hesaplama ilkelerinin gücünden yararlanmaktadır (Córcoles et al., 2013; Preskill, 2018). KKHS, şarj ve deşarj programlarının optimizasyonu, gelişmiş malzemelerin keşfi, durum tahmini ve arıza teşhisi ve prognozu dâhil olmak üzere BYS'nin çeşitli yönlerini potansiyel olarak geliştirebileceği değerlendirilmektedir. Örneğin, KKHS, batarya şarj ve deşarj programlarını klasik algoritmalardan daha verimli bir şekilde optimize etmek için kuantum yaklaşık optimizasyon algoritması (Quantum Approximate Optimization Algorithm - QAOA) gibi kuantum algoritmalarını kullanabilir (De Palma et al., 2023; Farhi et al., 2014). Ayrıca, Varyasyonel Kuantum Özçözümleyici (Variational Quantum Eigensolver - VQE) algoritması gibi kuantum kimyası simülasyonları, yeni malzemelerin özelliklerini atomik düzeyde modellemek ve tahmin etmek için kullanılabilir ki bu da pil performansının ve özelliklerinin geliştirilmesine olanak vermektedir (Cao et al., 2019; Kandala et al., 2017).

Kuantum hesaplama yöntemleri ile geliştirilmiş makine öğrenimi algoritmaları da daha doğru ve verimli durum tahmini, arıza teşhisi ve arıza tahmini için KKHS'ye dâhil edilebilir (Schuld et al., 2015; Tamilselvi et al., 2021). Ayrıca, kuantum anahtar dağıtımı (Quantum Key Distribution - QKD) gibi kuantum kriptografi yöntemleri, hassas verileri gizli dinleme ve kurcalamaya karşı koruyarak

elektrikli araçların ve BYS'lerinin güvenliğini artırılmasında kullanılabileceği değerlendirilmektedir (Bennett & Brassard, 2014; Mosca, 2017).

KKHS, kuantum yaklaşık optimizasyon algoritması ve Kuantumdan ilham alan Parçacık Sürü Optimizasyonu (Quantum Particle Swarm Optimization - QPSO) gibi kuantum optimizasyon algoritmalarını kullanarak elektrikli araçlarda enerji yönetiminin optimizasyonunu daha da iyileştirebilir. Ayrıca, optimum enerji yönetim çözümlerini tek başına klasik algoritmalardan daha etkili bir şekilde belirleme potansiyeline sahiptir (Mahdi et al., 2018). Bunun yanında KKHS, gelişmiş doğruluk ve verimlilik için kuantum destek vektör makineleri (Quantum Support Vector Machines - QSVM) ve kuantum sinir ağları (Quantum Neural Networks - QNN) gibi kuantumla geliştirilmiş makine öğrenimi algoritmalarını kullanarak elektrikli araç BYS'sinin arıza teşhisini ve prognozunu geliştirebilirler (Biamonte et al., 2017).

KKHS, elektrikli araç şarj altyapısı bağlamında kuantum optimizasyon algoritmaların ve klasik tekniklerin kombinasyonu yoluyla şarj kaynaklarının tahsisini optimize edebilir; enerji talebini yönetebilirler (Aljanad et al., 2018; Rajesh & Shajin, 2021). Kuantum hesaplama teknolojisi gelişmeye devam ettikçe, kuantum ve klasik sistemlerin entegrasyonunun elektrikli araçlar ve bunların batarya yönetim sistemleri alanında önemli atılımlara yol açacağı değerlendirilmektedir.

8. Elektrikli Araç Endüstrisi ve Toplum için Çıkarımlar

BYS teknolojilerindeki ilerlemelerin elektrikli araç endüstrisi ve bir bütün olarak toplum için geniş kapsamlı etkileri vardır. Gelişmiş BYS, elektrikli araç bataryalarının performansını, güvenliğini ve dayanıklılığını artırarak elektrikli araçların yaygın olarak benimsenmesine katkıda bulunabilir. Sera gazı emisyonlarını ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı da azaltabilir. Ayrıca, BYS'nin araç enerji yönetim sistemleri ve IoT ağları ile entegrasyonu; yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu destekleyecek ve şebeke istikrarını artırabilecek V2G hizmetleri gibi yeni iş modellerini mümkün kılabilir.

BYS'lerinin geliştirilmesinin çevresel ve ekonomik faydalara ek olarak, önemli sosyal etkileri de olabilir. Örneğin, kullanılmış elektrikli araç bataryalarının ikinci el uygulamalar için yeniden kullanılması, atık ve kaynak tüketimini azaltarak döngüsel ekonomi ilkelerini teşvik edebilir (Etxandi-Santolaya et al., 2023). Ayrıca, BYS'nin standardizasyonunun ve birlikte çalışabilirliğinin elektrikli araç ekosisteminde yeni ürün ve hizmetlerin sunulmasını kolaylaştırarak, inovasyonu ve istihdamı teşvik edebileceği değerlendirilmektedir.

9. Otonom Araçlarda BYS'nin Rolü

Otomotiv endüstrisi otonom araçlara doğru yöneldikçe, BYS'nin rolü daha da kritik hale gelmektedir. Otonom araçlar, güvenli ve verimli bir şekilde çalışmak için çok sayıda sensöre, iletişim sistemine ve gelişmiş algoritmalara güvenmektedir. BYS, batarya paketinin güvenlik ve dayanıklılığı korurken otonom sürüş sistemlerinin artan güç taleplerini optimal şekilde karşılayabilmesini sağlamada önemli bir bileşendir (Han et al., 2020).

9.1. Otonom Sistemler için Güç Yönetimi

Otonom araçlarda sensörler, iletişim modülleri ve yerleşik bilgisayarlar gibi çeşitli sistemlerin güç tüketimi önem arz etmektedir. BYS, aracın çalışması için yeterli şarj durumunu korurken batarya paketinin bu güç taleplerini karşılayabilmesini sağlamak için enerji yönetim stratejilerini optimize etmelidir (Alonso et al., 2022). Bu da, otonom sürüş sistemlerinin özel güç gereksinimlerini dikkate alan ve batarya paketinin performansını buna göre uyarlayan yeni kontrol algoritmalarının geliştirilmesini gerekli kılmaktadır.

9.2. Yedeklilik ve Arıza Güvenliği Mekanizmaları

Güvenlik, otonom araçların geliştirilmesinde ve gerçek zamanlı uygulamalarında en önemli endişe kaynaklarından birisidir. BYS, batarya paketinin güvenli çalışmasını sağlamada çok önemli bir rol oynamaktadır. Standart güvenlik ve koruma işlevlerine ek olarak, otonom araçlar için BYS'nin bataryayla ilgili arıza riskini ve bunların olası sonuçlarını en aza indirmek amacıyla ek yedeklilik ve arıza emniyet mekanizmaları içermesi gerekmektedir. Bu, yedekli izleme ve kontrol sistemlerinin yanı sıra gelişmiş arıza tespit ve teşhis tekniklerinin kullanılması, yeni tekniklerin geliştirilmesi otonom araçların uygulanabilirliği bakımından önemli unsurların başında yer almaktadır.

9.3. Otonom Araç Kontrol Sistemleri ile Entegrasyon

BYS'nin otonom araç kontrol sistemleri ile sorunsuz entegrasyonu, aracın verimli çalışması için hayati bir unsurdur. Bu, BYS ile otonom sürüş kontrolörü, güç aktarma organları ve enerji yönetim sistemleri gibi diğer araç sistemleri arasında gerçek zamanlı bilgi ve kontrol komutları alışverişini sağlayan yeni iletişim protokollerinin ve ara yüzlerinin geliştirilmesini beraberinde getirmektedir. Bu entegre yaklaşım, batarya paketinin güvenli çalışmasını sağlarken otonom aracın genel performansını ve enerji verimliliğini optimize etmeye yardımcı olmaktadır.

ISBN: 978-625-6971-84-4

10. Çok Kimyalı Batarya Yönetim Sistemleri (ÇKBYS)

Çok kimyalı batarya yönetim sistemleri (Multi Chemistry Battery Management System - MCBMS), elektrikli araçlarda ve enerji depolama sistemlerinde farklı kimyalara sahip bataryaların çalışmasını ve performansını yönetmek için etkili bir çözüm olarak geliştirilmiştir. Bu sistemler, her bir kimya türünün farklı özelliklerini ve sınırlamalarını dikkate alırken batarya paketinin şarj, deşarj ve termal yönetimini optimize etmek için çeşitli algoritmaları ve teknikleri entegre etmektedir.

ÇKBYS'nin temel zorluklarından birisi her bir kimya türünün performansını, ömrünü ve güvenliğini etkileyen benzersiz elektrokimyasal özelliklere sahip olması nedeniyle batarya paketinin güvenli ve verimli çalışmasını sağlamaktır. Bu nedenle ÇKBYS, farklı çalışma koşulları altında batarya paketinin davranışını doğru bir şekilde tahmin etmek ve kontrol etmek için gelişmiş algoritmalar ve modelleme tekniklerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

Çeşitli araştırma çalışmaları, lityum-iyon ve kurşun-asit bataryaların bir kombinasyonunu kullanmak gibi ÇKBYS için farklı yaklaşımlar önerilmiş ve değerlendirmiştir (Chung & Trescases, 2017; Islam et al., 2008). Ek olarak, bazı çalışmalarda batarya kimyasını otomatik olarak tanımlayarak uygun enerji yönetimi sağlayabilen üniversal batarya yönetim sistemleri ve tanılama yöntemleri de geliştirilmiştir (I. C. Dikmen, 2022; İ. C. Dikmen et al., 2018; İ. C. Dikmen & Karadağ, 2021c, 2021e, 2021d, 2022; Karadağ & Dikmen, 2021).

11. Sonuç

Batarya yönetim sistemlerindeki gelişmeler, elektrikli araçların geleceğini şekillendirmede çok önemli bir rol oynamaktadır. Bunun yanında da sürdürülebilir ve akıllı ulaşım sistemlerine doğru dönüşüme katkıda bulunmaktadır. Bu teknolojilerin daha temiz, daha verimli ve daha güvenli bir enerji ortamı yaratma potansiyeli gün geçtikçe daha belirgin hale gelmektedir.

BYS'de gelecekteki araştırma ve gelişmeler için birkaç alana odaklanmak çok önemlidir. Makine öğrenimi ve yapay zekâ, şarj durumu ve sağlık durumu tahminlerinin doğruluğunu artırarak daha verimli enerji yönetimi sağlayabilir. Nesnelerin İnternetinin (IoT) entegrasyonu, BMS performansının gerçek zamanlı izlenmesini ve optimizasyonunu kolaylaştırabilirken, malzeme ve algılama teknolojilerindeki ilerlemeler daha sağlam ve verimli BYS'ye yol açabilir.

BYS'nin standardizasyonu ve birlikte çalışabilirliği, elektrikli araçların yaygın olarak benimsenmesinde ve elektrikli araç ekosisteminde yeni iş modellerinin ve

hizmetlerin ortaya çıkmasında önemli rol oynamaktadır. Bu alanlardaki çabalar, BYS'nin araç enerji yönetim sistemleri, şarj altyapısı ve elektrik şebekesi ile sorunsuz entegrasyonunu sağlayacaktır.

Kuantum-klasik hibrit sistemler ve kuantum kriptografi alanındaki ileri araştırmalar, enerji yönetimi, arıza teşhisi ve tahmininin yanı sıra şarj altyapısı yönetimini de optimize etme potansiyeline sahiptir. Kuantum kriptografinin bu sistemlere dâhil edilmesi, elektrikli araçların ve BYS'nin güvenliğini daha da artırabilir.

Çok kimyalı batarya yönetim sistemleri, özellikle değişken güç ve enerji yoğunluğu gerektiren uygulamalarda, farklı kimyalara sahip bataryaları aynı anda yönetmek için umut verici bir teknik olarak ortaya çıkmaktadır. Bu alanda gelecekte yapılacak araştırmalar, ÇKBYS için daha doğru ve sağlam algoritmalar geliştirmeye ve farklı kimyalara ve özelliklere sahip yeni batarya türlerini bir arada kullanma potansiyelini araştırmaya odaklanmalıdır.

Özetle, batarya yönetim sistemlerindeki gelişmeler, elektrikli araçların evriminde ve dolayısıyla sürdürülebilir, akıllı ulaşım sistemlerine geçişte kritik bir rol oynamaktadır. Bu teknolojiler daha temiz, daha verimli ve daha güvenli bir enerji kullanımına katkıda bulunmak için büyük bir potansiyele sahiptir.

Referanslar

Aljanad, A., Mohamed, A., Shareef, H., & Khatib, T. (2018). A novel method for optimal placement of vehicle-to-grid charging stations in distribution power system using a quantum binary lightning search algorithm. *Sustainable Cities and Society*, *38*, 174–183. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.12.035

Alonso, M., Amaris, H., Martin, D., & Escalera, A. D. La. (2022). Energy Management of Autonomous Electric Vehicles by Reinforcement Learning Techniques. *2022 Second International Conference on Sustainable Mobility Applications, Renewables and Technology (SMART)*, 1–7. https://doi.org/10.1109/SMART55236.2022.9990292

Amamra, S.-A., & Marco, J. (2019). Vehicle-to-Grid Aggregator to Support Power Grid and Reduce Electric Vehicle Charging Cost. *IEEE Access*, *7*, 178528–178538. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2958664

Bennett, C. H., & Brassard, G. (2014). Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing. *Theoretical Computer Science*, *560*, 7–11. https://doi.org/https://doi.org/10. 1016/j.tcs.2014.05.025

Biamonte, J., Wittek, P., Pancotti, N., Rebentrost, P., Wiebe, N., & Lloyd, S. (2017). Quantum machine learning. *Nature*, *549*(7671), 195–202. https://doi.org/10.1038/nature23474

Bockarjova, M., & Steg, L. (2014). Can Protection Motivation Theory predict pro-environmental behavior? Explaining the adoption of electric vehicles in the Netherlands. *Global Environmental Change*, *28*, 276–288. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.010

Bockrath, S., Lorentz, V., & Pruckner, M. (2023). State of health estimation of lithium-ion batteries with a temporal convolutional neural network using partial load profiles. *Applied Energy*, *329*, 120307. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy. 2022.120307

Cao, Y., Romero, J., Olson, J. P., Degroote, M., Johnson, P. D., Kieferová, M., Kivlichan, I. D., Menke, T., Peropadre, B., Sawaya, N. P. D., Sim, S., Veis, L., & Aspuru-Guzik, A. (2019). Quantum Chemistry in the Age of Quantum Computing. *Chemical Reviews*, *119*(19), 10856–10915. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00803

Chen, L., Xu, C., Bao, X., Lopes, A., Li, P., & Zhang, C. (2023). State-of-health estimation of Lithium-ion battery based on back-propagation neural network with adaptive hidden layer. *Neural Computing and Applications*. https://doi.org/10.1007/s00521-023-08471-7

Chung, S., & Trescases, O. (2017). Hybrid Energy Storage System With Active Power-Mix Control in a Dual-Chemistry Battery Pack for Light Electric Vehicles. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, *3*(3), 600–617. https://doi.org/10.1109/TTE.2017.2710628

Córcoles, A. D., Gambetta, J. M., Chow, J. M., Smolin, J. A., Ware, M., Strand, J., Plourde, B. L. T., & Steffen, M. (2013). Process verification of two-qubit quantum gates by randomized benchmarking. *Phys. Rev. A*, *87*(3), 30301. https://doi.org/10.1103/PhysRevA.87.030301

De Palma, G., Marvian, M., Rouzé, C., & França, D. S. (2023). Limitations of Variational Quantum Algorithms: A Quantum Optimal Transport Approach. *PRX Quantum*, *4*(1), 10309. https://doi.org/10.1103/PRXQuantum.4.010309

Dikmen, I. C. (2022). *Elektrikli araçlar için akıllı batarya yönetim sisteminin tasarımı ve uygulaması / Design and implementation of an intelligent battery management system for electric vehicles* [İnönü University]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=sELqxhTlFGAjsbjOuuiyCOBy8SV2K-HDoponAHp0wG_ w2fIWvVu9JckEj3r8lg5Y

Dikmen, İ. C., Ekici, Y. E., Karadağ, T., Abbasov, T., & Hamamcı, S. E. (2021). Electrification in Urban Transport: A Case Study with Real-time Data. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, *9*(1), 69–77. https://doi.org/10.17694/bajece.837248

Dikmen, I. C., & Karadag, T. (2021). Onboard Battery Type Determination. *ISMSIT 2021 - 5th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative*

Technologies, Proceedings, 360–365. https://doi.org/10. 1109/ISMSIT52890. 2021.9604658

Dikmen, İ. C., & Karadağ, T. (2021a). *Batarya Yönetim Sistemi Fonksiyonlarinin Gelişimi ve Topolojilerinin İncelenmesi* (pp. 49–60). https://www.erciyeskongresi.org/congressbooks

Dikmen, İ. C., & Karadağ, T. (2021b). Batarya Yönetim Sistemi Fonksiyonlarının Gelişimi ve Topolojilerinin İncelenmesi. *6. Uluslararası Erciyes Bilimsel Araştırmalar Kongresi*, 49–60.

Dikmen, İ. C., & Karadağ, T. (2021c). *Lityum Tabanlı Piller için Pil Kimyasını Elektronik Olarak Belirleme Yöntemi* (Patent No. 2021-GE-212728).

Dikmen, İ. C., & Karadağ, T. (2021d). Onboard Battery Type Determination. *2021 5th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*, 360–365. https://doi.org/10. 1109 /ISMSIT52890. 2021.9604658

Dikmen, İ. C., & Karadağ, T. (2021e). *Pil Kimyasını Otomatik Belirleyebilen Adaptif, Modüler ve Akıllı Batarya Yönetim Sistemi* (Patent No. 2021/018973).

Dikmen, İ. C., & Karadağ, T. (2022). Electrical Method for Battery Chemical Composition Determination. *IEEE Access*, *10*, 6496–6504. https://doi.org/10. 1109/ACCESS.2022.3143040

Dikmen, İ. C., Seven, S., & Karadağ, T. (2018). A Numerical Study for Automatic Battery Identification in Hybrid Battery Packs for Electric Vehicles. *Proceedings of the International 9th Automotive Technologies Congress*, 825–832.

Doyle, M., Fuller, T. F., & Newman, J. (1993). Modeling of Galvanostatic Charge and Discharge of the Lithium/Polymer/Insertion Cell. *Journal of The Electrochemical Society*, *140*(6), 1526. https://doi.org/10.1149/1.2221597

Ecker, M., Gerschler, J. B., Vogel, J. W., Käbitz, S., Hust, F., Dechent, P., & Sauer, D. U. (2012). Development of a lifetime prediction model for lithium-ion batteries based on extended accelerated aging test data. *Journal of Power Sources*, *215*, 248–257.

Etxandi-Santolaya, M., Canals Casals, L., Amante García, B., & Corchero, C. (2023). Circular Economy-Based Alternatives beyond Second-Life Applications: Maximizing the Electric Vehicle Battery First Life. In *World Electric Vehicle Journal* (Vol. 14, Issue 3). https://doi.org/10.3390/wevj14030066

Farhi, E., Goldstone, J., & Gutmann, S. (2014). *A Quantum Approximate Optimization Algorithm*.

Farmann, A., Waag, W., Marongiu, A., & Sauer, D. U. (2015). Critical review of on-board capacity estimation techniques for lithium-ion batteries in electric and

hybrid electric vehicles. *Journal of Power Sources*, *281*, 114–130. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.01.129

Ghalkhani, M., & Habibi, S. (2023). Review of the Li-Ion Battery, Thermal Management, and AI-Based Battery Management System for EV Application. In *Energies* (Vol. 16, Issue 1). https://doi.org/10.3390/en16010185

Han, K., Nguyen, T. W., & Nam, K. (2020). Battery Energy Management of Autonomous Electric Vehicles Using Computationally Inexpensive Model Predictive Control. In *Electronics* (Vol. 9, Issue 8). https://doi.org/10.3390/electronics9081277

Hannan, M. A., Lipu, M. S. H., Hussain, A., & Mohamed, A. (2017). A review of lithium-ion battery state of charge estimation and management system in electric vehicle applications: Challenges and recommendations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *78*, 834–854. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.001

Hossain Lipu, M. S., Hannan, M. A., Hussain, A., Ayob, A., Saad, M. H. M., Karim, T. F., & How, D. N. T. (2020). Data-driven state of charge estimation of lithium-ion batteries: Algorithms, implementation factors, limitations and future trends. *Journal of Cleaner Production*, *277*, 124110. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124110

Islam, R., Anwar, S. R. M., Kamal, A. T., Rahman, S. N., Faraby, H. M., Imtiaz, H., Jahan, M. S., & Tulip, F. S. (2008). Battery Chemistry Detection Algorithm Implementable with Intelligent Systems: A Step towards the Development of a Novel Charger Applicable for Multi-Chemistry Environment. *2008 Second International Symposium on Intelligent Information Technology Application*, *3*, 805–810. https://doi.org/10.1109/IITA.2008.441

Jaguemont, J., Boulon, L., & Dubé, Y. (2016). A comprehensive review of lithium-ion batteries used in hybrid and electric vehicles at cold temperatures. *Applied Energy*, *164*, 99–114. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.034

Kandala, A., Mezzacapo, A., Temme, K., Takita, M., Brink, M., Chow, J. M., & Gambetta, J. M. (2017). Hardware-efficient variational quantum eigensolver for small molecules and quantum magnets. *Nature*, *549*(7671), 242–246. https://doi.org/10.1038/nature23879

Karadağ, T., & Dikmen, İ. C. (2021). Yeni Nesil, Modüler ve Akıllı Batarya Yönetim Sistemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, *32*, 1103–1112. https://doi.org/10.31590/ejosat.1045564

Kempton, W., & Tomić, J. (2005). Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy. *Journal of Power*

Sources, *144*(1), 280–294. https://doi.org/https://doi. org/10.1016/j. jpowsour.2004.12.022

Koch, R., Kuhn, R., Zilberman, I., & Jossen, A. (2014). Electrochemical impedance spectroscopy for online battery monitoring - power electronics control. *2014 16th European Conference on Power Electronics and Applications*, 1–10. https://doi.org/10.1109/EPE.2014.6910907

Krishna, G., Singh, R., Gehlot, A., Akram, S. V, Priyadarshi, N., & Twala, B. (2022). Digital Technology Implementation in Battery-Management Systems for Sustainable Energy Storage: Review, Challenges, and Recommendations. In *Electronics* (Vol. 11, Issue 17). https://doi.org/10.3390/electronics11172695

Lin, M., Yan, C., & Zeng, X. (2023). State of Health Estimation Method for Lithium-Ion Batteries via Generalized Additivity Model and Transfer Component Analysis. In *World Electric Vehicle Journal* (Vol. 14, Issue 1). https://doi.org/10.3390/wevj14010014

Linden, D., & Reddy, T. B. (2002). Handbook of batteries. In *McGraw-Hill handbooks TA - TT* - (3rd ed). McGraw-Hill. https://doi.org/LK - https://worldcat.org/title/46792664

Mahdi, F. P., Vasant, P., Abdullah-Al-Wadud, M., Watada, J., & Kallimani, V. (2018). A quantum-inspired particle swarm optimization approach for environmental/economic power dispatch problem using cubic criterion function. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, *28*(3), e2497. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/etep.2497

Mojumder, M. R., Ahmed Antara, F., Hasanuzzaman, M., Alamri, B., & Alsharef, M. (2022). Electric Vehicle-to-Grid (V2G) Technologies: Impact on the Power Grid and Battery. In *Sustainability* (Vol. 14, Issue 21). https://doi.org/10. 3390/su142113856

Mosca, M. (2017). Cybersecurity in an Era with Quantum Computers: Will We Be Ready? *IEEE Security \& Privacy*, *16*, 38–41.

Mustafa, J., Alqaed, S., Husain, S., Jamil, B., Sharifpur, M., & Cheraghian, G. (2023). Effect of Phase Change Materials on Lithium-Ion Plate Batteries. In *Batteries* (Vol. 9, Issue 1). https://doi.org/10.3390/batteries9010060

Preskill, J. (2018). Quantum {C}omputing in the {NISQ} era and beyond. *Quantum*, *2*, 79. https://doi.org/10.22331/q-2018-08-06-79

Rajesh, P., & Shajin, F. H. (2021). Optimal allocation of EV charging spots and capacitors in distribution network improving voltage and power loss by Quantum-Behaved and Gaussian Mutational Dragonfly Algorithm (QGDA). *Electric Power Systems Research*, *194*, 107049. https://doi.org/https://doi. org/10.1016/j.epsr. 2021.107049

Reindl, A., Meier, H., & Niemetz, M. (2020). *Scalable, Decentralized Battery Management System Based on Self-organizing Nodes BT - Architecture of Computing Systems – ARCS 2020* (A. Brinkmann, W. Karl, S. Lankes, S. Tomforde, T. Pionteck, & C. Trinitis (eds.); pp. 171–184). Springer International Publishing.

Ren, Z., & Du, C. (2023). A review of machine learning state-of-charge and state-of-health estimation algorithms for lithium-ion batteries. *Energy Reports*, *9*, 2993–3021. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.01.108

Rimal, B. P., Kong, C., Poudel, B., Wang, Y., & Shahi, P. (2022). Smart Electric Vehicle Charging in the Era of Internet of Vehicles, Emerging Trends, and Open Issues. In *Energies* (Vol. 15, Issue 5). https://doi.org/10.3390/en15051908

Schuld, M., Sinayskiy, I., & Petruccione, F. (2015). An introduction to quantum machine learning. *Contemporary Physics*, *56*(2), 172–185. https://doi.org/10.1080/00107514.2014.964942

Siano, P. (2014). Demand response and smart grids—A survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *30*, 461–478. https://doi.org/https://doi .org/10.1016/j.rser.2013.10.022

Tamilselvi, S., Gunasundari, S., Karuppiah, N., Razak RK, A., Madhusudan, S., Nagarajan, V. M., Sathish, T., Shamim, M. Z. M., Saleel, C. A., & Afzal, A. (2021). A Review on Battery Modelling Techniques. In *Sustainability* (Vol. 13, Issue 18). https://doi.org/10.3390/su131810042

Waag, W., Fleischer, C., & Sauer, D. U. (2014). Critical review of the methods for monitoring of lithium-ion batteries in electric and hybrid vehicles. *Journal of Power Sources*, *258*, 321–339. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.02.064

Weragoda, D. M., Tian, G., Burkitbayev, A., Lo, K.-H., & Zhang, T. (2023). A comprehensive review on heat pipe based battery thermal management systems. *Applied Thermal Engineering*, *224*, 120070. https://doi.org/https://doi. org/10. 1016/j.applthermaleng.2023.120070

Yamaguchi, A., Hirohata, A., & Stadler, B. J. H. B. T.-N. M. (Eds.). (2021). Chapter 10 - Energy harvesting and generation system. In *Micro and Nano Technologies* (pp. 713–762). Elsevier. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822349-9.00016-X

Zhang, W., Li, X., & Li, X. (2020). Deep learning-based prognostic approach for lithium-ion batteries with adaptive time-series prediction and on-line validation. *Measurement*, *164*, 108052. https://doi. org/https://doi .org /10.1016/j measurement. 2020.108052

Zhang, Z., Min, H., Guo, H., Yu, Y., Sun, W., Jiang, J., & Zhao, H. (2023). State of health estimation method for lithium-ion batteries using incremental capacity and long short-term memory network. *Journal of Energy Storage*, *64*, 107063. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107063

ISBN: 978-625-6971-84-4



BÖLÜM 11

ISBN: 978-625-6971-84-4

DESTEK VEKTÖR MAKİNELERİ VE ÖZELLİK SEÇİMİ ALGORİTMALARININ İNSAN-BİLGİSAYAR ETKİLEŞİMİ PROBLEMLERİNDEKİ BAŞARIM ANALİZİ

Doç. Dr. Çiğdem İnan ACI[1]

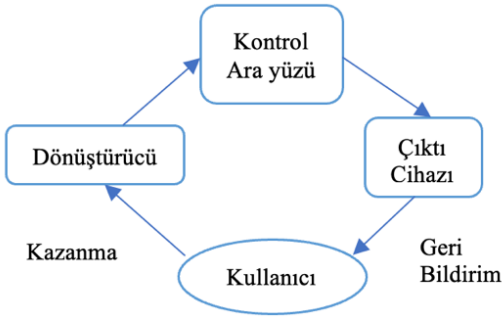
Arş.Gör. Gizen MUTLU[2]

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ACI[3]

1. Giriş

İnsan Bilgisayar Etkileşimi (İBE) ve İnsan-Makine Ara yüzü (İMA), insanların harici çevre birimleri veya elektronik cihazları kontrol etmesine olanak tanıyan teknolojilerin bir araya gelmesiyle oluşur. Görme, duyma, dokunma, jest gibi doğrudan bir ortamla, beyin veya kas aktivitesi gibi dolaylı bir ortam aracılığıyla insanlar cihazlarla etkileşime girebilir (Quitadamo vd., 2017).

Şekil – 1. İBE Ara yüzü (Quitadamo vd., 2017).



[1] Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, ORCID No: 0000-0002-0028-9890
[2] Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. ORCID No: 0000-0001-7553-2077
[3] Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, ORCID No: 0000-0002-7245-8673

İBE Şekil 1'de gösterilen bileşenlerden oluşmaktadır. Kazanma veya Kazanım olarak geçen adım, veri iletimiyle ilgili olan edinimdir. Dönüştürücüye ulaşan kazanım, ölçülen sinyallerin özelliklerinin çıkarılmasına ve tipik olarak sınıflandırma algoritması aracılığıyla kullanıcının niyetinin tanınmasıdır. Kontrol ara yüzü, sınıflandırma çıktısını harici bir cihaz için bir kontrol komutuna çevirir ve çıktı cihazına ileterek geri bildirimi oluşturur. Tüm İBE zincirinin özü, kullanıcının görevi doğru bir şekilde yerine getirmesi için eğitilirken, sınıflandırıcıların da belirli bir görevi doğru şekilde tanıması için eğitilmesi gerekir. Bu sebeple literatürdeki birçok çalışmada, sınıflandırma yöntemlerinden elde edilen sonuçlarda mümkün olduğunca yüksek doğruluk hedeflenmektedir (Quitadamo vd., 2017).

Literatürde Destek Vektör Makineleri'nin (DVM) kullanıldığı İBE çalışma alanlarında yapılan mevcut birçok çalışma bulunmaktadır (Quitadamo vd., 2017; Sailunaz & Alhajj, 2019; Toledo-Pérez, vd., 2019; Wang, vd., 2014). DVM, sınıflandırma algoritmaları arasında durağan olmayan verilerle çalışmaya uygun alt yapısı ve yüksek sınıflandırma doğruluğu sayesinde İBE uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, İBE alanında son beş yıl içerisinde yapılmış güncel çalışmalarda DVM'lerin rolünü ve katkısını açıklamaktır. Arama, İBE'nin sağlık, teknoloji, Doğal Dil İşleme (DDİ), jest, konuşma tanıma ve duygu tanıma gibi alanlarında DVM'nin kullanımı olarak sınırlanmıştır. En çok benimsenen İBE alanlarında DVM uygulamalarına genel bir bakış açısı da dahil olmak üzere DVM'lerin altında yatan ana teorik yönler açıklanmış ve ayrıntılar tablolanmıştır. Araştırmalarda yer alan diğer sınıflandırıcılarla küçük karşılaştırmalar da dahil olmak üzere, literatürdeki DVM uygulama sonuçları analizi edilmiştir ve karşılaştırılmıştır. Kaynak bibliyografisi başta Scopus, Google Scholar, IEEE Xplore, Springer, Wiley gibi çevrimiçi kaynaklardan 2019 yılına kadar uzanmaktadır.

ISBN: 978-625-6971-84-4

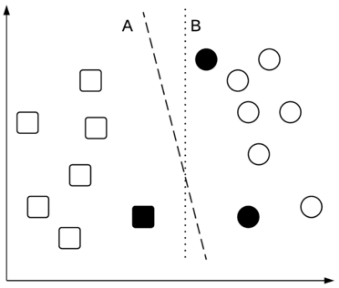
2. Destek Vektör Makineleri (DVM)

DVM'ler birden çok uygulama alanında en güçlü ve sağlam sınıflandırma ve regresyon algoritmalarından biri olması sebebiyle araştırmacılar arasında oldukça popüler bir algoritmadır. Ayrıca DVM yöntemi sınıflandırma yeteneğini geliştirmek ve parametreleri optimize etmek için evrimleşen diğer algoritmalar gibi, diğer gelişmiş yöntemlere de entegre edilebilir. DVM'lerin öznitelik sayısı fazla olan büyük veri kümelerinde, çoklu sınıflandırma ve dengesiz veri kümeleri üzerinde iyi performans göstermediği araştırmalar sonucunda öğrenilmiştir. Ancak DVM algoritmaları çeşitli bilimsel ve mühendislik alanlarındaki araştırmalarda ve uygulamalarda oldukça kabul gören bir algoritmadır. DVM, (Cortes &Vapnik, 1995) sınıflandırma ve regresyon problemleri için çekirdek tabanlı bir MÖ modeli olarak tanıtılmıştır. İkili sınıflandırma problemlerini çözmek için güçlü bir algoritma olduğundan, diğer denetimli öğrenme algoritmalarından da üstün olduğu kabul görmektedir (Cervantes vd., 2020).

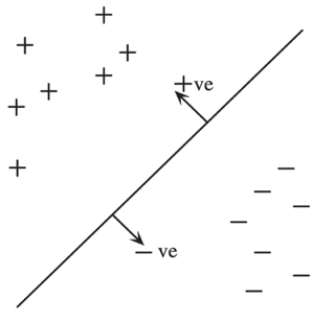
Bu bölümde DVM'lere kısa bir giriş yapıp, literatürde en sık kullanılan alt metodolojileri ele alınacaktır.

2.1. Marjin Maksimizasyonu ve İkili Sınıflandırma

Şekil – 2: İkili Sınıflandırma Problemi (Quitadamo vd., 2017)



Şekil 2'de karelerin birinci sınıfa nesneleri, dairelerin de ikinci sınıfa ait nesneleri temsil ettiği varsayılırsa, örnek çizgi A veya B çizgisi gibi sırasıyla sadece kareleri ve daireleri içeren bölgeyi ikiye ayırır. Şekilden görüldüğü üzere, A çizgisi B'ye göre daha iyi ayrım yapmaktadır. Bunun sebebi, daha iyi bir marj ile ayrım yapmasından kaynaklanmaktadır (Brachman vd., 2011).



Şekil – 3: Sınıflandırıcının karar fonksiyonu $w.x + b$ (Brachman vd., 2011).

$w.x + b = 0$'a karşılık gelen hiper düzlem Şekil 3'te düz bir çizgi olarak gösterilmiştir. Bu hiperdüzlem bir tarafta $y_i = (w.x + b \geq 0)$ denklemini sağlayan noktaları, diğer tarafta da $y_i = (w.x + b \leq 0)$ denklemini sağlayan noktaları ayırmaktadır.

İkili sınıflandırmada $y_i \pm 1$ noktalarına karşılık gelen x_i $(i = 1, \dots, m)$ elemanlarının sınıflandırma probleminde karar fonksiyonu Denklem 1'de ele alınmıştır (Brachman vd., 2011):

$$f(x) = sign(w.x + b). \quad (1)$$

$w.x + b = 1$ ve $w.x + b = -1$'den geçen hiper düzlemlerin arasındaki bölge *marjin* olarak adlandırılmaktadır. Bu nedenle, marjı en üst düzeye çıkarmak Denklem 2 ve Denklem 3'ü en aza indirgemekle eş değerdir (Brachman vd., 2011):

$$\frac{1}{2}\|w\|_2^2, \quad (2)$$

$$y_i(w.x_i + b) \geq 1, \forall_i. \quad (3)$$

DVM'lerde eğitim algoritması, çözümü küresel ve benzersiz olan Kuadratik Programlama (KP) ile çözülecek şekilde yeniden formüle edilir. Her x_i verisinin y_i'ye karşılık geldiği ve $(-1\ veya + 1)$ sınıflarına atandığı

ISBN: 978-625-6971-84-4

$(x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m) \in \mathbb{R}^N x \{-1, +1\}$ şeklinde giriş verisi olduğu varsayılmaktadır. Eğer bu veriler doğrusal olarak ayrılamazlarsa, dönüştürülen verilerin doğrusal olarak ayrılabileceği yeni bir özellik uzayı içinde doğrusal olmayan bir dönüşüm ile eşlenirler. Bu şekilde elde edilen nesne türlerini ayıran hiper düzlemler Denklem1, Denklem 2, ve Denklem 3'te ele alınmıştır.

Eğer veri noktaları birbirlerine çok yakınsa ve doğrudan ayırabilmek mümkün değilse, bu noktada çekirdek fonksiyonlarını Denklem 4 ve Denklem 5'te gösterildiği gibi kullanmak gerekmektedir (Toledo-Pérez vd., 2019).

$$F(\alpha) = \sum_{i=1}^{m} \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{j,k=1}^{m} \alpha_j \alpha_k y_j y_k K(x_j, x_k), \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{m} y_i \alpha_i = 0, C \geq \alpha_i \geq 0, i = 1, \dots, m. \quad (5)$$

$K(x_j, x_k)$ Çekirdek fonksiyonu, Radyal Temel Fonksiyon (RTF), Gaussian, Polinom veya Lineer olabilir. Bir polinom çekirdek fonksiyonu Denklem 6'da ele alındığı gibi Lineer, Kuadratik, Kübik veya herhangi bir dereceye sahip (d) olabilir (Purushothaman & Vikas, 2018):

$$K_p(x_j, x_k) = (1 + x_j . x_k)^d. \quad (6)$$

RTF çekirdek fonksiyonu Denklem 7'deki gibi hesaplanır (Sukawattanavijit vd., 2017):

$$K_R(x_j, x_k) = exp(-\gamma \|x_j - x_k\|)^2. \quad (7)$$

Gaussian çekirdek fonksiyonu Denklem 8'deki gibi hesaplanır (Purushothaman & Vikas, 2018):

$$K_G(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (8)$$

$\gamma = 1/2\sigma^2$, σ standart sapma.

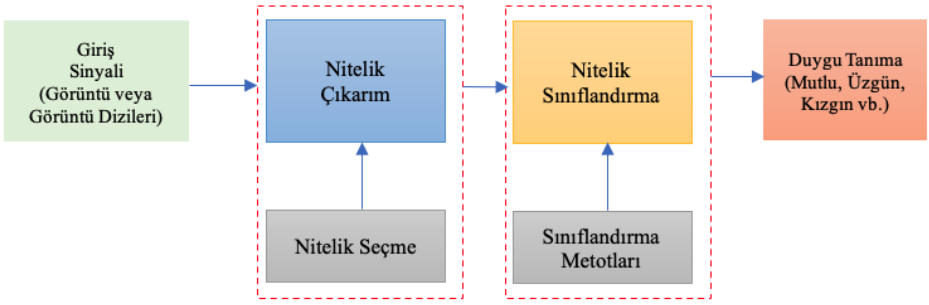
DVM yönteminde ikiden fazla sınıfı sınıflandırmak için, iki farklı teknik kullanılabilir. Bire Karşı Bir (BKB), sınıflar arasında birer birer ayrım yaparak birinci kategori yalnızca başka bir kategoriye göre karşılaştırılır. Bire Karşı Hepsi (BKH) ise her sınıfı diğerlerinden ayırır (Toledo-Pérez vd., 2019).

3. İnsan Bilgisayar Etkileşiminde Destek Vektör Makinelerinin Kullanım Alanları

3.1. Duygu Tanıma (DT) Sistemlerinde Destek Vektör Makineleri

İnsan duyguları farklı durumlarda karar vermenin, problem çözmenin, iletişim kurmanın ve müzakere etmenin merkezi bir parçası olmasıyla birlikte nasıl düşündüğümüz, nasıl tepki verdiğimiz, nasıl davrandığımız konusunda günlük hayatımızda önemli bir konumdadır (Egger, vd., 2019). Duygular ve hisler birbirine benzese de duyguların pozitif, nötr ve negatif gibi kutupsallığı daha geniş bir anlam ifade etmektedir (Munezero, vd., 2014). Duygu, değişken bir yapı olup içsel ve dış fiziksel ifadelerle gözlemlenebilmesi sebebiyle fizyolojik değişikliklerle karakterize edilen zihinsel bir durumdur. Bu değişikliklerin izlenmesi, özellikle zihinsel engel geliştirmiş olanlar için, bir problemin erken tespit edilmesi ve önlenmesi açısından çok önemlidir. DT, Şekil-4'te gösterildiği gibi giriş sinyalleri yakalanıp özellik çıkarma ve sınıflandırma metotlarıyla işlenirler. Daha sonra duygular tanımlanır ve tespit edilir (Pal, vd., 2021).

Şekil – 4: İnsan Duygu Tanıma Sisteminin Temel Süreci (Pal vd., 2021)



İnsanın duygularının tanınması, İBE alanlarında bir insana uygun geri bildirim ve özelleştirilmiş etkileşimler sağlayarak karar veren makineler için zorlu bir görevdir. İnsan duygularını sözlü veya sözsüz olarak ifade edebilir bu sebeple insanla iletişim kurarken, bir makinenin her iki türden insan duygularını tanıyabilmesi gerekir. İBE'de duyguların ipuçlarını duygusal davranışlardan tanıyabilmek

ISBN: 978-625-6971-84-4

oldukça önemlidir (Hassan, vd., 2018; Kanjo, vd., 2018). İBE alanına geç dahil olan DT sistemi, insanın duygusal durumlarını dikkate alan kullanıcı dostu, etkili ve akıllı ara yüz oluşturmasına yardımcı olmuştur. İnsan duygularının ve hislerinin analizi son zamanlarda giderek popüler hale gelmiş olmasıyla birlikte güncel birkaç duygu analizine odaklanan araştırma çalışmaları çeşitli derin öğrenme tekniklerine dayanmaktadır (Akhtar, vd., 2020; Basiri, vd., 2021; Cambria, vd., 2020; Peng, vd., 2021).

İnsan beynindeki fiziksel süreçler, belirli düşünce biçimleri ve duygusal davranışlarıyla değiştiği için araştırmacılar düşünceleri anlamak için fiziksel değişikliklere karşılık gelen insan beyninden çıkan sinyalleri kullanmaktadırlar (Mert & Akan, 2018). ElectroEncephaloGram (EEG) sinyalleri beynin fizyolojik süreçlerini anlamadaki popüler yaklaşımlardan biridir. Benzer şekilde, EEG sinyalleri merkezi sinir sistemi ile güçlü ilişkisi olan ve duygusal durum davranışlarına göre değişkenlik gösterebilmesi sebebiyle, otomatik duygu tanımada sıklıkla kullanılmaktadır (Alzoubi vd., 2012; Christie & Friedman, 2004; Martini vd., 2012; Picard vd., 2001).

EEG kullanılan İBE uygulamaları ise herhangi bir birimi kontrol etmek ve beyindeki gizli bilgileri keşfetmek için çalışılan bir alandır (Wu vd., 2011). DT için resim, müzik veya videolarla uyarılan doğru etiketlenmiş EEG sinyalleri elde edildikten sonra bir katılımcıya görsel bir uyaran gösterilir. Çok kanallı EEG sinyalleri kaydedilir ve daha sonra katılımcının derecelendirmesine göre etiketlenir (Mert & Akan, 2018).

EEG verileri başın hafif hareketi veya gözlerin yanıp sönmesi durumunda sinyallere gürültü eklediğinden dolayı çalışması zor olan bir veri çeşididir. Bununla birlikte, daha iyi sonuçlar elde etmek için uygun sinyal işleme tekniklerinin yanı sıra yüksek kalitede özellik çıkarımı gerektirdiği için oldukça karmaşık bir hal almaktadır. Sadece video verilerinin kullanılması durumunda da incelenen kişi gerçek duygularını gizlemek için yüz ifadelerini değiştirebileceğinden, direkt zihinden alınan EEG sinyalleri, yüz ifadesi verileriyle birleştirildiğinde daha iyi sonuçlar vermektedir.

(Moin, vd., 2022) çalışmalarında EEG sinyalleri, göz ve kafa hareketlerinden kaynaklanan yapay verileri ortadan kaldıran bağımsız bir bileşen analizi kullanmış olmalarıyla birlikte video verilerinde insan görsel bilgilerini de veri hazırlamak için işlemişlerdir. Videodan çerçeveler çizdikten sonra, sabit boyutlarda kırpıp bu çerçevelerden yüz algılamak için Viola-Jones algoritmasından yararlanmışlardır. Ardından tespit edilen yüzün görüntülerini gri tonlamaya dönüştürüp 64x128 boyutunda yeniden boyutlandırılmıştır. Nitelikler hem görsel hem de

EEG verilerinden çizilmiştir. EEG verileri için çeşitli istatistiksel ve spektral özellikler çizilirken, görsel verilerin özelliklerini çıkarmada Yönlü Gradyanlar Histogramı (YGH) ve Yerel İkili Desenler (YİD) yöntemleri kullanılmıştır. Bu iki farklı yöntemden elde edilen özellik setini birleştirerek makine öğrenmesi yöntemleri olan DVM, K-En Yakın Komşu (KYK), ve Topluluk Yöntemi (TY) kullanarak duygu sınıflandırması yapmışlardır. Önerdikleri modelin doğruluğunu değerlendirmek için farklı senaryolar üzerinde deneyler yapmışlardır. Tüm durumlar için 10-kat çapraz doğrulama gerçekleştirmişlerdir. Sinyalin toplam uzunluğu 60 sn. olduğu için 10 sn. segmentlere bölerek altı segment elde etmişlerdir. Benzer şekilde 20 sn. sinyal bölütleme için herhangi bir tekrar olmadan üç segment, 30 sn. segment için de 2 segment elde edilmiştir. Toplamda segment uzunluğu 10 sn. olan 6 segment, 20 sn. olan 3 segment, 30 sn. olan 2 segment ve 60 sn. olan 1 segment üzerinden üç farklı sınıflandırma yöntemi (DVM, KYK, TY) uygulamışlardır. Bu deney ile seçilen bir zaman segmentinin (10 sn., 20 sn. ve 30 sn. olan) daha alakalı veri içerip içermediğini kontrol etmek veya daha iyi doğruluk elde etmek için tüm sinyalin dahil edilmesinin ne kadar gerektiğini değerlendirmişlerdir. Yapılan deneylerin sonucunda en iyi doğruluğu 60 sn. sinyal uzunluğuna sahip olan segment ile elde etmişlerdir. DVM algoritmasında, EEG verisinde valans için %79,1, uyarılma (göz kırpma, göz-kafa hareketleri) için %76,9 doğruluk değeri elde etmişlerdir. Sadece videolardan oluşan veri kümesinde DVM algoritması valansta %94,2, uyarılmada %90,5 doğruluk değeri üretmiştir. Her iki veri kümesinin birleşiminde ise valansta %93,6 ve uyarılmada %89,5 doğruluk sonucu üreterek, en iyi sonucunu video veri kümesinde valansta elde ettiğini gözlemlemişlerdir.

EEG sinyalleri ile duygu tanıma yaklaşımları üzerine çalışırken, sinyallerin yüksek boyutlu olması duygu sınıflandırma algoritmalarının bu yüksek boyutluluktan etkilenmesine ve sınırlı kullanıma sebep olmaktadır. (Hassan vd., 2019), gerçek duyguları ayıklamak ve DT yöntemlerinin çeşitli sınırlamaları çözebilmek amacıyla, insan duygularını tanımada çok modlu fizyolojik sinyaller sunmaktadırlar. Elektro-Dermal Aktivite (EDA), FotoPletismoGram (FPG) ve Zygomaticus- ElektroMiyoGrafi (zEMG) sensörlerinden elde ettikleri sinyaller, mutlu, rahat, tiksinti, üzgün ve nötr olmak üzere toplam 5 temel duygu sınıfı içermektedir. Bu üç biyo-sensörün kaynaşmış fizyolojik sinyallerinin özelliklerini çıkarmak için, verilen örüntülerin gizli yapısı ve verilerdeki önemli özellikleri çıkarabilen katmanlı yapısı sebebiyle Derin İnanç Ağı (DİA) adı verilen derin öğrenme yöntemini kullanmışlardır. EDA, FPG ve zEMG sensörlerinin verileri önce füzyon adını verdikleri bir modülde toplayıp, bir araya getirip denetimsiz DİA modü-

lünde eğitmişlerdir. DİA tarafından üretilen ayırt edici özelliklerle birlikte, özellik seviyesi füzyonu adını verdikleri modülde EDA, FPG ve zEMG istatistiksel özellikler de dahil edilerek Fine Gaussian-DVM (FG-DVM) modülüne gönderip, denetimli eğitim stratejisi ile eğitim gerçekleştirmişlerdir. Eğitilmiş FG-DVM modeli insan duygularını tanımak için kullanmışlardır. İnsan duygularının sınıfları doğrusal olmadığı için Gauss çekirdeği ve 10 kat çapraz doğrulama kullanmayı tercih etmişlerdir. Duygusal durumlar arasında mutluluk duygusunun %100 doğrulukla sınıflandırmışlardır. Hassan, vd., tarafından önerilen bu modelde nötr duyguları diğer duygulardan ayırt ederken zorlandığını gözlemlemişlerdir. Bu sebeple, nötr duygu için, duyuşsal durumlar arasında %53 ile en düşük doğruluk sonucunu elde etmişlerdir. Bununla birlikte genel sınıflandırma doğruluğu %89,53 ile birçok çalışmadan (Koelstra vd., 2012; Liu, vd., 2008; Zhao, vd., 2016) daha iyi sonuç elde etmişlerdir.

EEG sinyalleri durağan sinyaller değildir. Elektroensefalograf tarafından toplandığı için her kanaldaki EEG sinyalleri duygu tanıma ve her kanal arasındaki korelasyon farklıdır. Bu sebeple, daha yüksek doğruluk elde etmek için (Chen vd., 2020), çeşitli özellikler yoluyla EEG'nin duygusal sınıflandırması için bir şema ve duygu tanımayı sağlamak için her kanal sınıflandırması için karar verme katman füzyonu önermişlerdir. Sınıflandırma füzyonu olarak Grid-Search (Hiperparametre optimizasyon aracı) yapmayı sağlayan bir DVM kütüphanesi olan LIBSVM kullanmışlardır ve bu füzyon Takagi-Sugeno bulanık modelini kullanmıştır. EEG verilerinden çıkan özellikler arasında Lempel-Ziv karmaşıklığı, dalgacık ayrıntı katsayısı, eş bütünleşme ilişkisi ve yaklaşık entropi bulunmaktadır. Önerilen EEG tabanlı duygu tanıma modelini üç adımda ele almışlardır. İlk adım olarak, EEG sinyallerini alıp önişleme yapmışlardır. Katılımcılar için, duygu tepkilerini ortaya çıkarmak ve EEG sinyallerini kaydetmek için video uyaranları kullanıp, elde edilen gürültüden arındırıp filtreleme yapmışlardır. İkinci adımda, ön işlemeden sonra EEG sinyalleri için Lempel-Ziv karmaşıklığının dört özelliği olan, dalgacık ayrıntı katsayısı, eş bütünleşme ilişkisi ve ortalama yaklaşım entropisini hesaplamış olup bu şekilde özellik değerlerini çıkartmışlardır. Üçüncü adımda, Duygu tanımaya dahil olan her EEG kanalı duygu sınıflandırması gereken bir model olarak kullanılmıştır. 2. Adımda elde edilen dört özelliği birleştirip, bu özellikleri eğitmek için LIBSVM sınıflandırıcısı kullanılarak her kanal için EEG tabanlı duygu sınıflandırması yapılmıştır. Ancak tek kanallı sınıflandırmanın sonuçları için, Sugeno bulanık mantık integralinden de faydalanmışlardır. Duygu tanıma sürecinde, tüm kanallar duygu tanımaya yeterli olmadığı için farklı kanal kombinasyonları da katılır ve tanıma sonuçları da farklıdır. LIBSVM çe-

kirdek fonksiyonları için Lineer, Polinomial, Perceptron ve Gaussian çekirdeklerini kullanıp duygu tanıma hızı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. En yüksek doğruluğa sahip Gaussian çekirdeği seçilerek kanal kombinasyonu altında sınıflandırma eğitimi gerçekleştirmişlerdir. Önerilen metottun Valans boyutundaki ortalama duygu tanıma doğruluğu %82,63 ve Uyarılma boyutundaki ortalama doğruluk oranı %74,88 olarak elde edilmiştir.

Kişinin ruh halini ve duygularını konuşma yoluyla ifade edebildiği için birincil iletişim araçlarından biridir. Kişisel dijital asistanlar, metinden konuşmaya çeviren modeller, sensörler vb. çok sayıda alanda konuşma ile ilgili teknolojik gelişmeler devam etmektedir. Konuşma esnasındaki duyguları tanıma (konuşmacıya bağımlı-bağımsız bir şekilde) oldukça ilgi çeken ancak çok boyutlu bir sorun olması sebebiyle zorlayıcı bir konudur. Çeşitli duygular farklı konuşma biçimlerinde farklı şekillerde aktarılabilmektedir. Bununla birlikte, konuşmadaki içsel duyguların analizini yapmak için konuşmadan hangi özelliklerin çıkarılacağını belirleme görevi başlı başına farklı bir problemdir. Bu problemi ele alabilmek için genellikle DVM'ler, Gizli Markov Modeli (GMM) veya sinir ağları tercih edilmektedir. DVM'ler bu noktada daha az çabayla oldukça başarılı tahminler sağlarken, sinir ağları ve GMM'ler hem eğitim zorluğu hem yüksek hesaplama gücü hem de zaman gerektirir. (Bhavan vd., 2019), geliştirdikleri yaklaşımda konuşmadan duygu tanıma sorunu üzerinde torbalanmış DVM'lerin performansını incelemişlerdir. Torbalanmış DVM modelini eğitim örnekleriyle besledikten sonra çoğunluk oylama kuralı kullanarak nihai tahminleri birleştirip karar verme işlemini yürütmüşlerdir. Modeldeki DVM çekirdeğini Gauss olarak ele alıp ceza değerini 100 ve çekirdek katsayısını da 0,1 olarak belirlemişlerdir. Bu DVM'lerden 20 tanesini eğitim örneklerinden özellik setinin alt kümeleri olarak örnek alınacak şekilde bir torba grubunda birleştirmişlerdir. Daha sonra eğitim örnekleri kümesinden her iterasyonda rastgele 20 örnek çekmiş ve paralel bir şekilde eğitmişlerdir. Önerdikleri modeli çeşitli üç farklı ses veri kümesinde eğitip en yüksek değeri %92,45 doğruluk oranı ile 147 özniteliğe sahip bir ses veri kümesinde elde etmişlerdir. 183 özniteliğe sahip veri kümesinde %75,69 ve 403 öznitelikli veri kümesinde %84,11 doğruluk değeri elde etmişlerdir.

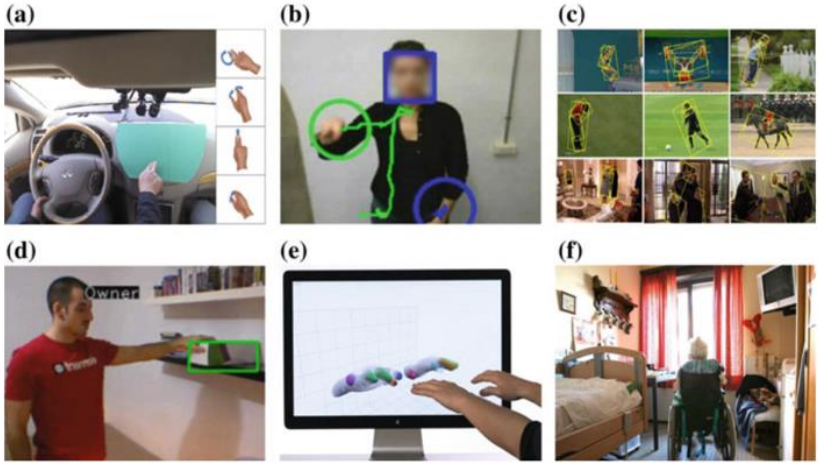
3.2. Hareket Tanıma (HT) Sistemlerinde Destek Vektör Makineleri

Hareketler, kasıtlı eylemlerin, işaretlerin, sinyallerin, bilinçaltında niyetleri veya tutumları açığa çıkarmanın bir parçası olarak üretilmektedir. HT Sistemleri, vücudun tüm bölümlerinin hareketini içerebilirler ancak hareket ve iletişim için kollar ve eller gerekli olduğu için genellikle çalışmaların odak noktaları el veya kol hareketleridir. Yüz ifadeleri de jest olarak kabul edilir ve iletişimde önemli

ISBN: 978-625-6971-84-4

ipuçları sağlar. HT Sistemleri İBE, İnsan Robot Etkileşimi (İRE), iletişim, eğlence, güvenlik, sanat, ticaret ve spor gibi sayısız teknolojik, sosyal ve sağlık alanında uygulamalarda Şekil 4'te kısa örneklemelerle yer almaktadır (Escalera vd., 2017). Hareket tanıma, bir bilgisayarın insan vücut dilini anlaması için önemli bir adımdır. Akıllı TV kontrolü, video oyunları, tele-cerrahi ve sanal gerçeklik gibi çok çeşitli İBE uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır (Kausar vd., 2011).

Şekil – 5 (Escalera vd., 2017): Bazı Hareket Tanıma Uygulamaları. a) Sürücü Asistanı Hareket Tanıma (Ohn-Bar & Trivedi, 2014) b) İşaret Dili Tanıma c) İçerik Alma ve Sınıflandırma için Eylem/Hareket Tanıma d) Gözetim HT Uygulamaları e) İnsan bilgisayar/robot/makine Etkileşimi f) Engelli Kişiler için Yardımcı Teknoloji.



Son yıllarda kas hastalıklarının tanısında, spor hekimliğinde, rehabilitasyon mühendisliği gibi alanlarda giderek yaygın kullanılmaya başlayan ElektroMiyoGrafi (EMG), kas aktivitesini yansıtan bir biyoelektrik sinyaldir. Uzuvların eklem hareketlerine karşılık gelen kas gruplarının sinyallerini, ilgili hareketin iskelet kası aktivite bilgilerini yakalar. Buna karşılık gelen sinyaller, insan eklemlerinin uzama ve bükülme derecesini yansıtır. Hareketin tamamlanma sürecinde uzuvların şeklini, konumunu ve hareketini yansıtması sebebiyle EMG sinyalleri farklı insan hareketlerini tanımlayabilir. İnsanlar için bilgiyi iletmenin en yaygın kullanılan yolu olan hareketlerin doğru tanınması için çok önemlidir. Bu sebeple sınıflandırıcı seçimi, hareket tanıma doğruluğu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Li,vd., 2020). Birçok araştırmacı tarafından EMG kullanarak hareket tanıma konusunda çok sayıda araştırma yapılmıştır (Qi vd., 2019; Quitadamo vd., 2017; Toledo-Pérez vd., 2019). Yüzey EMG (yEMG) toplama ekipmanı, cilt yüzeyi tarafından üretilen elektrik sinyallerini depolayıp filtreler (Jiang vd., 2022). yEMG tarafından başparmak hareketini tanımada kullanılan elektrot fazlalığı sorununu

istatistiksel varyans teorisi yöntemiyle çözülerek İBE sürecini optimize etmeye yardımcı olur. yEMG sinyal alma ekipmanları genel olarak basit olsa da çok azı belirli bölümlerin belirli eylemleri için özel olarak tasarlanmıştır. Özel veya detaylı eylemleri toplamak için genel ekipmanlar kullanıldığında araya karışan gereksiz sinyaller veri işleme ve tanıma zorluğunu artırmaktadır (Al-Hammadi vd., 2020; Guo vd., 2021)

(Sun vd., 2020), sinyal alma sürecinde gereksiz verileri ortadan kaldırmak için istatiksel teori kullanmışlardır. 16 kanallı yEMG toplama ekipmanı ile 9 hedefin ince parmak hareketi belirlenerek orta yedek elektrotları elde etmişlerdir. Bu sayede donanım ekipmanının maliyetini azaltmakla birlikte, elektrot dağılımını da optimize etmişlerdir. Ek olarak veri işleme miktarını azaltıp zamandan da tasarruf sağlamışlardır. Birleşik Krallık Portsmouth Üniversitesi'nin akıllı sistem ve biyomedikal robot grubu tarafından geliştirilen ekipman çeşitli kuru ve ıslak elektrotlar, Bluetooth ile uyumlu yürüyüş analizi, kas yorgunluğu analizi, jest tanıma vb. gibi 16 kanallı yüksek çözünürlüklü örnekleme teknolojisine sahiptir. Deneyde kullandıkları 2250 verinin %90'ı eğitim, geri kalanı test verisi olarak 10 kat çapraz doğrulama ile kullanılmıştır. Önce dinamik hareketler belirlenerek ham veriler toplanır, filtrelenip aktif segment tespiti ve öznitelik seçimi yapmışlardır. Ardından, varyans teorisi ile her bir kanal elektrotunun fazlalığını hesaplayıp, üç tip yedek elektrot kombinasyonu oluşturmuşlardır. Ana akım uzuv modelini çeşitli yapay sinir ağı tabanlı algoritmalarla ve DVM algoritması ile teker teker eğitmişlerdir. Bunların arasında DVM'nin başarılı sınıflandırma performansı EMG alanındaki yaygın kullanımını doğrulamışlardır. DVM algoritmasını referans sınıflandırıcı olarak seçip doğruluk oranını değiştirmeyen 12., 13. ve 14. Kanallarını kaldırarak eğitim süresinin yaklaşık %20 oranında azaldığını gözlemlemişlerdir. Geri kalan 13 kanal üzerinde veri kümesi DVM ve Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağı (GRSA) ile 10 farklı sınıfa ayrılmıştır. Sınıflandırma sonuçlarında DVM'nin GRSA'ya göre oldukça baskın sonuçlanan başarısını yaklaşık %98'e ulaşan doğruluk oranı ile elde etmişlerdir.

3.3. Örüntü Tanımada (ÖT) Destek Vektör Makineleri

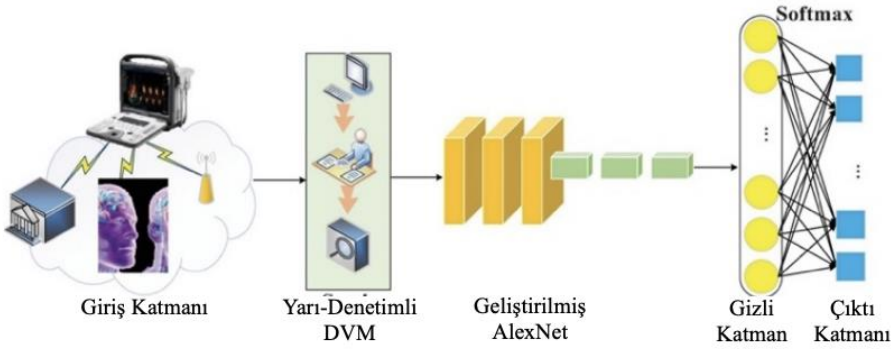
ÖT teknolojisi, yüz tanıma, İBE, görüntü videosunun içerik kodlaması, biyometrik analizi gibi çeşitli kullanım alanlarına sahiptir (Teja Chavali vd., 2023). İBE uygulamalarında ÖT sistemleri çoğunlukla tıbbi teşhis koyma yardımı için sağlık alanlarında kullanılmaktadır. Yapılan birçok çalışmanın neticesinde teknolojinin de oldukça hızlı ilerlemesi ile birlikte sağlık alanında çeşitli dallarda İBE çalışmaları oldukça geniş bir alanda yer almaktadır. Geliştirilen akıllı tıp teknolojileri ile sağlık izleme teknikleri klinik tanıda önemli bir rol oynamaya başlamıştır.

ISBN: 978-625-6971-84-4

Obsesif Kompulsif Bozukluğu (OKB) biyolojik bir temele dayanmaktadır ve hastalarda önemli psikolojik sıkıntılar yaratabilir. OKB teşhisi, tedavi yanıtı, azaltma tahmini ve şiddet tahmini gibi makine öğrenimi yaklaşımları literatürde geniş çapta ele alınmaktadır (Askland vd., 2015; Hoexter vd., 2013; Lenhard vd., 2018; Salomoni vd., 2009). Bunlardan ilham alarak (Shrivastava vd., 2019), çalışmalarında üç sınıf için (OKB, etkilenmemiş Birinci Derece Akrabaları (BDA) ve Sağlıklı (S)) farklı modelleri makine öğrenmesi algoritmaları olan KYK, Rastgele Ağaçlar (RA), Lineer Diskriminant Analizi (LDA), Lineer çekirdekli DVM (DVML) ve Radyal çekirdekli DVM (DVMR) sınıflandırma algoritmalarını kullanmışlardır. Tüm modellerin performansını 10 kat çapraz doğrulama ile hesaplamışlardır. DVMR ile osbMarkör adını verdikleri işaretleyiciler ile OKB, BDA ve S olarak üç farklı sınıfa ayırmışlardır. Kullandıkları diğer sınıflandırıcı yöntemlerine göre DVMR ile %93 doğruluk oranına ulaşmışlardır. BDA'nın tespit edilmesi bir bireyin OKB'ye genetik olarak yatkınlığını anlamakta kullanıldığı için DVMR metotu ile OKB ve OKB olmayan örnekleri sınıflandırmada da %97 doğruluk oranını elde etmişlerdir. Tüm bunların ışığında DVMR sınıflandırması aracılığıyla OKB teşhisi koyabilineceğini öne sürmüşlerdir.

ÖT yöntemi, beyin görüntü füzyonunun gerekli adımlarından birisi olup görüntü özelliklerini bölümlere ayırarak çıkartır. Literatürde beyin görüntü özelliklerini çıkarmak için Bölge Büyütme (BB), Düzey Belirleme, Bulanık Kümeleme ve Makine Öğrenmesi (MÖ) mevcuttur (Aheleroff vd., 2020; Angin vd., 2020; Li vd., 2020; Liu vd., 2019; Pan vd., 2021). Beyin tümörü görüntü alanında (Wan vd., 2021) çok sayıda beyin görüntüsünü yarı-denetimli DVM metodunu hem etiketlenmemiş hem de etiketlenmiş veriler üzerinde uygulamışlardır. Beyin görüntülerinden veri özelliklerini çıkarmak için, derin Konvolüsyonel Sinir Ağı (KSA) modeli olan AlexNet'in konvolüsyonel katmanındaki işlevsellliğini arttırarak yarı-denetimli DVM ve geliştirilmiş AlexNet'e dayalı bir beyin görüntüsü dijital ikiz taşhis ve tahmin modeli geliştirmişlerdir. Şekil-2'de diyagramı verilen modelin güvenlik performansını göz önünde bulundurarak tasarlamışlardır.

Şekil – 6: Yarı-Denetimli DVM ve geliştirilmiş AlexNet'e dayalı beyin görüntüsü dijital ikiz tanı ve tahmin modeli diyagramı (Wan vd., 2021)



Önerilen bu modelde performans karşılaştırması yaptıkları (yani, AlexNet, Uzun Süreli Kısa Bellek (USKB), KSA, Özyinelemeli Sinir Ağı (ÖSA) ve Çok Katmanlı Algılayıcılar (ÇKA)) diğer yöntemlere göre en az %2,76 iyileştirme ile %92,52 doğruluk oranına ulaşmış olup Kesinlik, Geri çağırma ve F1 Değerinde de en yüksek değerleri elde etmişlerdir. Böylelikle yarı-denetimli DVM ve geliştirilmiş AlexNet'e dayalı olarak önerilen modelin beyin görüntüsü dijital ikizleri teşhis ve tahmin etmede mükemmel tanıma ve tahmin doğruluğu sağladığını ortaya koymuş olmalarına rağmen, beyin tümörlerini derecelendirememişlerdir.

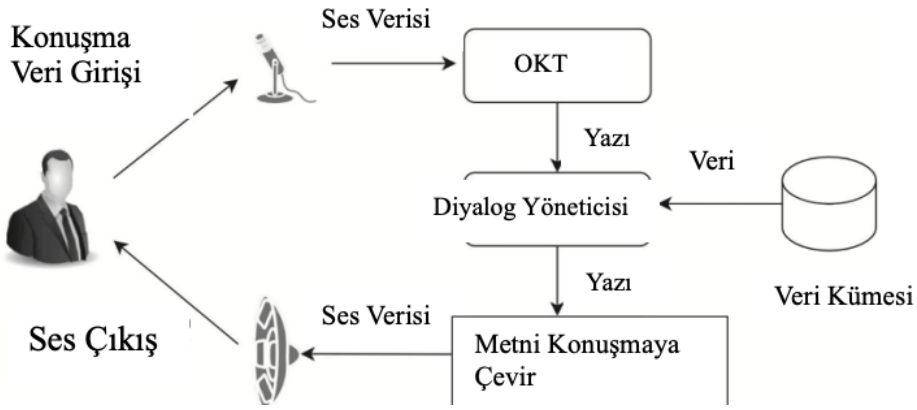
3.4. Konuşma Tanıma Sistemlerinde Destek Vektör Makineleri

Sözlü İBE teknolojileri, ya basit komut tanıma, işleme ve geri bildirim ya da makinenin kendisine yönetilen soruları anlayabileceği ve diyaloğa uygun bir şekilde cevap verebileceği karmaşık diyalogları varsayar. Otomatik Konuşma Tanıma (OKT) sistemi, sözlü ifadelerin DDİ ile ayrıntılı analiz edilecek metne dönüştürülmesinde önemli rol oynamaktadır. Bununla birlikte bu sistemlerde, tanınan metnin doğruluğu ile gereken hesaplama süresi arasındaki denge insan deneyimini etkileyeceği için çok önemlidir. Bu sistemlerde, düşük doğruluk robotun talebi işleyemeyeceği ve hatalı geri bildirime yol açacağı anlamına gelirken, yüksek işlem süresi robotun insan kullanıcıya yavaş görünmesine neden olarak potansiyel etkileşimi sürdürmeye olan ilgiyi azaltacaktır. Konuşmaya dayalı bir diyalog sistemi, uygulama türü fark etmeksizin (robot uygulaması, çevrimiçi sohbet robotu vb.) sorguların insan sesi kullanılarak gerçekleştirilmesine ve sentezlenmiş konuşma yanıtlarının aynı kullanıcıya geri gönderilmesine izin vermelidir.

ISBN: 978-625-6971-84-4

Şekil-6'da konuşma tanıma teknolojilerinin genel mimarisi gösterilmiştir. Makineyle iletişime giren insan kullanıcılar kendi seslerini kullanarak sistemin aslında geliştiricisi olurlar. Sistem performansının daha önce görülmemiş verilerle test edilmesi büyük bir önem taşırken konuşma tanıma uygulamalarında performans sadece yeni cümleler üzerinden değil, yeni konuşmacılar üzerinden değerlendirilmektedir (Vasile-florian vd., 2022).

Şekil – 7: Konuşma Tanıma Sistemlerinin Genel Mimarisi



(Ismail vd., 2020) yaptıkları çalışmada yaşlı insanlar, hastalar ve engelli insanlara kolay bir kontrol sistemi sağlamak için konuşma tanımaya dayalı çözüm geliştirmişlerdir. Akıllı evlerde ve hastanelerde kurulu Nesnelerin İnterneti (Nİ) cihazlarına kolayca erişmek için konuşma tanıma ile düşük maliyetli bir sistem oluşturmuşlardır. DVM algoritması ile zaman serilerinin benzerlik ölçümünde sıklıkla kullanılan Dinamik Zaman Bükme (DZB) algoritmasını hibritlemişlerdir. Bu hibrit algoritma (DVM-DZB) ile eğitim için çok fazla veri kümesi gerekmeden, yalnıza temel konuşma komutunu ve bunların şablonlarını içeren veriyi önceden tanımlanmış bir sözlük ile kullanarak kullanıcı komutlarıyla şablon komutlarını otomatik eşleştirebilmişlerdir. Önerdikleri sistem, kullanıcı komutuna ve kayıtlı konuşma şablonlarıyla eşleşmeye dayalı olduğu için akıllı telefona bağımlı bir sistem olması sebebiyle akıllı telefonun mikrofonunu ve sesli komut eşleştirmeyi kullanarak (bu komutları tanıması için) sistemi eğitmek üzere bu komutları farklı ev aletlerine kaydetmeyi önermektedirler. İlgili sistemin kullanıcının komutlarını tanıyabilmesi için önceden tanımlanan kullanıcı komutlarından oluşan sözlüğe, yaşlılardan, hastalardan veya engelli kişilerden gelen sesli komutları eşleştirmek için makine öğrenimi modeli kullanmışlardır. Modelde, her komut ve

tanımlı kategorisi arasındaki eşleşme için DZB, vektörler arasındaki yerel mesafeyi ölçmek için de DVM kullanmışlardır. Konuşma tanıma performansını test etmek için toplam 20 kadın ve erkek 18-28 yaş grubundaki konuşmacıdan 10 veri içeren ses kayıtlarında "mutfak, kapı, buzdolabı, açık, kapalı klima" gibi kontrol ifadelerine yer vermişlerdir. Toplam 200 kayıt içeren veri kümesinde DVM-DZB hibrit algoritması %97 doğruluk oranına ulaştığını gözlemlemişlerdir.

3.4.1. Eğitim Alanında Destek Vektör Makineleri

Bilgisayar Destekli Öğrenim (BDÖ) geleneksel öğrenme araçlarının yanı sıra multimedya yoluyla (bilgisayar destekli testler, bilgisayar destekli test ve öğretim teknikleri gibi etkileşimler) eğitim tekniklerini kullanmaktadır. Bu stratejiler öğrencilerin bilgi ve beceri gelişimini artırmasına yardımcı olur. Ancak BDÖ'nün bilgi eksikliği bilim ve teknolojideki hızlı ilerleme ile gelişememiştir. Bu sebeple (Ramesh vd., 2023) çalışmalarında, bu dezavantajların üstesinden gelmek için Doğal Dil İşleme (DDİ) teknikleriyle birlikte MÖ tekniklerini birleştirerek bir eğitim asistanı (yani, Yazılım Testi için Eğitim Asistanı (YTEA)) tanıtmışlardır. YTEA ile sunulan derslerin, eğitmenlerin veya öğrencilerin kendi ilgi alanlarına göre sıralanmasıyla öğrencilere yetenekleriyle eşleşen ve uyum yeteneklerini geliştiren tekniklerle eğitim imkanı tanımakta olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmanın verileri üç farklı kaynaktan alınmış olup: ilk olarak büyük açık kaynak topluluğu tarafından paylaşılmış olan hata raporu, ikincisi, Alibaba, Ming Li, New oryantal eğitim, Vivo, Xiaomi, Samsung gibi farklı kuruluşlardan alınan hata raporları ve üçüncüsü ise öğrencilerin günlük görevlerinde yaptıkları hataların toplanmasından oluşmaktadır. Tespit edilen hatalar genelde performans hataları, çökmeler, derin öğrenmeye dayalı hatalar, bulut hataları ve işlevsel hatalar olmuştur. Bu veri kümeleri hata karmaşıklığı, öncelik, önem, regresyon, hata yorumları, kod hatası, yapılandırma, uzunluk, ekran görüntüsü, yığın izleme, ek, sürüm bilgisi ve tasarım kusurları gibi farklı öznitelikler içermektedir. Çalışmada, hata raporlarında hatalara neden olan parametreleri analiz etmek için yeni bir hibrit sınıflandırıcı yöntemi geliştirmişlerdir (yani, Grup Arama Optimizasyonu (GAO), KYK ve DVM algoritmalarının hibritleştirilmesi). GAO yöntemini veri seyrekliği problemini azaltmak K, C ve Gamma parametrelerinin en uygun değerleri için kullanmışlardır. Önerdikleri yöntemin açık-kaynak topluluğundan (AKT) elde edilen hata raporları veri kümesinde %96, farklı mobil kuruluşlarından (MK) aldıkları hata raporlarını içeren veri kümesinde %94 doğruluk oranı ile başarısını ölçmüşlerdir. Aynı zamanda bu iki veri kümesinde sırasıyla Ortalama Kare Hatasını (OKH) %4,58 ve %6,05, Çalışma süresini 9,58 sn. ve 8,95 sn., Hassaslığı %96 ve %94, Özgüllüğü %95,1 ve %93,54. F Değeri ölçümlerini de %95,2 ve %93,64 olarak ölçmüşlerdir.

ISBN: 978-625-6971-84-4

3.4.2. Giyilebilir Teknolojilerde Destek Vektör Makineleri

Esnek ve giyilebilir algılama cihazlarına dayalı gerçek zamanlı sağlık izleme alanı hem akademik hem de endüstriyel alanda önemli bir konu haline gelmiştir. Cihazların içerisindeki sensörler, insan fizyolojisini gerçek zamanlı yansıtabilir. Yapay zekâ ve İBE'nin gelişimiyle son yıllarda giyilebilir cihazlara olan ilgi giderek artmaktadır. Esnek teknolojik ürünler esnemeye ve taşınabilirliğe sahip olmasıyla geliştirilebilirliklerini giderek arttırmaktadır (Li vd., 2020). Giyilebilir sensörler yeni zorluklar getiren ve iyi tasarlanmadığında takması zahmetli olabilecek alternatif çözümlerdir (Simão vd., 2019).

Kimyasal piller sık sık şarj edilmeleri gerektiğinden enerji sağlama sorunları halen devam etmektedir. Kendi kendine çalışan giyilebilir sensörler bu soruna ideal bir çözüm olabilir. Triboelektrik nano-jeneratörler (TENJ) esnek elektronik cihazlarda enerji sorunu çözebilmek için dağınık ve düzensiz düşük frekanslı mekanik enerjiyi toplayabilir. Oldukça esnek bir malzeme olan hidrojel, çok işlevliliğe, iyi biyo-uyumluluğa sahiptir. Bu nedenle, hidrojel elektrotlara dayalı TENJ'ler biyotıp, enerji hasadı, enerji depolama, dokunma algılama ve İBE alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. (Zhang vd., 2023) çalışmalarında, çift ağ hidrojel olan PSTM Hidrojeli ve TENJ'leri kullanarak eldiven tabanlı İBE sistemi oluşturmuşlardır. PSTM-TENJ'in çok boyutlu sinyal özellikleri, İBE tarafından çıkartıp analiz etmişlerdir ve robotun el kontrolünü ve hareketleri görselleştirmişlerdir. Tasarladıkları bu akıllı eldiven, Temel Bileşen Analizi (TBA), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ve DVM yöntemlerini hibritleyerek %98,7 doğruluk oranıyla nesne sınıflandırması ve tanıması gerçekleştirmişlerdir. Böylelikle, PSTM-TENJ tabanlı eldivenin, MÖ teknikleri yardımıyla nesne sınıflandırması ve tanıması gerçekleştirilebileceğini kanıtlamışlardır.

3.4.3. Görüntü Tanımada Destek Vektör Makineleri

Görüntü işleme, bir görüntüyü daha iyi hale getirmek veya içerisindeki önemli bilgileri elde etmek için kullanılan çeşitli tekniklerin bir arada uygulanmasına verilen addır. Bu teknikler, görüntüyü iyileştirmek, düzenlemek, sıkıştırmak, segmente etmek ve özellik çıkarmak gibi farklı amaçlar için kullanılabilir. Görüntü işleme, görsel verilerin işlenmesi ve analiz edilmesi açısından önemli bir rol oynamaktadır (Liang vd., 2019; Raghuvanshi vd., 2022). Görüntü işleme, tarım dahil birçok sektörde faydalı bir teknolojidir ve etkisi kanıtlanmıştır. Tarımda, kameralar, uçaklar ve uydular gibi araçlar tarafından yakalanan görüntüler, bilgi toplamak için işlenir. Görüntü işleme teknikleri kullanılarak, bilgisayarlar bu görüntüleri analiz eder ve çeşitli tarımsal problemleri çözmek için kullanılır. Bu

yöntemler, hastalıklı yaprakların, gövdelerin ve meyvelerin tespit edilmesi, hastalıklı alanların ölçülmesi ve görüntülerin renk, şekil ve boyutuna göre teşhis yapılması gibi birçok alanda kullanılabilir. Tarımda verimliliği artırmak ve ürün kayıplarını azaltmak için görüntü işleme önemli bir araçtır (Ji vd., 2020; Kaur vd., 2019).

(Ansari vd., 2022) üzüm yaprak hastalıklarının tespiti ve sınıflandırılmasında kullanılan geliştirilmiş bir DVM ve görüntü işleme yöntemi hakkında detaylı bir açıklama sunmaktadır. Çalışmada, DVM algoritmasının doğruluğunu artırmak için bir özellik seçimi yöntemi olan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) (PSO-DVM) kullanılmaktadır. Bu yöntem, RGB, LAB ve HSV renk uzaylarında yer alan ve yaprak hastalıklarını belirlemek için önemli olan özellikleri belirlemektedir. Çalışma, DVM ve görüntü işleme yöntemlerinin birleştirilmesinin, yaprak hastalıklarının tespitinde ve sınıflandırılmasında önemli bir başarı sağladığını göstermektedir. Deney sonuçlarına göre, PSO-DVM yönteminin diğer benzer yöntemlere göre %97 doğruluk oranı ile daha yüksek doğruluk elde edilmiştir. Bu çalışma, yaprak hastalıklarının tespiti ve sınıflandırılması için geliştirilen DVM ve görüntü işleme yöntemlerinin etkili bir şekilde kullanılmasıyla tarım sektöründe önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir.

Derin Öğrenme Tabanlı (DÖ-Tabanlı) veya MÖ-Tabanlı algoritmalara DVM yönteminin dahil edildiği yukarıdaki araştırmalar ve İBE akıllı sisteminde benimsenen çoğu teknoloji kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. Bunlara göre DVM'nin çalışmaları iyileştirme etkisi Tablo 1'de özetlenmiştir.

ISBN: 978-625-6971-84-4

Tablo – 1. DVM yönteminin İBE sistemlerindeki teknolojik gelişim durumu.

Yazar ve Yılı	*Araştırma Alanı*	*Araştırma Yöntemleri*	*Sonuçlar*	*Analiz*
(Bhavan vd., 2019)	Konuşmadan DT	Torbalanmış DVM	Torbalanmış DVM ile %92,45 doğruluk değeri.	Konuşmadaki içsel duyguların analizi
(Shrivastava vd., 2019)	Örüntü Tanıma	KYK, RA, LDA, DVML, DVMR	DVMR ile %97 sınıflandırma doğruluk değeri.	Bireyin biyolojik yatkınlığına göre OKB sınıflandırması
(Hassan vd., 2019)	EEG sinyalleriyle DT	EDA, FPG, zEMG, FG-DVM	FG-DVM ile %89,53 genel sınıflandırma doğruluk değeri.	İnsan duygularını sınıflandırma
(Ismail vd., 2020)	Konuşma Tanıma	DVM-DZB Hibrit algoritması	DVM-DZB ile %97 doğruluk değeri	Nİ aracılığıyla konuşma tanıma
(Chen vd., 2020)	EEG sinyalleriyle DT	LIBSVM, Takagi-Sugeno Bulanık Modeli	Valans boyutunda %82,63, Uyarılma boyutunda %74,88 doğruluk değeri.	İnsan duygularını sınıflandırma
(Sun vd., 2020)	yEMG ile Jest Tanıma	DVM ve GRSA	DVM ile %98 doğruluk oranı.	En iyi başparmak hareketi örüntü tanıma yöntemi
(Wan vd., 2021)	Örüntü Tanıma	Yarı-denetimli DVM ile hibritlenen geliştirilmiş AlexNet	%92,52 doğruluk oranı	Özellik tanıma, teşhis ve tahmin performansları
(Moin vd., 2022)	EEG sinyalleriyle DT	DVM, KYK, TY	Valans boyutunda %93,6 ve	EEG sinyallerinde uyarılmadan kaynaklı ya-

			Uyarılma boyutunda %89,5 doğruluk oranı.	pay verileri ortadan kaldıran bağımsız bileşen analizi
(Ansari vd., 2022)	Tarımda Görüntü Tanıma	PSO-DVM	%97 doğruluk oranı	Üzüm yaprağı hastalık tanıma
(Ramesh vd., 2023)	Eğitim	Hibrit GAO, KYK ve DVM algoritmaları	AKT veri kümesi %96, MK veri kümesi %94 doğruluk oranı.	DDİ ve MÖ tekniklerini birleştirerek eğitim asistanı.
(Zhang vd., 2023)	Giyilebilir Teknoloji	Hibrit PSO ve DVM	%98,7 doğruluk oranı	PSTM-TENJ'in çok boyutlu sinyal özellikleri.

Tablo 1'e göre araştırmacılar son beş yılda DVM'nin güçlü öğrenme yeteneği ve diğer MÖ-Tabanlı ve DÖ-Tabanlı algoritmalarla uyarlanabilirliğinden faydalanarak konuşma tanıma, duygu tanıma, eğitim, sağlık, jest tanıma gibi çeşitli alanlarda dikkate değer başarılar elde etmişlerdir. Literatürdeki MÖ-Tabanlı ve DÖ-Tabanlı yöntemleri DVM ile hibritleyerek mevcut algoritmaların başarılarını artırmışlardır. Böylelikle İBE alanında kullanımını daha yaygın hale getirmişlerdir. Araştırma alanı fark etmeksizin (Sağlık, Teknoloji, Eğitim, Tarım vb.) DVM yöntemi İBE ile birleştiğinde daha yüksek doğruluk sağlamaktadır.

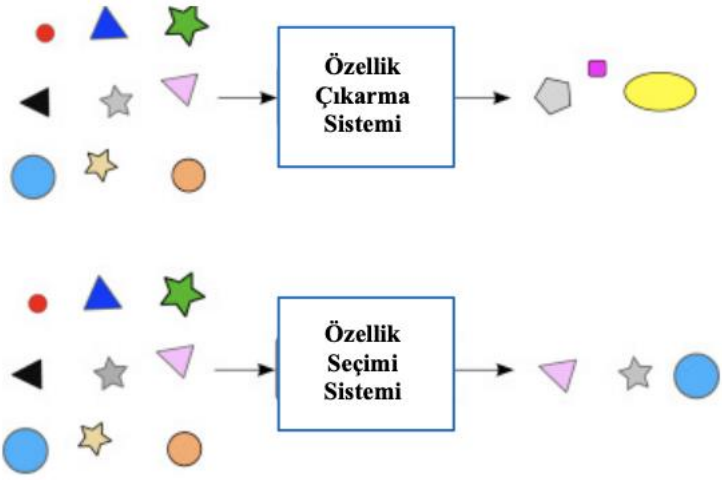
4. Özellik Seçimi Algoritmaları

Özellik seçimi, veri analitiğinde ve makine öğrenmesinde kullanılan bir tekniktir. Veri kümesindeki değişkenlerin (özelliklerin) sayısını azaltarak, daha az sayıda ve daha önemli olan özelliklerin seçilmesini ve kullanılmasını sağlar. Böylelikle model performansını artırarak daha iyi sonuçlar elde etmeyi amaçlar. Bu işlem, veri setindeki gereksiz veya önemsiz özellikleri elemek, modelin karmaşıklığını azaltmak ve aşırı uydurma sorununu önlemek için yapılır. Ayrıca veri setindeki özelliklerin yalnızca bir alt kümesini kullanarak, modelin daha hızlı ve daha verimli çalışmasını sağlar. Bu da özellikle büyük veri setleri için önemlidir. Veri kümesindeki özelliklerin yüksek korelasyon, sıklıkla, geleneksel özellik seçim yöntemini kararsız hale getiren ve böylece seçilen özelliklerin güvenini azaltan, kararsızlığa yol açmaktadır. Kararlılık, eğitim örneklerinin bozulmasına karşı ürettiği özellik tercihlerinin sağlamlığı olmasıyla birlikte, özellik seçim yöntemi-

ISBN: 978-625-6971-84-4

nin tekrar üretilebilirlik gücünü gösterir. Özellik seçim performansını değerlendirirken, özellik seçim algoritmasının yüksek kararlılığı, yüksek sınıflandırma doğruluğu kadar önemlidir (Khaire & Dhanalakshmi, 2022).

Şekil – 7: Özellik Seçme Şeması (Remeseiro & Bolon-Canedo, 2019).



Çok sayıda girdi özelliğiyle uğraşırken sıklıkla kullanılan bir çözüm olan, özgün sorunun boyutsallığını azaltmak için özel teknikler kullanmaktır, bu da genellikle öğrenme performansını artırır. Boyut indirgeme teknikleri özellik seçme ve özellik çıkarma yöntemlerine ayrılır. Aralarındaki temel fark, özellik çıkarmanın orijinal özellikleri bir araya getirmesi ve bir dizi yeni özellik yaratmasıdır. Özellik seçiminin ise Şekil 7'de görüldüğü gibi orijinal özelliklerin bir alt kümesini seçmesidir. Her iki tekniğin de avantajları ve dezavantajları elbette bulunmaktadır (H. Liu vd., 2012).

Özellik çıkarmanın ayırt edici gücü daha iyidir çünkü yeni özellik kümesinin özellik seçiminden kaynaklanandan genellikle daha küçüktür. Bu nedenle, tipik olarak görüntü analizi, sinyal işleme ve bilgi alma gibi alanlarda kullanılan özellik çıkarma, görselleştirme için daha kullanışlıdır. Bununla birlikte, bir dezavantaj, özellik kombinasyonlarının fiziksel bir anlamı olmayabilir, bu nedenle özellik çıkarımı, güvenilir yapay zekanın gelişimi için gerekli olan okunabilirlik, yorumlanabilirlik ve şeffaflık açısından iyi bir yaklaşım değildir (Russell, 2020).

Orijinal özelliklerin bir alt kümesini oluşturan özellik seçimi, yorumlanabilirlik ve bilgi çıkarmanın çok önemli olduğu durumlarda avantajlıdır, ancak bazen

bu, doğruluk değerinin düşmesine sebebiyet verebilir (Remeseiro & Bolon-Canedo, 2019).

Çıktıya bağlı olarak, özellik seçme yöntemleri ya bireysel ya da özelliklerin alt küme değerlendirmesini kullanarak çalışır. Bireysel değerlendirmelerde, özellikler ayrı ayrı değerlendirilir ve ilgilerini yansıtan bir ağırlık verilir. Alt küme değerlendirmelerinde ise, aday özellik alt kümeleri, en iyi özelliği seçmek için belirli bir ölçü kullanılarak değerlendirilir. Özellik seçme yöntemleri, öğrenme yöntemiyle olan ilişkisine bağlı olarak filtreler, gömülü yöntemler ve sarmalayıcılar olarak da sınıflandırılır (Guyon & Elisseefl, 2006). Filtreler herhangi bir öğrenme yönteminden bağımsız ve odak noktası verilerin genel özellikleri olurken, tümevarım algoritmasından bağımsız olmaları nedeniyle, hesaplama açısından maliyetli değildirler ve iyi bir genelleme kapasitesine sahiptirler. Sarmalayıcılar ve gömülü yöntemlerin her ikisi de özellik seçimini gerçekleştirmek için bir öğrenme yöntemi gerektirmektedir. Sarmalayıcılar için, bir tümevarım yöntemi özelliklerin aday alt kümelerini değerlendirir. Sınıflandırıcı ile etkileşim, sarmalayıcıları hesaplama açısından filtrelerden daha maliyetli hale getirirken, daha iyi performans gösterme eğilimindedir. Gömülü yöntemler, filtreler ve sarmalayıcılar arasında yer alır çünkü seçim, tümevarım yöntemi için eğitim sürecinin bir parçasıdır. En iyi özellik alt kümesinin aranması, sınıflandırıcının eğitimi sırasında gerçekleştirilir ve bu nedenle, gömülü yöntemler sarmalayıcılardan daha az hesaplama maliyetine sahiptir. Genellikle farklı kavramsal kökenlere sahip iki veya daha fazla özellik seçme algoritmasını sıralı bir şekilde birleştiren hibrit yöntemlerde olduğu gibi, algoritmaları karıştırma eğilimi de vardır. Örnek vermek gerekirse, önce bazı özellikleri kaldırmak için hesaplama açısından daha az maliyetli bir filtre uygulamak ve ardından ince ayar için hesaplama açısından daha maliyetli bir sarmalayıcı kullanılabilir (Remeseiro & Bolon-Canedo, 2019). Literatürde sıklıkla kullanılan özellik seçimi algoritmaları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

1. ***Korelasyona-Tabanlı Özellik Seçimi***, kendileri ilintisiz olan ancak sınıfla yüksek korelasyon gösteren özelliklerin alt kümelerini seçen çok değişkenli bir filtre yöntemidir (Remeseiro & Bolon-Canedo, 2019).
2. ***Tutarlılık Tabanlı Filtre***, özelliklerin alt kümelerini sınıfla tutarlılık derecesine göre seçen ve ardından kabul edilebilir bir veri azaltma oranını belirlemek için bir tutarsızlık kriteri kullanan çok değişkenli bir tekniktir (Remeseiro & Bolon-Canedo, 2019).
3. ***INTERACT***, iki adımda yürütülen bir algoritmadır: ilk önce tüm özelliklerin simetrik belirsizliği hesaplanır ve özellikleri buna göre sıralanır. Ardından

yalnızca tutarlılık katkısı önceden belirlenmiş bir eşiği aşanları seçmek için değişkenleri tutarlılık katkılarına göre ayrı ayrı değerlendirilir (Remeseiro & Bolon-Canedo, 2019).

4. ***Bilgi Kazanımı,*** her özellik ve sınıf için ortak bilgileri hesaplayan ve ardından tüm özellikleri sıralayan basit bir tek değişkenli filtredir (Remeseiro & Bolon-Canedo, 2019).

5. ***ReliefF***, en yakın komşuları temel alan popüler bir çok değişkenli filtredir. Örnekleri rastgele seçerek aynı sınıftan en yakın komşuları arayarak çalışır. Seçilen örneğin değerleri doğru değerler ve kayıplarla karşılaştırılır ve ardından her özellik için alaka düzeyi puanı güncellenir. Yararlı bir özellik, aynı sınıftaki örneklere benzer ve diğer sınıflardaki örneklerden farklı değerlere sahip olmalıdır (Remeseiro & Bolon-Canedo, 2019).

6. ***DVM'ler için Özyinelemeli Özellik Eleme***, yinelemeli bir süreçte bir DVM sınıflandırıcısını eğitirken, özellikleri seçen ve DVM çözümündeki ağırlıklara göre en az önemli olanları eleyen gömülü bir yöntemdir (Remeseiro & Bolon-Canedo, 2019).

Özellik Seçimi Algoritmalarının, MÖ-Tabanlı problemleri çözmede başarılı bir ön işleme aracı olduğu kanıtlanmıştır. Bununla birlikte, sayısı giderek artan mevcut seçim yöntemleri arasında seçim yapmak kolay değildir.

5. İnsan Bilgisayar Etkileşiminde Özellik Seçimi Algoritmalarının Kullanım Alanları

5.1. Duygu Tanımada Özellik Seçimi Algoritmaları

Literatürde, DT problemleri İBE alanında çeşitli teknolojiler/algoritmalar kullanılarak ele alınmıştır. Bunlardan biri olan (Zangeneh Soroush vd., 2018) çalışmalarında, uygun elektrotlar yardımıyla farklı duygular ve beyin bölgeleri arasındaki ilişkileri belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu nedenle ilk olarak, yapay dokuyu kaldırmak ve bağımsız bileşenleri çıkarmak için bağımsız bileşen analizi algoritması kullanmışlardır. Daha sonra bilgilendirici kanallar, elde edilen bileşenler için eşikli ortalama aktivite değerine dayalı olarak seçip, tüm duygu sınıfları arasında ortak olan seçilmiş kanallardan etkili özellikleri çıkarmışlardır. Özellikler, yerel alt küme özellik seçim yöntemi ile azaltılmış ve ardından özellik seçiminin DT performansını artırabileceğini ve Dempster-Shafer teorisinin belirsizliklerle başa çıkabilme yeteneği nedeniyle değiştirilmiş Dempster-Shafer teorisini kullanarak sınıflandırma işlemini gerçekleştirmişlerdir. Önerdikleri yöntemi EEG yoluyla duyguları yaklaşık %91 doğrulukla sınıflandırıp önceki çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. İBE alanındaki en zorlu konulardan biri

olan DT sınıflandırmasındaki belirsizlik problemini, belirsizlikle başa çıkabilme yeteneği nedeniyle özellikle DT gibi karmaşık sınıflandırma problemlerinde etkili olan Dempster-Shafer teorisi ile başarılı bir şekilde gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca, önerdikleri yöntemin kullanımının zaman ve kaynak açısından verimli olduğu ve diğer duygu tanıma yöntemlerinden daha iyi bir performans gösterdiğini iddia etmişlerdir.

Yapılan yeni çalışmalarda, literatürde bildirilen tüm öznitelikler kullanılmakta olduğundan özellik kümesi içindeki yüksek korelasyon nedeniyle boyutsallık problemine ve performans düşüşüne yol açmaktadır. Bu nedenle, (Kannadasan vd., 2023) çalışmanın birincil amacı, optimal bir özellik seti kullanarak DT modelinin performansını iyileştirmek olduğunu belirtmişlerdir. Bu bakımdan bağımsız etkili duygu tanıma için en uygun özellik kümesini elde etmek üzere Diferansiyel Evrim Tabanlı Özellik Seçimi (DEÖS) algoritmasını önermişlerdir. DEÖS algoritmasından elde edilen optimal özellik seti, DVM sınıflandırıcısını eğitmek için kullanılır. EEG tabanlı DT veri seti kullanarak önerilen modelin performansını analiz etmişlerdir. Bu modeli, son teknolojiye sahip birkaç özellik seçme ve optimizasyon algoritmasıyla karşılaştırmışlar ve elde ettikleri sonuçlar, sınıflandırma performansı, uygunluk değeri optimizasyonu ve hesaplama süresi açısından analiz etmişlerdir. Bununla birlikte, önerdikleri modelin özneden bağımsız davranışını sağlamak için özne bazında da performansını analiz etmişlerdir. Önerilen DEÖS-DVM DT modeli ile, valans uyarılma, valans, baskınlık ve hoşlanma duygusal durumlarını tespit etmek için sırasıyla %73.60, 74.23, 71.88 ve %71.80 sınıflandırma doğruluğu elde etmişlerdir.

(Yin vd., 2020), EEG genelleştirilebilir özelliklerini belirlemek amacıyla yeni bir bireysel bağımsız DT için Yerel-Sağlam Özellik Seçimi (YSÖS) yöntemi sunmuşlardır. Çalışmada, bireysel farklılıkları hesaba katmadan, birçok farklı katılımcı için duygusal durum tanıma performansını artırmayı amaçlamışlardır. YSÖS çerçevesinde, çıkarılan EEG özellikleri önce olasılık yoğunluklarıyla modellenmiş olup her iki denek arasındaki tüm yoğunluk fonksiyonlarının benzerliği değerlendirilerek, EEG özelliklerinin bireyler arası tutarlılığı açıklanmıştır. Elde edilen tutarlılık, yerel olarak sağlam EEG özelliklerini belirlemiş; burada her bir özelliğin önemi, duygular arasındaki marj kaybına göre incelemişlerdir. Konuların birden çok alt kümesinden seçilen özellikleri birleştirmek için topluluk halinde öğrenme ilkesini baz alınmış ve bir duygu sınıflandırıcı yöntemi oluşturmuşlardır. Genel oldukça bilinen DEAP ve MAHNOB-HCI veri tabanları ile YSÖS tabanlı sınıflandırıcının bireysel bağımsız sınıflandırma doğruluğu, uya-

rılma ve değerlik alanları için sırasıyla %65-%68 (DEAP) ve %67-%70 (MAHNOB-HCI) ile elde etmişlerdir. YSÖS 'nin başarısını, mevcut birkaç özellik seçme yöntemi ve DT sistemi ile karşılaştırmış ve kanıtlamışlardır.

Konuşma sinyali işleme, insanlar arasında en yaygın bilgi alışverişi kaynağı olmakla beraber İBE için de önemlidir. Bu alanda, Konuşma Duygu Tanıma (KDT) gibi bir insan davranışı değerlendirme ve DT uygulaması da gelişmektedir. KDT sisteminin verimliliği, özellikle ayırt edici bilgileri içeren üst düzey derin özellikler gibi belirgin özelliklerin öğrenilmesine bağlıdır. (Mustaqeem & Kwon, 2021), çalışmalarında, KDT performansını artırmak için iki akışlı KSA kullanarak en uygun özellik seçimini ele almışlardır. Model iki kanaldan oluşmaktadır. Her kanal, sözlü sinyallerden ipuçlarını çıkarmak için KSA yapısıyla ilişkilendirilmiştir. Birinci kanal, spektral alandan öznitelik çıkarır ve ikinci kanal, uzamsal alandan öznitelikler çıkararak daha sonra birleştirilir ve ayrılmayı ortadan kaldırmak ve son model eğitimi için en uygun özellikleri seçmek üzere Yinelemeli Komşu Bileşen Analizi (YKBA) YKBA'ya gönderilmiştir. Ortak iyileştirme özellikleri, farklı duyguların tahminlerini elde etmek için bir softmax sınıflandırıcı ile tamamen bağlı ağdan geçirilmiş olup EMO-DB, Surrey Görsel-İşitsel İfade Edilen Duygu veri kümes, (SAVEE) ve Ryerson Duygusal Konuşma ve Şarkı Görsel-İşitsel Veritabanı (RAVDESS) adlı üç farklı duygusal konuşma derlemini kullanarak önerilen sistemi eğitmişlerdir. Sırasıyla %95, %82 ve %85 doğruluk değeri elde etmişlerdir. Ayrıca, iki akışlı CNN modelinin kullanımı ve özellik seçimindeki iki aşamalı yaklaşımın konuşma duygu tanıma performansını önemli ölçüde artırdığı görülmüştür.

Özellik çıkarmada çıkarılan tüm özellikler, konuşmacının duygu durumlarını sınıflandırmak için uygun olmamasıyla birlikte alakasız ve gereksiz özelliklerin varlığı, yanlış ve istenmeyen duygu sınıflandırma performansına sebebiyet vererek anlamsız kalıplar üretebilmektedir. Bu sebeple (Shahin vd., 2023), Gri Kurt Optimizasyon (GKO) algoritması ve KYK sınıflandırıcısına dayalı akıllı bir öznitelik seçim yöntemi (GKO-KYK) önermişlerdir. Duygu sınıflandırması, Arapça Emirlik Aksanlı Konuşma Veri Tabanı (AEAKVT), RAVDESS ve SAVEE dahil olmak üzere üç farklı veri tabanında gerçekleştirilir. Her bir veri setinden özellikleri çıkarmak için birleştirilmiş veya tek bir özellik çıkarma yöntemi uygulanır. Önerilen yöntem, Yarasa Algoritması (YA), Guguklu AramA (GAA), Beyaz Köpek Balığı Optimizasyon (BKO) ve Aritmetik Optimizasyon Algoritması (AOA) gibi klasik yöntemlere kıyasla KDT sistemi için daha iyi sınıflandırma performansı sağlamıştır. AEAKVT, RAVDESS ve SAVEE veri kümelerine göre sırasıyla %88,95, %80,48 ve %83,54 doğruluk değeri elde etmişlerdir.

(Anuragi vd., 2022) çalışmalarında, Fourier-Bessel Serisi Genişleme Tabanlı Ampirik Dalgacık Dönüşümü (FBSG-ADD) yöntemi kullanılarak EEG sinyallerine dayalı otomatik özneler arası duygu tanıma çerçevesi önermişlerdir. Her kanaldan gelen EEG sinyallerini dört alt bant sinyaline ayrıştırmak için kullanmışlardır. Ön lobdan, her bir alt bant sinyalinden entropi ve enerji özelliklerinin çıkarıldığı on kanal manuel olarak seçilmiş, konu değişkenliği, 80 boyutunda düzgünleştirilmiş özellik vektörünü elde etmek için her kanalda ortalama hareketli bir filtre yöntemi kullanarak azaltmışlardır. Komşu Bileşen Analizi (KBA), Kabartma-F ve mRMR gibi üç özellik seçme tekniklerini optimal özellik vektörü elde etmek için kullanmışlardır. YSA, iki işlevli KYK ve topluluk torbalı ağaç sınıflandırıcılar gibi makine öğrenmesi modelleri elde edilen öznitelik vektörleri ile eğitmişlerdir. Sonuçları, SJTU duygu EEG veri seti (SEED) ve Fizyolojik Sinyaller kullanılarak duygu analizi için DEAP veri seti olarak adlandırılan, iki veri tabanından elde etmişlerdir. Modellerin eğitimi ve testi, 10 katlı çapraz doğrulama ve Bir Deneği Çapraz Doğrulama (BDÇD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. FBSG-ADD ve KBA özellik seçimi yaklaşımına dayanan önerilen çerçeve, diğer son teknoloji duygu sınıflandırma modellerine kıyasla insan duygularını sınıflandırmak için üstün sonuçlar elde etmişlerdir. Pozitif, Nötr, Negatif duygu sınıflandırmasında %95,7 doğruluk sonucu elde etmişlerdir.

(Asghar vd., 2021), pahalı hesaplamalardan kaçınarak duygusal sınıflandırma için hibrit sinir ağlarına dayalı yeni bir özellik seçme yöntemi önermişlerdir. EEG sinyallerinin düşük zamansal sınırları ve doğrusal olmayan doğası nedeniyle duyguları EEG sinyalleri aracılığıyla sınıflandırmak zor olduğu için özellik çıkarımı için Etkili Ağ'ın (Efficient Network-ENet) yanı sıra hiyerarşik bir Yarı Atlamalı Katmanlı Geçitli Birim (YAKGB) önermişlerdir. Daha hızlı işleme için, Tekrarlayan Sinir Ağlarında (TSA) Geçitli Tekrarlayan Birimler (GTB) için bir yarı atlama katmanı tanıtmışlardır. Girilen katman, ağ eğitimi sırasında ıraksak faktörü otomatik olarak atlar. Önceden işlenmiş EEG sinyalleri, derin özellik çıkarımı için hibrit YAKGB-ENet modeline gönderilir. Hesaplama maliyetinin üstesinden gelmek için, Görselleştirilmiş Karakteristik Çantası (GKÇ) adı verilen optimal bir fonksiyon azaltma yöntemi kullanmışlardır. Önerilen YAKGB-ENet yöntemi ve GKÇ, Destek Vektör Ağları (DVA), Naif Bayes (NB) ve KYK kullanılarak sıralama yapılırken duyguların sıralanmasının performansını iyileştirmişlerdir. Sonuçlar, oldukça bilinen DEAP ve SEED veri kümelerinde sırasıyla %82,6 ve %94,7 doğruluk değeri elde etmişlerdir.

(Hua vd., 2021)çalışmalarında, duygusal varyasyonlara istikrarlı bir şekilde duyarlı olan genelleştirilebilir özellikleri belirlemek için transfer öğrenme ilkesi

altında yeni bir özellik seçme yöntemi, Çok-Yönlü Özellik birleştirme ve Dinamik Özellik Seçimi (ÇÖ-DÖS) önermişlerdir. ÇÖ-DÖS çerçevesinde, DT sisteminin doğruluğunu artırmak için yerel geometrik bilgi özellik seçimi, alan uyarlamasına dayalı manifold öğrenme ve dinamik özellik seçiminin avantajlarını kullanmışlardır. Üç genel veri kümesine, DEAP, MAHNOB-HCI ve SEED'e dayalı olarak, ÇÖ-DÖS'nin performansı, iki tür EEG özelliği altında bir özneyi dışarıda bırakma paradigmasına göre doğrulanmıştır. Her duygusal boyutun üç duygusal sınıfını tanımlayarak, ÇÖ-DÖS tabanlı DT sınıflandırıcısının doğruluğu, uyarılma ve değerlik duygusal boyutları için sırasıyla %50-%48 ve %46-%50 olarak elde etmişlerdir. SEED veri kümesinde için değerlik boyutu için %40'a ulaşmıştır.

DÖ-Tabanlı veya MÖ-Tabanlı algoritmalara Özellik Seçimi yöntemlerinin dahil edildiği yukarıdaki çalışmalar ve İBE akıllı sisteminde benimsenen çoğu teknoloji kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. Bunlara göre Özellik Seçimi Algoritmalarının çalışmaları iyileştirme etkisi Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo – 2. Özellik Seçimi yönteminin İBE sistemlerindeki teknolojik gelişim durumu.

Yazar ve Yılı	Araştırma Alanı	Araştırma Yöntemleri	En İyi Sonuçlar	Analiz
(Zangeneh Soroush vd., 2018)	EEG sinyalleriyle DT	Değiştirilmiş Dempster-Shafer Teorisi	%91 Doğruluk	Duygu Sınıflandırma
(Yin vd., 2020),	EEG sinyalleriyle DT	YSÖS	%70 Doğruluk	Duygu Sınıflandırma
(Mustaqeem & Kwon, 2021),	KDT	CNN ve YKBA	%95 Doğruluk	Duygu Tanıma
(Asghar vd., 2021)	MÖ-Tabanlı Algoritmalar ve Nİ	YAKGB-ENet	%94,7 Doğruluk	Duygu Sınıflandırma
(Anuragi vd., 2022)	EEG sinyalleriyle DT	FBSG-ADD	%95,7 Doğruluk	Duygu Sınıflandırma
(Kannadasan vd., 2023)	EEG sinyalleriyle DT	DEÖS-DVM	%74.23 Doğruluk	Duygu Sınıflandırma

(Shahin vd., 2023)	KDT	GKO-KYK	%88,95 Doğruluk	Duygu Sınıflandırma
(Hua vd., 2021)	EEG sinyalleriyle DT	ÇÖ-DÖS	%50 Doğruluk	Duygu Tanıma

Tablo 2'ye göre araştırmacılar son beş yılda özellik çıkarma algoritmalarının güçlü öğrenme yeteneğinden faydalanarak konuşma tanıma, duygu tanıma, nesnelerin interneti gibi çeşitli alanlarda dikkate değer başarılar elde etmişlerdir. Mevcut MÖ-Tabanlı ve DÖ-Tabanlı yöntemler ile, özellik çıkarma algoritmalarını birlikte çalışarak mevcut algoritmaların başarılarını artırmış olup İBE alanında kullanımını genişletmişlerdir. Böylelikle çeşitli araştırma alanlarında İBE'nin yüksek doğruluk etkisini kanıtlamışlardır.

Kaynakça

Aheleroff, S., Polzer, J., Huang, H., Zhu, Z., Tomzik, D., Lu, Y., … Xu, X. (2020). Smart manufacturing based on Digital Twin technologies. *Industry 4.0*, 77-122. https://doi.org/10.1201/9781351132992-3

Akhtar, M. S., Ekbal, A., & Cambria, E. (2020). How Intense Are You? Predicting Intensities of Emotions and Sentiments using Stacked Ensemble [Application Notes]. *IEEE Computational Intelligence Magazine, 15*(1), 64-75. https://doi.org/10.1109/MCI.2019.2954667

Al-Hammadi, M., Muhammad, G., Abdul, W., Alsulaiman, M., Bencherif, M. A., Alrayes, T. S., … Mekhtiche, M. A. (t.y.). *Deep Learning-Based Approach for Sign Language Gesture Recognition With Efficient Hand Gesture Representation*. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3032140

Alzoubi, O., D'Mello, S. K., & Calvo, R. A. (2012). Detecting naturalistic expressions of nonbasic affect using physiological signals. *IEEE Transactions on Affective Computing*, *3*(3), 298-310. https://doi.org/10.1109/T-AFFC.2012.4

Angin, P., Hossein Anisi, M., Göksel, F., Gürsoy, C., & Büyükgülcü, A. (t.y.). *AgriLoRa: A Digital Twin Framework for Smart Agriculture*. https://doi.org/10.22667/JOWUA.2020.12.31.077

Ansari, A. S., Jawarneh, M., Ritonga, M., Jamwal, P., Mohammadi, M. S., Veluri, R. K., … Shah, M. A. (2022). Improved Support Vector Machine and Image Processing Enabled Methodology for Detection

and Classification of Grape Leaf Disease. *Journal of Food Quality*, *2022*. https://doi.org/10.1155/2022/9502475

Anuragi, A., Singh Sisodia, D., & Bilas Pachori, R. (2022). EEG-based cross-subject emotion recognition using Fourier-Bessel series expansion based empirical wavelet transform and NCA feature selection method. *Information Sciences*, *610*, 508-524. https://doi.org/10.1016/J.INS.2022.07.121

Asghar, M. A., Khan, M. J., Shahid, H., Shorfuzzaman, M., Xiong, N. N., & Mehmood, R. M. (2021). Semi-skipping layered gated unit and efficient network: Hybrid deep feature selection method for edge computing in EEG-based emotion classification. *IEEE Access*, *9*, 13378-13389. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3051808

Askland, K. D., Garnaat, S., Sibrava, N. J., Boisseau, C. L., Strong, D., Mancebo, M., … Eisen, J. (2015). Prediction of remission in obsessive compulsive disorder using a novel machine learning strategy. *International Journal of Methods in Psychiatric Research*, *24*(2), 156-169. https://doi.org/10.1002/MPR.1463

Basiri, M. E., Nemati, S., Abdar, M., Cambria, E., & Acharya, U. R. (2021). ABCDM: An Attention-based Bidirectional CNN-RNN Deep Model for sentiment analysis. *Future Generation Computer Systems*, *115*, 279-294. https://doi.org/10.1016/J.FUTURE.2020.08.005

Bhavan, A., Chauhan, P., & Ratn Shah, R. (2019). *Bagged support vector machines for emotion recognition from speech ✰. 184*, 104886. https://doi.org/10.1016/j.knosys

Brachman, R. J., Dietterich, T. G., Campbell, C., & Ying, Y. (t.y.). *C M & Mor gan Cl aypool Publishers & SYNTHESIS LECTURES ON ARTIF ICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE LEARNING Learning with Support Vector Machines*.

Cambria, E., Li, Y., Xing, F. Z., Poria, S., & Kwok, K. (2020). SenticNet 6: Ensemble Application of Symbolic and Subsymbolic AI for Sentiment Analysis. *International Conference on Information and Knowledge Management, Proceedings*, 105-114. https://doi.org/10.1145/3340531.3412003

Cervantes, J., Garcia-Lamont, F., Rodríguez-Mazahua, L., & Lopez, A. (2020). A comprehensive survey on support vector machine classification: Applications, challenges and trends. *Neurocomputing*, *408*, 189-215. https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.10.118

Chen, T., Ju, S., Ren, F., Fan, M., & Gu, Y. (2020). EEG emotion recognition model based on the LIBSVM classifier. *Measurement*, *164*, 108047. https://doi.org/10.1016/J.MEASUREMENT.2020.108047

Christie, I. C., & Friedman, B. H. (2004). Autonomic specificity of discrete emotion and dimensions of affective space: A multivariate approach. *International Journal of Psychophysiology*, *51*(2), 143-153. https://doi.org/10.1016/J.IJPSYCHO.2003.08.002

(Computer Science, Technology and Applications) Vasile-florian Pais - Speech Recognition Technology and Applications-Nova Science Publishers (2022). (t.y.).

Cortes, C., Vapnik, V., & Saitta, L. (1995). Support-vector networks. *Machine Learning 1995 20:3*, *20*(3), 273-297. https://doi.org/10.1007/BF00994018

Egger, M., Ley, M., & Hanke, S. (2019). Emotion Recognition from Physiological Signal Analysis: A Review. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, *343*, 35-55. https://doi.org/10.1016/J.ENTCS.2019.04.009

Escalera, S., Guyon, I., & Athitsos, V. (Ed.). (2017). *Gesture Recognition*. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57021-1

Guo, L., Lu, Z., & Yao, L. (2021). Human-Machine Interaction Sensing Technology Based on Hand Gesture Recognition: A Review. *IEEE TRANSACTIONS ON HUMAN-MACHINE SYSTEMS*, *51*(4). https://doi.org/10.1109/THMS.2021.3086003

Guyon, I., & Elisseefl, A. (2006). An introduction to feature extraction. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, *207*, 1-25. https://doi.org/10.1007/978-3-540-35488-8_1/COVER

Hassan, M. M., Alam, M. G. R., Uddin, M. Z., Huda, S., Almogren, A., & Fortino, G. (2019). Human emotion recognition using deep belief

network architecture. *Information Fusion*, *51*, 10-18. https://doi.org/10.1016/J.INFFUS.2018.10.009

Hassan, M. M., Huda, S., Yearwood, J., Jelinek, H. F., & Almogren, A. (2018). Multistage fusion approaches based on a generative model and multivariate exponentially weighted moving average for diagnosis of cardiovascular autonomic nerve dysfunction. *Information Fusion*, *41*, 105-118. https://doi.org/10.1016/J.INFFUS.2017.08.004

Hoexter, M. Q., Miguel, E. C., Diniz, J. B., Shavitt, R. G., Busatto, G. F., & Sato, J. R. (2013). Predicting obsessive-compulsive disorder severity combining neuroimaging and machine learning methods. *Journal of Affective Disorders*, *150*(3), 1213-1216. https://doi.org/10.1016/J.JAD.2013.05.041

Hua, Y., Zhong, X., Zhang, B., Yin, Z., & Zhang, J. (2021). Manifold Feature Fusion with Dynamical Feature Selection for Cross-Subject Emotion Recognition. *Brain Sciences 2021, Vol. 11, Page 1392*, *11*(11), 1392. https://doi.org/10.3390/BRAINSCI11111392

Ismail, A., Abdlerazek, S., & El-Henawy, I. M. (2020). Development of smart healthcare system based on speech recognition using support vector machine and dynamic time warping. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(6). https://doi.org/10.3390/su12062403

Ji, M., Zhang, L., & Wu, Q. (2020). Automatic grape leaf diseases identification via UnitedModel based on multiple convolutional neural networks. *Information Processing in Agriculture*, *7*(3), 418-426. https://doi.org/10.1016/J.INPA.2019.10.003

Jiang, D., Li, G., Sun, Y., Kong, J., Tao, B., & Chen, D. (2022). Grip strength forecast and rehabilitative guidance based on adaptive neural fuzzy inference system using sEMG. *Personal and Ubiquitous Computing*, *26*(4), 1215-1224. https://doi.org/10.1007/S00779-019-01268-3/FIGURES/14

Kanjo, E., Younis, E. M. G., & Sherkat, N. (2018). Towards unravelling the relationship between on-body, environmental and emotion data using sensor information fusion approach. *Information Fusion*, *40*, 18-31. https://doi.org/10.1016/J.INFFUS.2017.05.005

Kannadasan, K., Veerasingam, S., Shameedha Begum, B., & Ramasubramanian, N. (2023). An EEG-based subject-independent

emotion recognition model using a differential-evolution-based feature selection algorithm. *Knowledge and Information Systems*, *65*(1), 341-377. https://doi.org/10.1007/s10115-022-01762-w

Kaur, P., Pannu, H. S., & Malhi, A. K. (2019). Plant disease recognition using fractional-order Zernike moments and SVM classifier. *Neural Computing and Applications*, *31*(12), 8749-8768. https://doi.org/10.1007/S00521-018-3939-6

Kausar, S., & Javed, M. Y. (2011). A survey on Sign Language recognition. *Proceedings - 2011 9th International Conference on Frontiers of Information Technology, FIT 2011*, 95-98. https://doi.org/10.1109/FIT.2011.25

Khaire, U. M., & Dhanalakshmi, R. (2022). Stability of feature selection algorithm: A review. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, *34*(4), 1060-1073. https://doi.org/10.1016/J.JKSUCI.2019.06.012

Koelstra, S., Mühl, C., Soleymani, M., Lee, J. S., Yazdani, A., Ebrahimi, T., … Patras, I. (2012). DEAP: A database for emotion analysis; Using physiological signals. *IEEE Transactions on Affective Computing*, *3*(1), 18-31. https://doi.org/10.1109/T-AFFC.2011.15

Lenhard, F., Sauer, S., Andersson, E., Månsson, K. N. T., Mataix-Cols, D., Rück, C., & Serlachius, E. (2018). Prediction of outcome in internet-delivered cognitive behaviour therapy for paediatric obsessive-compulsive disorder: A machine learning approach. *International Journal of Methods in Psychiatric Research*, *27*(1). https://doi.org/10.1002/MPR.1576

Li, C., Li, G., Jiang, G., Chen, D., & Liu, H. (2020). Surface EMG data aggregation processing for intelligent prosthetic action recognition. *Neural Computing and Applications*, *32*(22), 16795-16806. https://doi.org/10.1007/s00521-018-3909-z

Li, Q., Shin, S. B., Hong, C. P., & Kim, S. D. (2020). On-body wearable device localization with a fast and memory efficient SVM-kNN using GPUs. *Pattern Recognition Letters*, *139*, 128-138. https://doi.org/10.1016/J.PATREC.2017.10.005

Li, X., Cao, J., Liu, Z., & Luo, X. (2020). Sustainable Business Model Based on Digital Twin Platform Network: The Inspiration from

Haier's Case Study in China. *Sustainability 2020, Vol. 12, Page 936*, *12*(3), 936. https://doi.org/10.3390/SU12030936

Liang, W. jie, Zhang, H., Zhang, G. feng, & Cao, H. xin. (2019). Rice Blast Disease Recognition Using a Deep Convolutional Neural Network. *Scientific Reports*, *9*(1). https://doi.org/10.1038/S41598-019-38966-0

Liu, C., Conn, K., Sarkar, N., & Stone, W. (2008). Physiology-based affect recognition for computer-assisted intervention of children with Autism Spectrum Disorder. *International Journal of Human Computer Studies*, *66*(9), 662-677. https://doi.org/10. 1016/J. IJHSC.2008.04.003

Liu, H., Motoda, H., Basu, S., Davidson, I., Wagstaff, K. L., Zhang, Z., … Wai-Chee Fu, A. (2012). Spectral Feature Selection for Data Mining. *Spectral Feature Selection for Data Mining*, 1-199. https://doi.org/10.1201/B11426

Liu, Y., Zhang, L., Yang, Y., Zhou, L., Ren, L., Wang, F., … Deen, M. J. (2019). A Novel Cloud-Based Framework for the Elderly Healthcare Services Using Digital Twin. *IEEE Access*, *7*, 49088-49101. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2909828

Martini, N., Menicucci, D., Sebastiani, L., Bedini, R., Pingitore, A., Vanello, N., … Gemignani, A. (2012). The dynamics of EEG gamma responses to unpleasant visual stimuli: From local activity to functional connectivity. *NeuroImage*, *60*(2), 922-932. https://doi.org/10. 1016/J.NEUROIMAGE.2012.01.060

Mert, A., & Akan, A. (2018). Emotion recognition based on time–frequency distribution of EEG signals using multivariate synchrosqueezing transform. *Digital Signal Processing: A Review Journal*, *81*, 106-115. https://doi.org/10.1016/J.DSP.2018.07.003

Moin, A., Farhan Aadil, ·, Ali, Z., & Kang, D. (t.y.). *Emotion recognition framework using multiple modalities for an effective human-computer interaction*. https://doi.org/10.1007/s11227-022-05026-w

Munezero, M., Montero, C. S., Sutinen, E., & Pajunen, J. (2014). Are they different? affect, feeling, emotion, sentiment, and opinion detection in text. *IEEE Transactions on Affective Computing*, *5*(2), 101-111. https://doi.org/10.1109/TAFFC.2014.2317187

Mustaqeem, & Kwon, S. (2021). Optimal feature selection based speech emotion recognition using two-stream deep convolutional neural network. *International Journal of Intelligent Systems*, *36*(9), 5116-5135. https://doi.org/10.1002/INT.22505

Ohn-Bar, E., & Trivedi, M. M. (2014). Hand gesture recognition in real time for automotive interfaces: A multimodal vision-based approach and evaluations. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, *15*(6), 2368-2377. https://doi.org/10. 1109/TITS. 2014. 2337331

Pal, S., Mukhopadhyay, S., & Suryadevara, N. (2021). Development and Progress in Sensors and Technologies for Human Emotion Recognition. *Sensors 2021, Vol. 21, Page 5554*, *21*(16), 5554. https://doi.org/10.3390/S21165554

Pan, Y. H., Qu, T., Wu, N. Q., Khalgui, M., & Huang, G. Q. (2021). Digital Twin Based Real-time Production Logistics Synchronization System in a Multi-level Computing Architecture. *Journal of Manufacturing Systems*, *58*, 246-260. https://doi.org/10.1016/J .JMSY. 2020. 10.015

Peng, W., Hong, X., Zhao, G., & Cambria, E. (2021). Adaptive Modality Distillation for Separable Multimodal Sentiment Analysis. *IEEE Intelligent Systems*, *36*(3), 82-89. https://doi.org/10.1109/MIS.2021.3057757

Picard, R. W., Vyzas, E., & Healey, J. (2001). Toward machine emotional intelligence: Analysis of affective physiological state. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, *23*(10), 1175-1191. https://doi.org/10.1109/34.954607

Purushothaman, G., & Vikas, R. (2018). Identification of a feature selection based pattern recognition scheme for finger movement recognition from multichannel EMG signals. *Australasian Physical and Engineering Sciences in Medicine*, *41*(2), 549-559. https://doi.org/10.1007/S13246-018-0646-7/FIGURES/7

Qi, J., Jiang, G., Li, G., Sun, Y., & Tao, B. (2019). Intelligent Human-Computer Interaction Based on Surface EMG Gesture Recognition. *IEEE Access*, *7*, 61378-61387. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2914728

Quitadamo, L. R., Cavrini, F., Sbernini, L., Riillo, F., Bianchi, L., Seri, S., & Saggio, G. (2017a, Şubat 1). Support vector machines to detect physiological patterns for EEG and EMG-based human-computer interaction: A review. *Journal of Neural Engineering*, C. 14. Institute of Physics Publishing. https://doi.org/10.1088/1741-2552/14/1/011001

Quitadamo, L. R., Cavrini, F., Sbernini, L., Riillo, F., Bianchi, L., Seri, S., & Saggio, G. (2017b, Şubat 1). Support vector machines to detect physiological patterns for EEG and EMG-based human-computer interaction: A review. *Journal of Neural Engineering*, C. 14. Institute of Physics Publishing. https://doi.org/10.1088/1741-2552/14/1/011001

Raghuvanshi, A., Singh, U. K., Sajja, G. S., Pallathadka, H., Asenso, E., Kamal, M., … Phasinam, K. (2022). Intrusion Detection Using Machine Learning for Risk Mitigation in IoT-Enabled Smart Irrigation in Smart Farming. *Journal of Food Quality*, *2022*. https://doi.org/10.1155/2022/3955514

Ramesh, L., Radhika, S., & Jothi, S. (2023). Hybrid support vector machine and K-nearest neighbor-based software testing for educational assistant. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, *35*(1). https://doi.org/10.1002/cpe.7433

Remeseiro, B., & Bolon-Canedo, V. (2019). A review of feature selection methods in medical applications. *Computers in Biology and Medicine*, *112*, 103375. https://doi.org/10.1016/J.COMPBIOMED.2019.103375

Russell, S. J. (Stuart J. (2020). Artificial intelligence : a modern approach / Stuart J. Russell and Peter Norvig ; contributing writers: Ming-Wei Chang [and 8 others]. *Artificial intelligence : a modern approach*, 1-1115.

Sailunaz, K., & Alhajj, R. (2019). Emotion and sentiment analysis from Twitter text. *Journal of* Computational Science, 36, 101003. https://doi.org/10.1016/J.JOCS.2019.05.009

Salomoni, G., Grassi, M., Mosini, P., Riva, P., Cavedini, P., & Bellodi, L. (2009). Artificial neural network model for the prediction of obsessive-compulsive disorder treatment response. Journal of Clinical Psychopharmacology, 29(4), 343-349. https://doi.org/10.1097/JCP.0B013E3181ABA68F

Shahin, I., Alomari, O. A., Nassif, A. B., Afyouni, I., Hashem, I. A., & Elnagar, A. (2023). An efficient feature selection method for arabic and english speech emotion recognition using Grey Wolf Optimizer. Applied Acoustics, 205, 109279. https://doi.org/10.1016/J .APACOUST.2023.109279

Shrivastava, A., Tripathy, A. K., & Dalal, P. K. (2019). A SVM-based classification approach for obsessive compulsive disorder by oxidative stress biomarkers. Journal of Computational Science, 36. https://doi.org/10.1016/J.JOCS.2019.07.010

Simão, M., Mendes, N., Gibaru, O., & Neto, P. (t.y.). A Review on Electromyography Decoding and Pattern Recognition for Human-Machine Interaction. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2906584

Sukawattanavijit, C., Chen, J., & Zhang, H. (2017). GA-SVM Algorithm for Improving Land-Cover Classification Using SAR and Optical Remote Sensing Data. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 14(3), 284-288. https://doi.org/10.1109/LGRS.2016.2628406

Sun, Y., Xu, C., Li, G., Xu, W., Kong, J., Jiang, D., … Chen, D. (2020). Intelligent human computer interaction based on non redundant EMG signal. Alexandria Engineering Journal, 59(3), 1149-1157. https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.01.015

Teja Chavali, S., Tej Kandavalli, C., Sugash, T. M., & Subramani, R. (2023). Smart Facial Emotion Recognition With Gender and Age Factor Estimation. Procedia Computer Science, 218, 113-123. https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2022.12.407

Toledo-Pérez, D. C., Rodríguez-Reséndiz, J., Gómez-Loenzo, R. A., & Jauregui-Correa, J. C. (2019, Ekim 1). Support Vector Machine-based EMG signal classification techniques: A review. Applied Sciences (Switzerland), C. 9. MDPI AG. https://doi.org/10.3390/app9204402

Wan, Z., Dong, Y., Yu, Z., Lv, H., & Lv, Z. (2021). Semi-Supervised Support Vector Machine for Digital Twins Based Brain Image Fusion. Frontiers in Neuroscience, 15, 802. https://doi.org/10.3389/FNINS.2021.705323/BIBTEX

Wang, X. W., Nie, D., & Lu, B. L. (2014). Emotional state classification from EEG data using machine learning approach. Neurocomputing, 129, 94-106. https://doi.org/10.1016/J.NEUCOM.2013.06.046

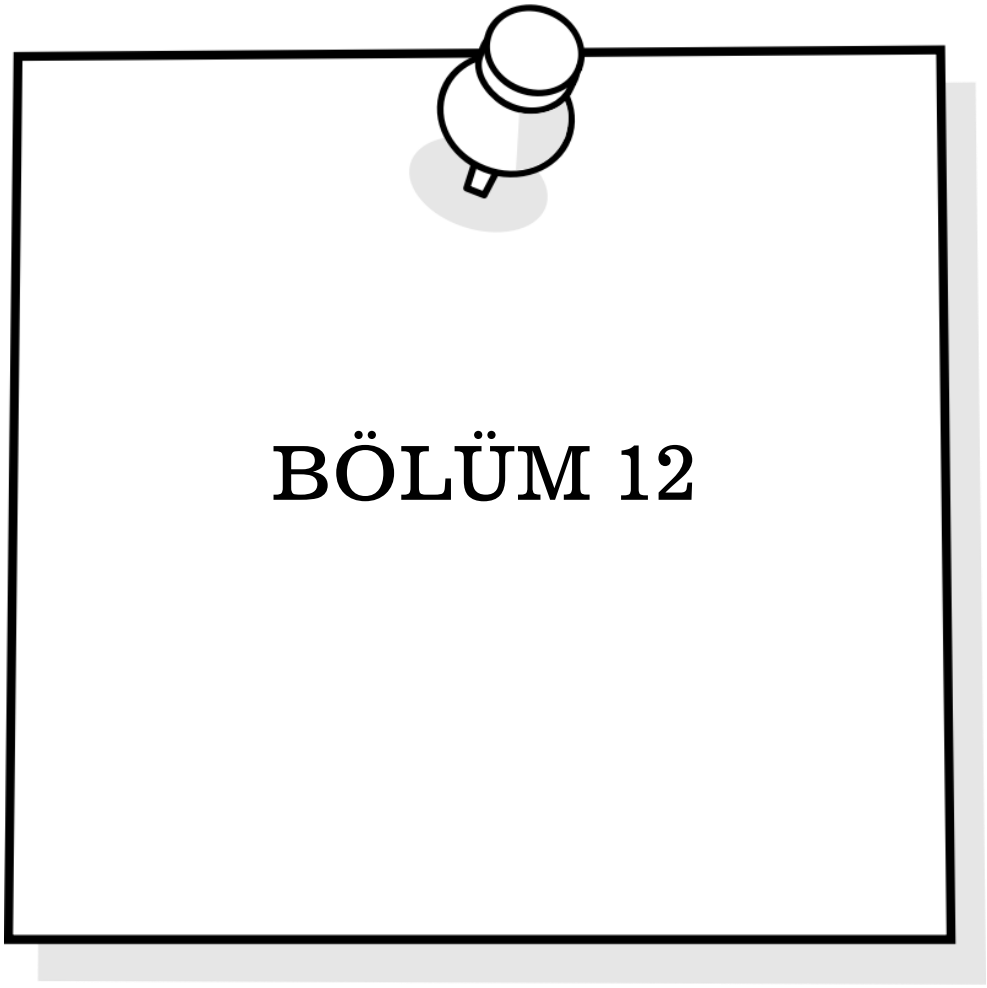
Wu, C. H., Chang, H. C., Lee, P. L., Li, K. S., Sie, J. J., Sun, C. W., … Shyu, K. K. (2011). Frequency recognition in an SSVEP-based brain computer interface using empirical mode decomposition and refined generalized zero-crossing. Journal of Neuroscience Methods, 196(1), 170-181. https://doi.org/10.1016/J.JNEUMETH.2010.12.014

Yin, Z., Liu, L., Chen, J., Zhao, B., & Wang, Y. (2020). Locally robust EEG feature selection for individual-independent emotion recognition. Expert Systems with Applications, 162, 113768. https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2020.113768

Zangeneh Soroush, M., Maghooli, K., Setarehdan, S. K., & Nasrabadi, A. M. (2018). A novel approach to emotion recognition using local subset feature selection and modified Dempster-Shafer theory. *Behavioral and Brain Functions*, *14*(1). https://doi.org/10.1186/s12993-018-0149-4

Zhang, H., Zhang, D., Wang, Z., Xi, G., Mao, R., Ma, Y., … Luan, H. (2023). Ultrastretchable, Self-Healing Conductive Hydrogel-Based Triboelectric Nanogenerators for Human-Computer Interaction. *ACS Applied Materials and Interfaces*, *15*(4), 5128-5138. https://doi.org/10.1021/acsami.2c17904

Zhao, M., Adib, F., & Katabi, D. (2016). Emotion recognition using wireless signals. *Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM*, *0*(1), 95-108. https://doi.org/10.1145/2973750.2973762



BÖLÜM 12

ISBN: 978-625-6971-84-4

YABANCI OT KONTROLÜNDE OTONOM YÖNTEMLERİN KULLANIMI

Arş. Gör. Fatmanur ATEŞ[1]

Prof. Dr. Ramazan ŞENOL[2]

GİRİŞ

Tarımda verimi etkileyen en önemli etkenlerden biri yabancı ot popülasyonunun kontrol altında tutulmasıdır. Literatürde istenmediği yerde yetişen bitkiler yabancı ot olarak tanımlanmıştır. Yabancı otlar tarım arazisindeki ürünlerle rekabet içerisinde olurlar bu yüzden ürünün kalitesinin düşmesine, veriminin az olmasına sebep olurlar. Ayrıca bazı türleri zararlı canlılara konaklık edebilir veya insan sağlığı açısından zararlı bitkiler olabilir (Uludağ vd., 2003). Yabancı otlarla mücadele edilmezse tarım arazilerinde bulunan su, besin, alan gibi tarım ürünleri için önemli olabilecek etkenlerin tamamını kullanıp, tarım ürünlerine zarar verebilirler. Yabancı otlarla mücadele edilmezse ürün zararı ekolojik ve iklim şartları da göz önünde bulundurulduğunda %45-%95 arasında olduğu ifade edilmiştir (Çolak ve Işık, 2021).

Yabancı otların tarım ürünlerine verdiği zararları ortadan kaldırabilmek veya azaltabilmek için çeşitli mücadele yöntemleri uygulanmaktadır. En temel yöntemler çıplak elle veya el aletleri ile yabancı otların temizlenmesidir. Bunların yanında yabancı otlarla kimyasal mücadele veya biyolojik mücadele kullanımı da tercih edilmektedir. Yabancı otlara karşı mücadele tarımda verimi artırabilecek önemli müdahalelerdendir ancak her mücadele yönteminin dezavantajları ve avantajları mevcuttur. Yabancı otlarla mücadelenin insan eliyle yapılması yoğun işgücüne ve zaman israfına sebep olur. Ayrıca çapalama gibi işlemlerde insan hatasından dolayı yeterli mücadele sağlanamayabilir (Çolak ve Işık, 2021). Bu sebepten yaşamın hemen hemen her alanında uygulanan teknolojik gelişmeler

[1] Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0001-5465-2483
[2] Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0002-7078-3229

tarım alanına da uygulanmaktadır. Tarımda da insanların yapmakta olduğu işlerin makinelere yaptırılması popüler olmaya başlamıştır. Tarımın farklı alanlarında olduğu gibi yabancı ot temizliğinde de otonom sistemler tasarlanmaktadır.

Otonom sistemler, yapması gereken bir görevi üzerinde bulundurduğu sensörlerini de kullanarak aldığı verileri analiz edip otonom olarak çözüm üretebilen elektro-mekanik cihazlardır (Duman ve Özsoy, 2019). Tarımda yabancı ot temizliğinde, otonom sistemlerin kullanılması pestisit ve herbisit kullanımlarının önüne geçilmesine yardımcı olabilir veya herbisit kullanılacaksa otonom sistemler hassas tasarlanıp daha sağlıklı bir çevre için herbisit kullanımı azaltılabilir (Mathiassen et al., 2006; Şahin, 2022). Ayrıca yabani ot kontrolünün insan gücü ile yapılması oldukça maliyetli olabilmektedir, otonom sistemler ekonomik ve çevresel maliyetleri azaltmada yeteneklidir (Slaughter vd., 2008).

Çalışmada yabancı ot kontrolünde kullanılan yöntemler ve otonom sistemlerle yöntemlerin kullanımı incelenmiştir. Çalışmanın araştırmacılara farklı bir bakış açısı oluşturması amaçlanmış, tarımda yabancı ot temizlemede otonom sistemlerin önemine dikkat çekilmiştir.

YABANCI OTLARLA MÜCADELE YÖNTEMLERİ

Yabancı otlarla mücadelede çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.

- Bir önceki yıllardan alınan bulaşık tohumların içerisine karışmış olan yabancı ot tohumlarını kullanmak tarım alanlarında bulunan yabancı otları artırır. Sertifikalı tohum veya yabancı otun bulunmadığı tarladan toplanmış ürün tohumlarını kullanmak yabancı otlarla mücadelede etkili yöntemlerden biridir (Özvardar, 2010).

- Tarım arazisinden biçerdöver ile hasat edilen ürün artıkları tarlaya bırakıldığında yabancı otları yaygınlaştırabilir. Biçerdöver ile hasat edilen ürünlerin tarlada bırakılmaması yabancı ot kontrolünde etkilidir (Özvardar, 2010).

- Hayvan yemleri yabancı ot tohumları içerebildiğinden, iyi yanmış hayvan gübrelerin tarımda kullanılması yabancı ot kontrolünde etkilidir (Özvardar, 2010).

- Yabancı ot kontrol yöntemlerinden bir diğeri elle yolmak veya çapalamaktır. Ancak derin köklü yabancı otlarla yeterince temizlik yapılamayabilir. Zaman alıcı olabilir.

- Çeşitli sürüm aletleriyle (tırmık, pulluk vb.) toprak işleme yabancı otlarla mücadelede etkilidir (Özvardar, 2010).

- Toprağı belli bir süre su altında bırakarak ta yabancı otlarla mücadele edilebilmektedir. Çimlenen otların ölmesine tohumların ise havasız kalmasına sebep olur (Özvardar, 2010).

- Toprak yüzeyinin canlı veya cansız materyallerle kapatılması ise yabancı ot tohumlarının çimlenmesinin engellenmesi yabancı otlarla mücadele yöntemlerindendir. Bu işlem malçlama olarakta bilinir (Özvardar, 2010).

- Yabancı otlarla kontrol yöntemlerinden biri de alevleme uygulaması yapmaktır. Bitki dokularına alevdeki ısının (yaklaşık 100 °C) anlık olarak aktarılmasıyla hücre zarlarının parçalanması, yabancı otun su kaybetmesi ve ölmesi amaçlanır (Tursun vd., 2017).

- Yabancı otlarında zarar gördüğü biyolojik canlılar vardır. Böcek, patojen, salyangoz gibi bazı canlılar yabancı otların miktarını azaltabilir. Biyolojik yabancı ot mücadelesinin diğer yabancı ot mücadele yöntemleri ile kıyaslandığında düşük yan etkiye sahip olduğu söylenebilir (Uygur, 2010).

- Yabani otları öldüren veya gelişimlerini yavaşlatan kimyasal ilaçlara herbisit denir (Özvardar, 2010). Kimyasal mücadele Dünya'da en yaygın olarak kullanılan mücadele yöntemlerinden biridir. Yabancı otlara aynı herbisitler uygulanırsa dayanıklılık meydana gelebilir ve yabancı otla mücadele başarısız olunur. Kimyasal mücadelede pestisit kullanım miktarına bağlı olarak suda ve toprakta kirlilik oluşabilir, doğadaki diğer canlılarda zarar görebilir, insan sağlığı için tehlike oluşturabilir (Mengüç ve Elibüyük, 2014).

YABANİ OT TEMİZLEMEDE OTONOM YÖNTEMLER

Pestisit kullanımını azaltmak ve elle yabancı ot ayıklama işlemini azaltmak için Danimarka Tarım Bilimleri Enstitüsü, Ziraat Mühendisliği Bölümü tarafından HortiBot robotu tasarlanmıştır. Hortibot küresel konumlandırma sistemini (GPS) kullanmasının yanı sıra 25 çeşit yabani otu tanıyabildiğini ve sahip olduğu ot sökücü aparatları sayesinde onları yok edebildiği ifade edilmiştir. Ayrıca herbisit kullanımını yüzde 75 oranında azaltabildiği için çok çevre dostu olduğu belirtilmiştir (Piquepaille, 2007).

Çiftliklerde yaşanan iş gücü sıkıntısının çözümü için ve verimin, üretkenliği artırılması için robotlar çözüm vadetmektedir. Mühendislik ve Bilgi Teknolojileri Fakültesi'nden Avustralya Saha Robotları Merkezi'nden (ACFR) robot uzmanları, RIPPA ismini verdikleri yabancı ot temizleme robotu tasarlamışlardır (The University of Sydney, 2015). Rippanın yabancı otları, taş, cam veya metaller gibi yabancı nesneleri algıyabilme yeteneğine sahip olduğu ifade edilmiştir. Rippa ile tespit edilen yabancı ot üzerinde gereken dozda sıvının hızlı bir şekilde

uygulandığı belirtilmiştir. RIPPA, "Akıllı Algı ve Hassas Uygulama için Robot (Robot for Intelligent Perception and Precision Application)" anlamına gelmektedir. Rippa şekil 1'de verilmiştir (Control Farayand Pasargad Robotic Group, 2016).



Şekil 1: Rippa yabancı ot temizleme robotu (Control Farayand Pasargad Robotic Group, 2016)

Yabancı otlar kimyasal mücadeleye karşı bağışıklık kazanmaktadır, bu yüzden tarımsal robotları yabancı otun varlığını tespit edip mücadele edebilmesi önem arz eder. Avusturalya'da bulunan Queensland Eyaleti'nin desteği ile Queensland Teknoloji Üniversitesi (QUT) tarafından Agbot II yabancı ot temizleme robotu tasarlanmıştır. Agbot II'nin bir tarla boyunca gezip yabancı otları tespit edebildiğini ve sınıflandırabildiğini daha sonra mekanik veya kimyasal olarak yok edebildiği ifade edilmiştir. Robutun aynı zamanda gübre uygulama yeteneğine de sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca AgBot'ların gruplar halinde çalışacak şekilde tasarlandığı ve bir robotta problem oluşursa diğerlerinin çalışmaya devam edeceği ifade edilmiştir. Agbot II görseli şekil 2'de verilmiştir (Gürses, 2017).

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 2: Agbot II yabancı ot mücadele robotu (Gürses, 2017)

Yabancı otları kontrol etmede herbisit kullanımını azaltmak için Blue River teknoloji şirketi See & Spray makinesini tasarlamıştır. Yabancı otların gerçek zamanlı olarak alındığı, konumlarının haritalanabildiği ifade edilmiştir. Makine öğrenmesi ile bilgisayarlı görü birleştirilmiştir. Makine öğrenme modellerini eğitmek için yabancı otları doğru etiketleyebilmek amacıyla tarım uzmanlarına danışıldığı ifade edilmiştir. Çalışmalarında yüksek çözünürlüklü kullanılan kameradan görüntülerin alındığı ve herbisitin püskürtülme yerinin belirlendiği böylece ekinlerin zarar görmeden yabancı otların öldürülmesinin amaçlandığı vurgulanmıştır. Geliştirilen robot teknolojisi şekil 3'te verilmiştir (Şahin, 2020).



Şekil 3: Blue River teknoloji şirketinin geliştirmiş olduğu yabancı ot temizleme robot sistemi (Şahin, 2020)

Geleneksel herbisitler, tarlaya püskürtüldüğünde sadece yabancı otlara değil aynı zamanda mahsulde zarar verebilir. Ayrıca yerleşim alanlarına, su

kaynaklarına da taşınabilir. Avrupa Birliği tarafından finanse edilen Asterix projesi çevre dostu biyopestisitlerle yabancı ot kontrolü yapmaktadır. Asterix'in görüntü tabanlı, yüksek hassasiyetli nozul sistemiyle entegre edildiği vurgulanmıştır. Ayrıca içerisinde ekinleri ve yabancı otları algılayabilecek makine öğrenme algoritmaları kullanıldığı ifade edilmiştir. Sadece yabancı otun yapraklarına biyoherbisit püskürtülerek yabancı otla mücadele edildiği belirtilmiştir. Herbisit kullanımının ekin verimini yavaşlattığını ve biyoperbisit kullanarak ekin verimini de artırmayı amaçlamışlardır. %5 oranında iyileştirme sağlayabileceklerini tahmin ettikleri verim değerinin maydanoz kökünde denedikleri ilk verilere göre %45 verim artışı sağladıklarını ifade etmişlerdir. Asterix'in görseli şekil 4'te verilmiştir (European Commission, 2020).



Şekil 4: Asterix yabancı ot kontrol robotu (European Commission, 2020)

Yabancı ot kontrol yöntemleri işçilik ve sermaye maliyetleri getirir. Yabancı ot kontrolünde robotların kullanılması bu maliyetlerde azalmayı sağlayabilir. Tertill, ev bahçeleri için tasarlanmış, güneş enerjisi ile çalışan küçük bir yabancı ot temizleme robotudur. Kapatisif sensörler bulunduran Tertill bahçede rastgele yürüyüşle hareket eder. 2,5 cm'den kısa olan bitkiler yabancı ot olarak kabul edilir. Yabancı ot tespit edildikten sonra dönen bir yaylı budama makinesi yabancı otları yok eder. Tertill'in geniş ve köklü yabancı otları öldürmesinin zor olduğu ifade edilmiştir (Averill, 2022). Tertill' in örnek görseli şekil 5'te verilmiştir. Robotun küçük yabani otları budamak için ve toprağı sürmek için faydalı olduğu, kullanımının kolay olduğu ve güneş enerjisi ile çalışmasının en

ISBN: 978-625-6971-84-4

önemli avantajlarından olduğu ifade edilirken, sadece birkaç özelliğinin olması ve küçük zeminlerde sıkışma ihtimalinin olması dezavantajları olarak ifade edilmiştir (Delaney, 2021).



Şekil 5: Tertill yabancı ot temizleme robotu (Delaney, 2021)

Tarımda yabancı otların varlığı çiftçileri endişelendiren en önemli durumlardan bir tanesidir. Kimyasal herbisitler yabancı otları öldürse de suyu ve toprağı kirletebilir. Carbon robotik firması bu çözüme alternatif olarak yabani otları içerisinde bulunan bir yapay zekâ programı ile yeri tarayan 12 kameradan aldığı görüntülerden yabancı otları tespit edip güçlü lazerle yok eden LaserWeeder isimli yabancı ot temizleme teknolojisini üretmişlerdir. LaserWeeder'ın otonom olmayıp bir traktör tarafından çekilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. LaserWeeder yabancı ot temizleme teknolojisi şekil 6'da verilmiştir (Houser, 2022).



Şekil 6: Carbon robotik firmasının piyasaya sunduğu LaserWeeder teknolojisi (Houser, 2022).

Yabancı ot temizliğinde minimum düzeyde kimyasal kullanmak çevre için önemlidir. Small robotik şirketi bir tarladaki yabani otların varlığını algılayıp, temizleyen ve tohumlama yapabilen Tom, Dirk ve Harry ismini verdiği üç robot geliştirdi. Tom' un günde 20 hektar alan tarayıp veri toplayabildiğini, Tom' un topladığı verilere göre Dick ismini verdikleri robotun yabancı otları elektrikle öldürdüğü ifade edilmiştir. Yabancı otlar temizlendikten sonra ise Harry isimli robotun tarlaya tohum ektiği belirtilmiştir. Şirket bu sistemin tarlada kullanıldığında çiftçilerin maliyetlerini %40, kimyasal kullanımını ise %95'e kadar azalttığını ifade etmiştir. Şirketin tasarlamış olduğu robotlardan Tom ve Dick şekil 7'de verilmiştir (Bailey, 2022).



Şekil 7: Small robotik şirketinin Tom (solda) ve Dick (sağda) isimli robotları (Bailey, 2022).

Karasal araçlara alternatif olarak insansız hava araçları da yabancı ot temizlemek için tasarlanmaya başlanmıştır ve bu teknoloji yeni yeni geliştirilmektedir. İHA' lar karasal araçlara göre daha kısa izleme süresiyle yabancı otları tespit edebilir. Üzerinde bulundurduğu multispektral, hiperspektral, rgb vb. kameralarla almış olduğu görüntüler derin öğrenme gibi yöntemler kullanılarak yabancı ot tespiti yapılabilir (Esposito, 2021). Kant vd, çalışmalarında yabancı otların temizlenmesi için drone-rover ismini verdikleri hibrit otonom bir sistem önermişlerdir. Dronların yük kısıtlamalarından ötürü sınırlı süre uçtuklarını, gezici araçların ise tarım alanlarındaki engelleri aşmada sorun yaşadıklarını ayrıca dikey tarımda sınırlamaları olduğunu ifade ederek gezici araçların ve dronların avantajlarını birleştiren bir otonom araç

ISBN: 978-625-6971-84-4

tasarlamışlardır. Tasarlamış oldukları robotun engel algılama, yabancı otları yolma ve böcek ilacı püskürtme özelliklerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Aracın makaslı kesim, püskürtme, lazer ve yolucu sistemleri ile farklı prototipi geliştirilmiş ve yabancı ot kontrolü amaçlanmıştır. Sistemin yabancı ot tespit edildiğinde gezici moduna geçip yabancı ot tespit edilmediğinde dron moduna geçtiği belirtilmiştir. Lazer ve makasla kesimin güvenlik için endişe oluşturduğunu ifade ederek yolucu ve püskürtücü prototipleri uygun seçenek olarak kabul etmişlerdir. Prototip hibrit aracın görüntüsü şekil 8'de verilmiştir (Kant vd., 2023).



Şekil 8: Prototip hibrit aracın görüntüsü (Kant vd., 2023).

SONUÇ

Gelişen teknolojinin tarımsal uygulamalara yönelik getirdiği çözümlerden birisi de yabani otlarla mücadele araçlarıdır. Bu araçlardan mevcut olanlar ve geliştirilmekte olanlar bu çalışmada ele alınmıştır. Çalışmanın araştırmacılara kaynak oluşturması amaçlanmıştır.

REFERANSLAR

Houser, K. (2022). Farming robot kills 200,000 weeds per hour with lasers. https://www.freethink.com/robots-ai/farming-robot internet sitesinden 11.08.2023 tarihinde alınmıştır.

Bailey, S. (2022). A robot is killing weeds by zapping them with electricity. https://edition.cnn.com/2021/06/09/tech/robot-zaps-weeds-spc-intl/index.html internet sitesinden 12.08.2023 tarihinde alınmıştır.

Averill, K. M., Westbrook, A. S., Pineda-Bermudez, L., O'Briant, R. P., DiTommaso, A., & Ryan, M. R. (2022). Effects of Tertill® Weeding Robot on Weed Abundance and Diversity. Agronomy, 12(8), 1754. Doi: https://doi.org/10.3390/agronomy12081754

Delaney, J.R. (2021). Tertill Weeding Robot Review. https://www.pcmag.com/reviews/tertill-weeding-robot internet sitesinden 12.08.2023 tarihinde alınmıştır.

The University of Sydney, (2015). Rippa robot takes farms forward to the future. https://www.sydney.edu.au/news-opinion/news/2015/10/21/rippa-robot-takes-farms-forward-to-the-future-.html internet sitesinden 12.08.2023 tarihinde alınmıştır.

Control Farayand Pasargad Robotic Group, (2016). Rippa Robot: Autonomous Robot for Agriculture. https://robot.cfp.co.ir/en/newsdetail/335 internet sitesinden 12.08.2023 tarihinde alınmıştır.

Esposito, M., Crimaldi, M., Cirillo, V., Sarghini, F., & Maggio, A. (2021). Drone and sensor technology for sustainable weed management: A review. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 8(1), 1-11. Doi: https://doi.org/10.1186/s40538-021-00217-8

Kant, J. K., Sripaad, M., Bharadwaj, A., & Sundaram, S. (2023). An Autonomous Hybrid Drone-Rover Vehicle for Weed Removal and Spraying Applications in Agriculture. arXiv preprint arXiv:2308.04794. Doi: https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.04794

European Commission, (2020). Weeding robot for precision farming reducing herbicide usage by 95%. https://cordis.europa.eu/article/id/413364-asterix-the-farmer-robot-conquers-weeds-with-biopesticide-without-spraying-interleaved-crops internet sitesinden 12.08.2023 tarihinde alınmıştır.

Piquepaille, R. (2007). HortiBot, a weed-removing robot. https://www.zdnet.com/article/hortibot-a-weed-removing-robot/ internet sitesinden 12.08.2023 tarihinde alınmıştır.

Gürses, G. (2017). Yabancı Ot Avcısı Robot – Agbot(Avustralya). https://agtechtr.wordpress.com/2017/10/04/yabanci-ot-avcisi-robot-agbotavustralya/ internet sitesinden 12.08.2023 tarihinde alınmıştır.

Şahin, O. (2020). Yapay Zeka Destekli Araçlar Robot Çiftçiliğinde Kullanılıyor. https://teknoloji.org/yapay-zeka-destekli-araclar-robot-ciftciliginde-kullaniliyor/ internet sitesinden 12.08.2023 tarihinde alınmıştır.

Uludağ, A., Üremiş, İ., & Erten, L. Yabanci Otlar Zeytinliklerde Sorun Mudur?. 02/03 Ekim 2003 Tariş Zeytinyağı Üretim Tesisleri Çiğli-İzmir, 94.

Çolak, E. Ş., & Doğan, I. Ş. I. K. (2021). Yabancı Otlar Ile Mücadelede Güncel Yöntem: Robotikler. Turkish Journal Of Weed Science, 24(2), 166-176.

Şahin, H. (2022). Dijital Tarım, Tarım 4.0, Akılı Tarım, Robotik Uygulamalar Ve Otonom Sistemler. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 18(2), 68-83.

Mathiassen, S. K., Bak, T., Christensen, S., & Kudsk, P. (2006). The Effect Of Laser Treatment As A Weed Control Method. Biosystems Engineering, 95(4). Https://Doi.Org/10.1016/J.Biosystemseng.2006.08.010

Duman, B., & Özsoy, K. (2019). "Endüstri 4.0 Perspektifinde Akilli Tarim", 4th International Congress On 3d Printing (Additive Manufacturing) Technologies And Digital Industry.

Slaughter, D. C., Giles, D. K., & Downey, D. (2008). Autonomous Robotic Weed Control Systems: A Review. Computers And Electronics In Agriculture, 61(1), 63-78.

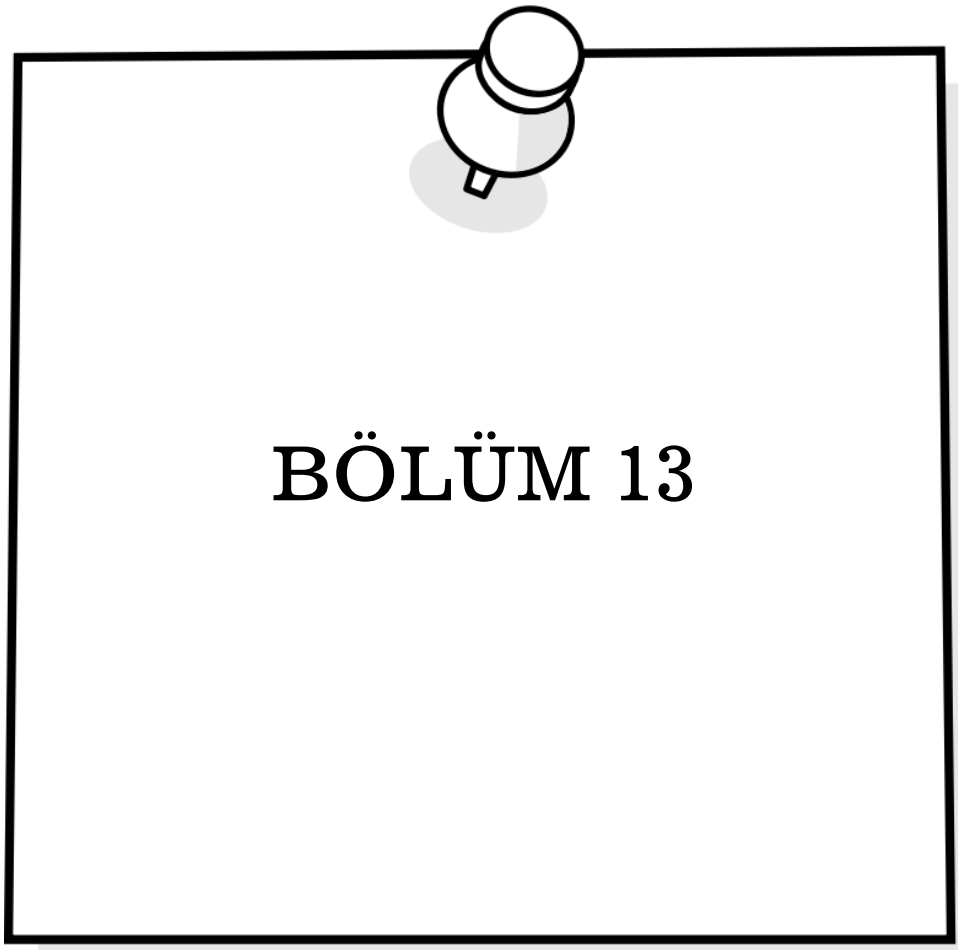
Mcallister, W., Osipychev, D., Davis, A., & Chowdhary, G. (2019). Agbots: Weeding A Field With A Team Of Autonomous Robots. Computers And Electronics In Agriculture, 163, 104827. Doi: Https://Doi.Org/10.1016/J.Compag.2019.05.036

Özvardar, N.S., (2010). Farklı Püskürtme Ağız Tiplerinin Alevli Mücadele Tekniği İle Yabancı Ot Kontrolüne Etkisi Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.

Uygur, S., & Uygur, F. N. (2010). Yabancı Otların Biyolojik Mücadelesi. Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi, 1(1), 79-95.

Mengüç, Ç., & Elibüyük, İ. Ö. (2014). Yabancı Otlarda Herbisitlere Dayanıklılık Ve Yönetimi. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, (2), 19-22.

Tursun, N., Karaat, E. F., Kutsal, K. I., Işık, R., Arslan, S., & Tursun, A. Ö. (2017). Ayçiçeği Üretiminde Alevleme Ve Çapalamanın Yabancı Ot Mücadelesinde Etkilerinin Araştırılması. Turkish Journal Of Weed Science, 20(1), 10-17.



BÖLÜM 13

ISBN: 978-625-6971-84-4

GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİNDEKİ ORMAN VE YARI DOĞAL ALANLARIN ZAMANSAL VE MEKANSAL DEĞİŞİMİNİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Çağrı MERCAN[1]

1.Giriş

Artan nüfus ile birlikte görülen göç hareketleri ve beraberinde gelişen olumsuz beşeri etkiler doğal kaynaklar ve arazi örtüsü üzerindeki baskıyı arttırmaktadır (Arslan ve Örücü, 2019; Mercan ve Arpağ, 2020). Bu olumsuz etkilerin sonucunda biyolojik çeşitlik zarar görürken, canlıların yaşam alanlarında değişimler meydana gelmektedir (Sarı ve Özşahin, 2016). Doğal kaynakların en önemlilerinden birisi orman ve yarı doğal alanlardır. Bu alanların insanlar için sosyal, ekonomik ve ekolojik birçok faydası varken, diğer pek çok canlının ise yaşam alanlarını oluşturmaktadır (Yılmaz vd., 2006). Son yıllarda etkisi belirgin bir şekilde görülen küresel ısınma canlıların termal konfor unsurlarını tehdit ederken yapılan çalışmalar yeşil alanların boş arazilere göre nispeten daha düşük yer yüzey sıcaklığına sahip olduğunu göstermektedir (Mercan, 2020). Doğal kaynaklar sınırlı olduğundan bu alanlar dikkatli bir şekilde yönetilmelidir Bundan ötürü doğal kaynakların mevcut durumlarının rasyonel bir şekilde belirlenip zamansal ve mekânsal değişimlerinin ortaya konulması arazi planlama çalışmaları açısından oldukça kritiktir (Mercan, 2023).

Orman ve yarı doğal alanların belirlenmesinde kullanılabilecek en ekonomik ve hızlı yöntemlerden birisi Avrupa Çevre Ajansı (ESA) tarafından belirlenen bazı kriterlere göre üretilen CORINE (Coordination of Information on the Environment) verileridir (Özür ve Ataol, 2018; Üyük vd., 2020). Bu veri seti uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerini (CBS) kullanarak arazinin niteliği hakkında önemli veriler sunmaktadır (Polat ve Yalçın, 2020). 1990, 2000, 2006,

[1] Mardin Artuklu Üniversitesi, Savur Meslek Yüksekokulu, ORCID: 0000-0003-1694-0024

2012 ve 2018 yıllarına ait veriler, 1/100000 ölçeğinde vektör formatta ücretsiz olarak sunulmaktadır (CORINE, 2023). CORINE projesi kapsamında Türkiye'de verilerin üretilmeye başlama çalışmaları 2001 yılında başlamıştır. Bu veriler kullanılarak belirli bir yıla ait arazi örtüsü belirlenebildiği gibi, yıllara göre arazi yüzeyindeki değişimlerde ortaya konulabilmektedir. CORINE verilerinin çözünürlüğünden dolayı bazı küçük boyutlu alanların varlığı hassas bir şekilde yansıtılamasa da birçok devletin kabul ettiği bir veri seti olması ve arazi örtüsü üzerindeki önemli değişimleri hızlı bir şekilde ortaya koyabilmesinden ötürü oldukça kıymetli bir veri setidir (Bayar ve Karabacak, 2017).

Güneydoğu Anadolu Bölgesi orman ve yarı doğal alanlar açısından fakir bir bölgedir. Bu bölgedeki mevcut orman ve yarı doğal alanların miktarlarının rasyonel olarak ortaya konulması ileriye yönelik yapılacak havza planlama çalışmalarında karar vericiler için bir veri kaynağı oluşturacaktır. Yapılan bu çalışma ile CORINE verileri kullanılarak Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki orman ve yarı doğal alanların zamansal ve mekânsal değişimi temel düzeyde ele alınmaya çalışılmıştır. Yapılan bu çalışmanın bölgede yapılacak olan bilimsel araştırmalara ve planlamalara katkı sunması amaçlanmaktadır.

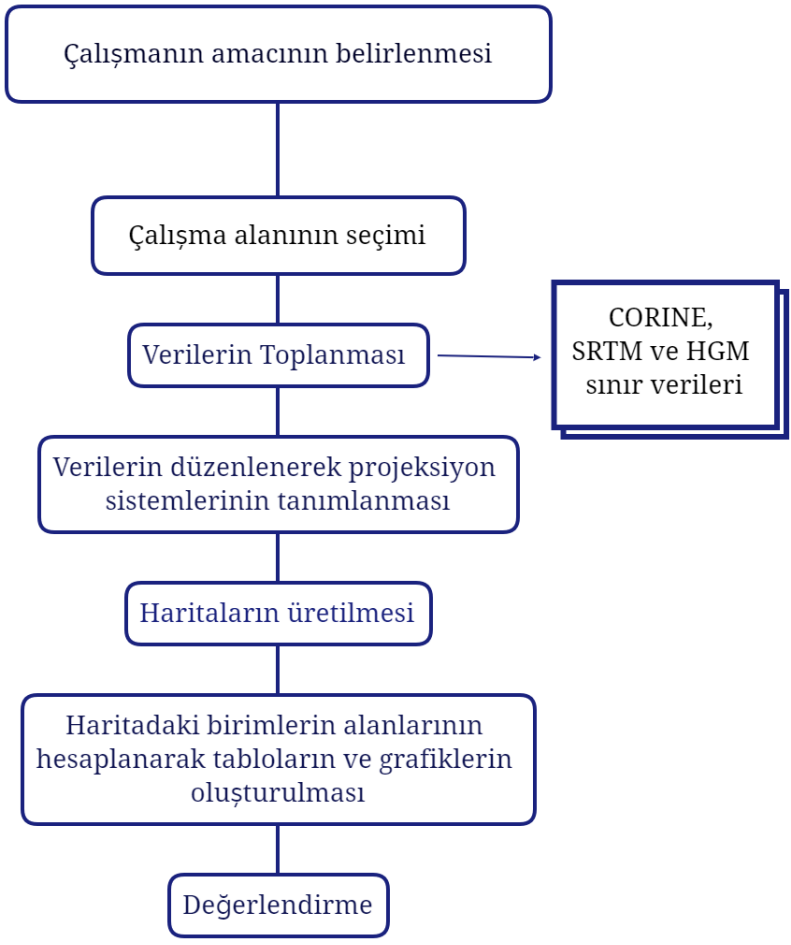
2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada izlenilen yol şekil 1'de özetlenmiştir. İnceleme alanının oldukça büyük olmasından ötürü çalışmada, Avrupa Birliği tarafından ücretsiz olarak sunulan CORINE projesine ait verileriler kullanılmıştır. Bu veri seti Türkiye'nin de içinde bulunduğu çeşitli Avrupa ülkelerine ait arazi örtüsü bilgilerini barındırmaktadır (COPERNICUS, CORINE 2023). İnceleme alanına göre bu veri setinin kesilebilmesi için öncelikle Harita Genel Müdürlüğünden (HGM) Güneydoğu Anadolu Bölgesine ait illerin sınır verileri sayısal olarak indirilmiş ve uygun projeksiyon tanımlaması yapılmıştır. İndirilen CORINE verileri, çalışma alanına göre kesilerek uygun projeksiyon tanımlaması yapılmıştır.

CORINE verileri başlıca üç düzeyden oluşmaktadır. 1. Düzey; yapay alanlar (kod:1), tarım alanları (kod:2), orman ve yarı doğal alanlar (kod:3), sulak alanlar (kod:4) ve su yapılarından (kod:5) oluşmaktadır. 2. ve 3. düzey yapılar ise bir önceki düzeyin daha ayrıntılı tanımlandığı alt sınıfları içermektedir. Yapılan bu çalışmada ise inceleme alanının büyüklüğü de göz önüne alınarak 1. düzey CORINE verileri kullanılmıştır. Yalnızca incelemenin amacı doğrultusunda kod:3 verileri orman alanları ve yarı doğal alanlar şeklinde ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Orman alanları, üçüncü düzey (kod:311, 312 ve 313) verilerinin birleştirilmesi sonucu oluşturulmuştur. Yarı doğal alanlar da benzer şekilde üçüncü düzey (kod: 321, 322, 323, 324, 331, 332, 333, 334 ve 335)

ISBN: 978-625-6971-84-4

verilerinden oluşturulmuştur. Arazi örtüsü verilerinin üç boyutlu olarak daha iyi anlaşılabilmesi için NASA tarafından ücretsiz olarak sunulan 30m çözünürlüklü SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) verilerinden kabartı haritası oluşturulmuş ve CORINE verileri ile çakıştırılmıştır. Yapılan işlemlerde ArcGIS v10.8 programı kullanılmıştır. ArcGIS aracılığıyla yıllara göre belirlenen arazi örtüsü sınıflarının alanları belirlenmiştir ve bu veriler Microsoft Excel yazılımı aracılığıyla grafiklere dönüştürülüp değerlendirilmiştir (Şekil 8).

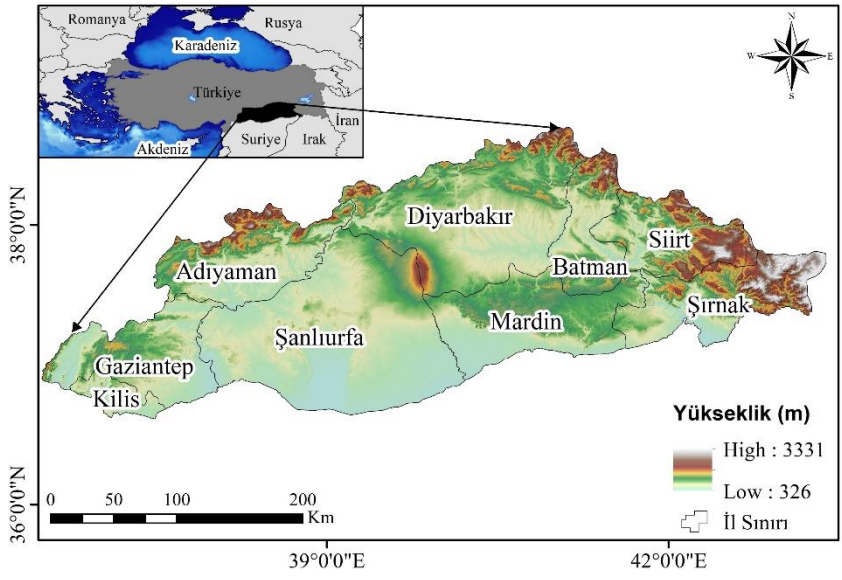


Şekil 1. İş akış şeması

2.1.Çalışma Alanı

Yapılan çalışma Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer alan illeri kapsamaktadır (Şekil 2). Bölgenin güneyinde Irak ve Suriye ülkeleri bulunmaktadır. Büyük bir plato görünümünde olan Güneydoğu Anadolu Bölgesi hafif kıvrımlı, yer yer faylı, çoğunlukla sedimanter kayaç gruplarından oluşan bir jeolojiye sahiptir. Diyarbakır ve Şanlıurfa illerinin sınırında yükselen Karacadağ volkanından çıkan volkanik ve piroklastik ürünler ise bölgedeki pek çok alanda görülebilmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi jeolojik olarak Arap platformu olarak adlandırılan bölgede bulunmaktadır (Sözer, 1984).

İnceleme alanı içerisinde yer alan Kilis ilinde aylık toplam yağış miktarı 500 mm, ortalama sıcaklık ise 17.2 °C'dir. Gaziantep ilinde aylık toplam yağış miktarı 564.8 mm, ortalama sıcaklık ise 15.3 °C'dir. Şanlıurfa ilinde aylık toplam yağış miktarı 459.3 mm, ortalama sıcaklık ise 18.5 °C'dir. Adıyaman ilinde aylık toplam yağış miktarı 716.1 mm, ortalama sıcaklık ise 17.4 °C'dir. Diyarbakır ilinde aylık toplam yağış miktarı 493.3 mm, ortalama sıcaklık ise 15.9 °C'dir. Mardin ilinde aylık toplam yağış miktarı 675.6 mm, ortalama sıcaklık ise 16.1 °C'dir. Batman ilinde aylık toplam yağış miktarı 490.7 mm, ortalama sıcaklık ise 15.9 °C'dir. Siirt ilinde aylık toplam yağış miktarı 717.9 mm, ortalama sıcaklık ise 16.3 °C'dir. Şırnak ilinde aylık toplam yağış miktarı 710.4 mm, ortalama sıcaklık ise 15.3 °C'dir. Bölgede farklı iklim türleri bulunsa da ağırlıklı olarak kışı ılık, yazı çok sıcak ve kurak geçen Akdeniz iklimi hakimdir. (MGM, 2023).



Şekil 2. Çalışma alanının lokasyon haritası

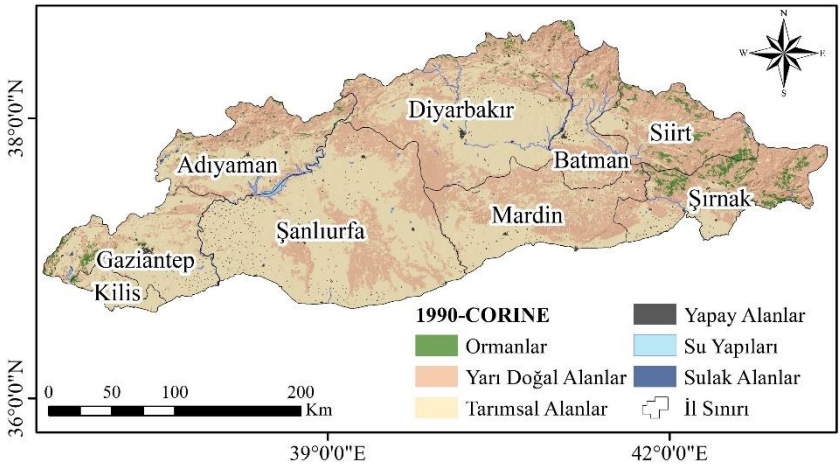
ISBN: 978-625-6971-84-4

3.Bulgular

Güneydoğu Anadolu Bölgesinin 1990 yılı arazi örtüsü haritasında orman alanların çoğunlukla Şırnak, Siirt, Gaziantep illeri ile Adıyaman ve Diyarbakır'ın kuzey alanlarında bulunduğu görülmektedir (Şekil 3). Orman arazileri yağış miktarının fazla olduğu illerde ve çoğunlukla topografik yüksekliğin arttığı alanlarda yoğunlaşmıştır. Bölgedeki arazi varlığının %2.69'u orman arazileridir (Tablo-1). Yarı doğal alanlar bölgede tarımsal alanlardan sonra en yaygın görülen arazi sınıfını oluşturmaktadır (%41.25). Yarı doğal alanlar, inceleme alanının doğu kesimleri, Mardin ilinin kuzey alanları, Batman'ın güney kısımları, Diyarbakır'ın kuzeydoğu ve güneybatısında bulunan araziler, Adıyaman'ın kuzey kısımları ile Şanlıurfa'nın iç kesimlerinde yaygın bir şekilde görülebilmektedir.

Tablo 1. 1990 yılı arazi örtüsü miktarı

Arazi Sınıfları (1990)	Alan (km²)	Oran (%)
Yapay Alanlar	662.22	0.87
Tarımsal Alanlar	41360.04	54.43
Ormanlar	2043.77	2.69
Yarı Doğal Alanlar	31343.76	41.25
Sulak Alanlar	38.65	0.05
Su Yapıları	539.78	0.71
Toplam	**75988.21**	**100.00**

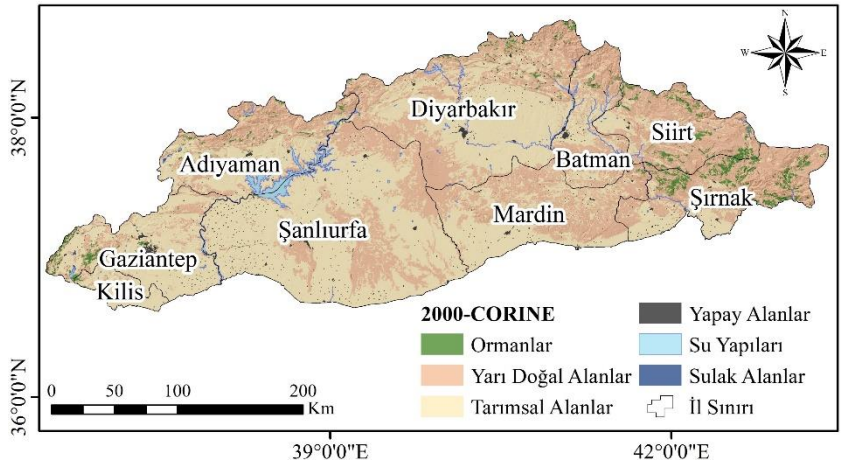


Şekil 3. 1990 yılı CORINE haritası

2000 yılı için arazi örtüsü sınıfları incelendiği zaman gerek orman arazilerinin ve gerekse de yarı doğal alanların 1990 yılında olduğu gibi benzer bölgelerde olduğu görülmektedir (Şekil 4). 1990 yılına göre orman alanlarında 66.86 km²'lik bir artış olduğu görülmektedir. Yarı doğal alanların miktarında ise 282.23 km²'lik bir azalış olduğu görülmektedir (Tablo 2). Bölgede Atatürk barajının yapılmasıyla birlikte su yapılarının oranlarında da bir önceki yıla göre 578.71 km²'lik bir artış olmuştur. Tarımsal arazilerde ise 1990 yılına göre 529.59km²'lik bir azalış görülmüştür. Nüfusun artmasıyla birlikte yapay alanların miktarında da bir önceki döneme göre artışın var olduğu göze çarpmaktadır (168.89 km²).

Tablo 2. 2000 yılı arazi örtüsü miktarı

Arazi Sınıfları (2000)	Alan (km²)	Oran (%)
Yapay Alanlar	831.11	1.09
Tarımsal Alanlar	40830.45	53.73
Ormanlar	2110.63	2.78
Yarı Doğal Alanlar	31061.53	40.88
Sulak Alanlar	36.00	0.05
Su Yapıları	1118.49	1.47
Toplam	**75988.21**	**100.00**



Şekil 4. 2000 yılı CORINE haritası

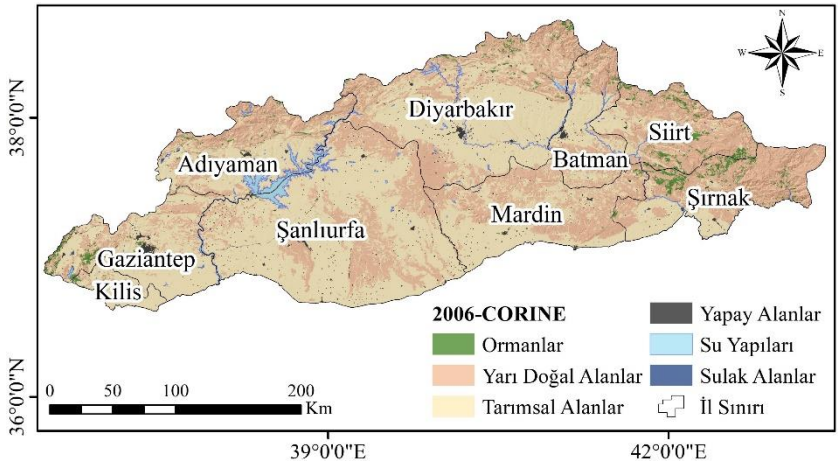
2006 yılı arazi örtüsü haritasında orman ve yarı doğal alanların önceki dönemler ile benzer kesimlerde olduğu görülmektedir. 1990 ve 2000 yıllarında Şırnak ilinin doğu kesimlerinde bulunan ormanlık arazilerin ise büyük oranda yok olduğu ve yerine yarı doğal alanların geldiği görülmektedir (Şekil 5). Aynı şekilde Diyarbakır ve Adıyaman bölgesinde bulunan bazı orman alanlarının yok

ISBN: 978-625-6971-84-4

olmuştur. Orman arazileri 2000 yılına göre 451.41 km^2, yarı doğal alanlarda ise 749.75 km^2'lik bir azalış olduğu belirlenmiştir (Tablo 3). Şanlıurfa, Şırnak ve Diyarbakır'ın batı kesimlerindeki yarı doğal alana sahip kesimlerin tarımsal alanlara dönüştüğü görülmektedir. Yapay alanlar, tarımsal alanlar ve su yapılarının miktarında ise 2006 yılında bir önceki döneme göre bir artış görülmektedir. Yapay alanlarda 74.61km^2', tarımsal alanlarda 1019.92km^2', sulak alanlarda 33.67km^2, su yapılarında ise 102.96km^2'lik bir artış yaşanmıştır.

Tablo 3. 2006 yılı arazi örtüsü miktarı

Arazi Sınıfları (2006)	Alan (km^2)	Oran (%)
Yapay Alanlar	905.72	1.19
Tarımsal Alanlar	41850.37	55.07
Ormanlar	1659.22	2.18
Yarı Doğal Alanlar	30311.78	39.89
Sulak Alanlar	39.68	0.05
Su Yapıları	1221.45	1.61
Toplam	**75988.21**	**100.00**

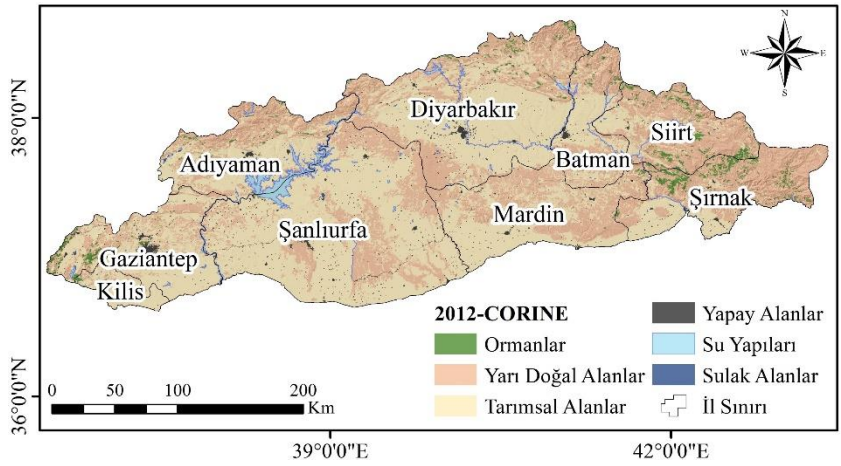


Şekil 5. 2006 yılı CORINE haritası

2012 yılı arazi örtüsü haritasında orman ve yarı doğal alanların önceki dönemler ile benzer yerlerde konumlandığı görülmektedir (Şekil 6). Ormanlık arazilerin miktarı 2006 yılına göre 57.39 km^2 artarken, yarı doğal alanlar bir önceki yıla göre 198.81km^2 azalmıştır. Tarımsal alanlar 128.18 km^2 azalırken, yapay alanlar 238.65km^2 artmıştır.

Tablo 4. 2012 yılı arazi örtüsü miktarı

Arazi Sınıfları (2012)	Alan (km²)	Oran (%)
Yapay Alanlar	1144.37	1.51
Tarımsal Alanlar	41722.19	54.91
Ormanlar	1716.61	2.26
Yarı Doğal Alanlar	30112.97	39.63
Sulak Alanlar	50.24	0.07
Su Yapıları	1241.84	1.63
Toplam	**75988.21**	**100.00**



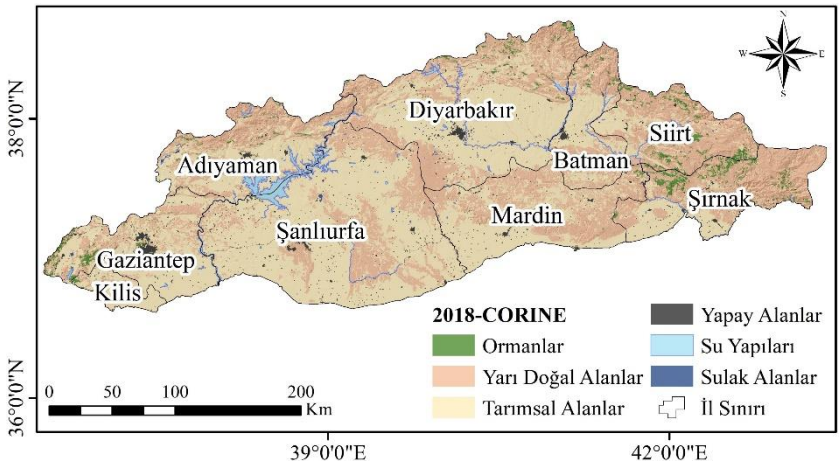
Şekil 6. 2012 yılı CORINE haritası

2018 yılı arazi örtüsü haritasında orman ve yarı doğal alanların yerlerinde önceki döneme göre önemli bir değişiklik görülmemektedir (Şekil 7). Gaziantep ve Diyarbakır illerinde artan nüfusun etkisiyle yapay alan miktarında önemli artışların olduğu görülmektedir. 2018 yılındaki orman miktarı 2012 yılına göre 1.81 km^2 yarı doğal alanlar ise 155.07 km^2 azalmıştır.

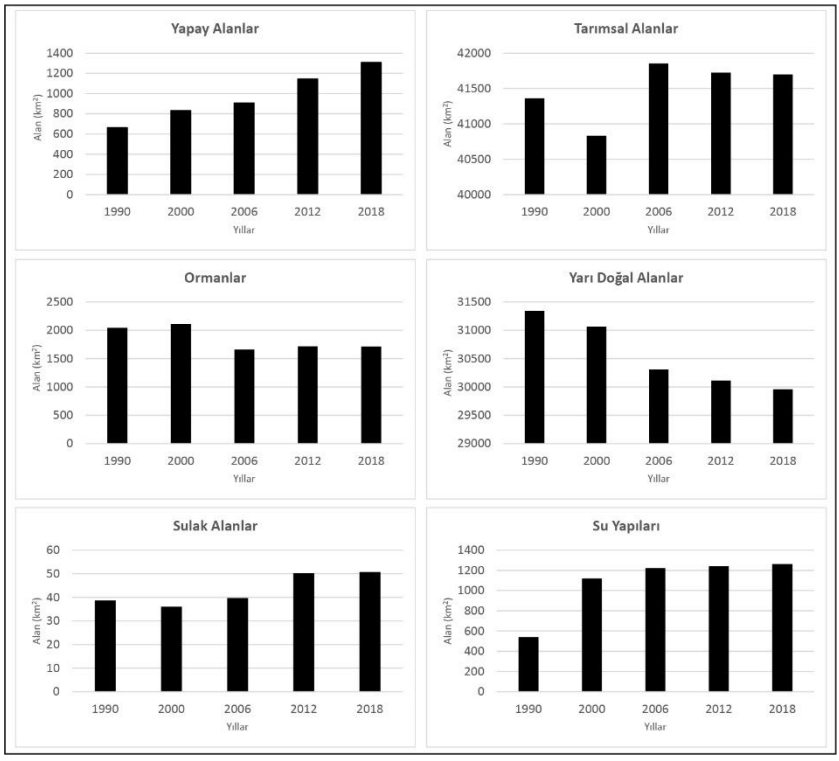
Tablo 5. 2018 yılı arazi örtüsü miktarı

Arazi Sınıfları (2018)	Alan (km²)	Oran (%)
Yapay Alanlar	1307.55	1.72
Tarımsal Alanlar	41696.47	54.87
Ormanlar	1714.80	2.26
Yarı Doğal Alanlar	29957.90	39.42
Sulak Alanlar	50.70	0.07
Su Yapıları	1260.80	1.66
Toplam	**75988.21**	**100.00**

ISBN: 978-625-6971-84-4



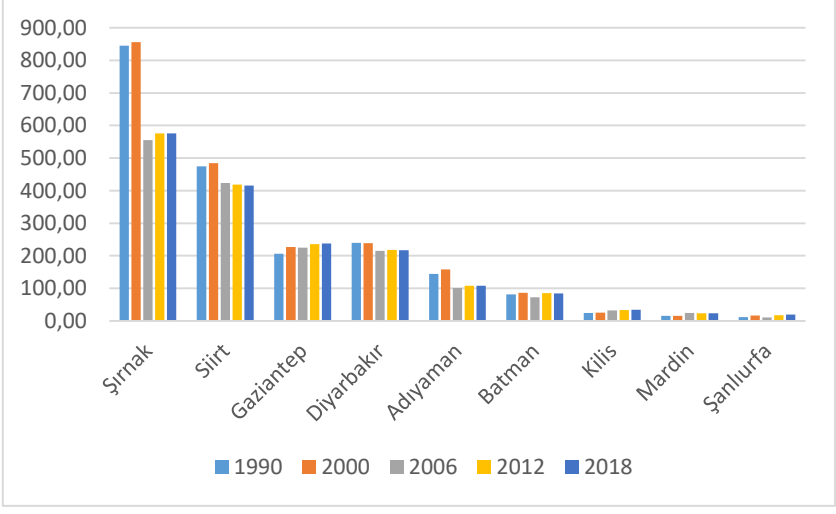
Şekil 7. 2018 yılı CORINE haritası



Şekil 8. Arazi sınıflarının yıllara göre değişim miktarları

3.1. Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki İllere Ait Orman Alanlarındaki Değişim

Günaydoğu Anadolu bölgesi Türkiyenin orman varlığı açısından fakir bölgelerinden biridir. Yıllara göre orman varlığı çoktan aza doğru sıralandığı zaman Şırnak, Siirt, Gaziantep, Diyarbakır, Adıyaman, Batman, Kilis, Mardin ve Şanlıurfa illeri sırasıyla gelmektedir (Şekil 9, Tablo 6). Şırnak ili sağladığı meteorolojik ve topografik avantajlardan ötürü orman varlığının bölge içerisinde en bol olduğu il iken, Şanlıurfa ise orman varlığının bölgede en az olduğu ildir. 1990 yılından 2000 yılına doğru orman varlığı en çok artan il Gaziantep olurken, orman varlığı azalan il Diyarbakır olmuştur. 1990-2000 yılları arasında bölgede toplam 66.86 km^2'lik bir orman artışı görülmüşür. 2000 yılından 2006 yılına kadar ise orman varlığında artış olan iller yalnızca Mardin ve Kilis'dir. Bu illerdeki artış ise sırasıyla 8.21 km^2 ve 6.19 km^2'dir. Bu yıllar arasında Şırnak ilinin orman varlığı diğer illere göre oldukça çarpıcı bir oranda azalmıştır. Azalma miktarı 301.64 km^2'dir. 2000-2006 yılları arasında toplam 451.40 km^2'lik bir orman alanı yok olmuştur. Bu değişim miktarı tüm dönemler arasındaki görülen en çarpıcı değişimdir. 2006 yılından 2012 yılına geçildiğinde ise Siirt ve Mardin illerinin orman varlıklarında azalma görülürken en yüksek artış 21.21 km^2 ile Şırnak ilindedir (Şekil 9, Tablo 6).



Şekil 9. Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki illerin yıllara göre orman alanlarındaki değişim

2006-2012 yılları arasında toplam 57.38 km^2 orman alanı artmıştır. Bu artış miktarı bir önceki dönemle kıyaslayınca oldukça düşüktür. 2012 yılından 2018 yılına geçildiğinde Siirt, Batman, Adıyaman, Diyarbakır ve Şırnak illerindeki

ISBN: 978-625-6971-84-4

orman varlığında azalma görülmektedir. Bu dönemde en yüksek artış ise 1.88 km^2 gibi oldukça düşük bir miktar ile Gaziantep ilinde görülmektedir. 2012-2018 yılları arasında toplam 1.81 km^2'lik bir orman alanı yok olmuştur. Analizin gerçekleştirildiği son yıl olan 2018 yılı ile başlangıç yılı olan 1990 yılları arasındaki değişim incelendiği zaman Şırnak, Siirt, Diyarbakır, Adıyaman illerindeki orman miktarlarında azalış olduğu görülmektedir. En yüksek azalışın olduğu il ise Şırnak ilidir. Orman varlığının başlangıç yılına göre arttığı iller ise sırasıyla Gaziantep, Kilis, Mardin, Şanlıutfa ve Batman illeridir. 1990 yılından 2018 yıllına kadarki dönemde kaybedilen ve kazanılan orman varlığı incelenince, toplam 328.97 km^2 alanın orman vasfını yitirdiği görülmektedir.

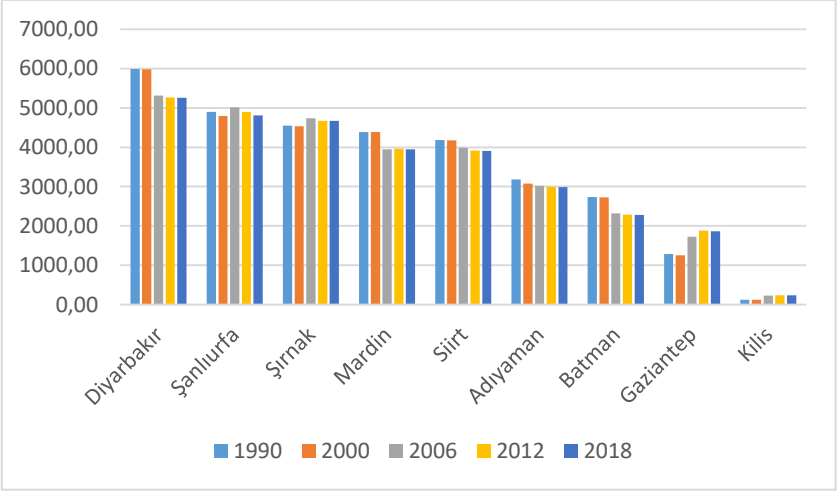
Tablo 6. Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki illerin yıllara göre orman alanlarının miktarının değişimi

İller	1990	2000	1990-2000 Değişim	2006	2000-2006 Değişim	2012	2006-20012 Değişim	2018	2012-2018 Değişim	1990-2018 Değişim
Şırnak	845.72	856,57	10.85	554.93	-301.64	576.14	21.21	575.92	-0.21	-269.80
Siirt	474.70	484,90	10.20	423.45	-61.45	418.52	-4.93	415.22	-3.30	-59.49
Gazian-tep	206.64	227,14	20.50	225.34	-1.80	235.78	10.44	237.66	1.88	31.02
Diyarba-kır	239.36	238,51	-0.86	214.90	-23.61	218.13	3.23	217.55	-0.57	-21.81
Adıya-man	144.33	158,35	14.02	101.05	-57.30	107.68	6.63	107.53	-0.16	-36.80
Batman	81.34	86,77	5.43	73.00	-13.76	85.52	12.51	83.98	-1.53	2.64
Kilis	24.30	25,58	1.28	31.78	6.19	33.64	1.86	34.23	0.59	9.93
Mardin	15.41	15,91	0.50	24.12	8.21	23.37	-0.76	23.37	0.00	7.96
Şanlıurfa	11.96	16,91	4.95	10.66	-6.25	17.84	7.18	19.34	1.50	7.38

3.2. Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki İllere Ait Yarı Doğal Alanlarındaki Değişim

Yarıdoğal alanların Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki miktarları çoktan aza doğru sırasıyla Diyarbakır, Şanlıurfa, Şırnak, Mardin, Siirt, Adıyaman, Batman, Gaziantep ve Kilis illerindedir (Şekil 10, Tablo 7). 1990 yılından 2000 yılına doğru geçildiğinde yarı doğal alanların toplam 282.23 km^2 azaldığı görülmektedir. Azalmanın en yoğun gerçekliştiği yerler Adıyaman ve Şanlıurfa illeridir. Bölgede yarı doğal alanların arttığı tek il Mardin'dir ancak artış miktarı 0.14 km^2'dir. 2000-2006 yılları arasında ise toplam 749.74 km^2 alanın yok olduğu görülmektedir. En yüksek azalışın olduğu il 670.72 km^2 ile Diyarbakır iken onu 444.34 km^2 ve 411.64 km^2 alan kaybıyla sırasıyla Mardin ve Batman illeri takip etmektedir. 2000-2006 yılları arasında yarı doğal alanların miktarında n yüksek

artışın görüldüğü şehir 472.41 km^2 alan ile Gaziantep ilidir. 2006-2012 yılları arasında yarı doğal alanların miktarında toplam 198.82 km^2 alan yok olmuştur. En yüksek artışın olduğu il Gaziantep (154.41 km^2) iken azalışın en fazla görüldüğü yer Şanlıurfa (120.81 km^2) ilidir. 2012-2018 döneminde 155.07 km^2 yarı doğal alanın yok olduğu görülmektedir. Bu dönemde alan miktarında artış görülen şehir bulunmamaktadır. En yoğun azalış ise Şanlıurfa (85.05 km^2) ilinde gerçekleşmiştir. Verinin başlangıç yılı olan 1990 yılından bitiş yılı olan 2018 yılları arasındaki değişim incelendiği zaman toplam 1385.86 km^2 alanın yol olduğu görülmektedir. Yarı doğal alanın miktarının en çarpıcı şekilde azaldığı il Diyarbakır iken bunu Batman ve Mardin illeri takip etmektedir. Gaziantep, Şırnak ve Kilis ise 1990-2018 yılları arasında yarı doğal alanlarında artış görülen illerdir (Şekil 10, Tablo 7).



Şekil 10. Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki illerin yıllara göre yarı doğal alanlarındaki değişim

ISBN: 978-625-6971-84-4

Tablo 7. Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki illerin yıllara göre yarı doğal alanlarının miktarının değişimi

İller	1990	2000	1990-2000 Değişim	2006	2000-2006 Değişim	2012	2006-20012 Değişim	2018	2012-2018 Değişim	1990-2018 Değişim
Diyarbakır	5988.66	5984.07	-4.59	5313.35	-670.72	5263.74	-49.61	5254.42	-9.32	-734.24
Şanlıurfa	4902.10	4797.67	-104.44	5016.41	218.74	4895.60	-120.81	4810.55	-85.05	-91.55
Şırnak	4548.43	4530.03	-18.41	4738.43	208.40	4669.77	-68.65	4669.67	-0.10	121.24
Şırnak	4548.43	4530.03	-18.41	4738.43	208.40	4669.77	-68.65	4669.67	-0.10	121.24
Mardin	4390.86	4391.00	0.14	3946.66	-444.34	3963.43	16.77	3951.44	-11.99	-439.42
Siirt	4187.13	4176.92	-10.20	3992.09	-184.84	3912.68	-79.41	3906.83	-5.85	-280.30
Adıyaman	3182.17	3073.89	-108.28	3023.47	-50.43	2991.87	-31.59	2986.02	-5.86	-196.15
Batman	2735.16	2728.83	-6.33	2317.19	-411.64	2289.79	-27.40	2276.06	-13.72	-459.09
Gaziantep	1287.24	1258.39	-28.85	1730.80	472.41	1885.20	154.41	1863.40	-21.81	576.16
Kilis	122.01	120.73	-1.28	233.40	112.67	240.87	7.48	239.50	-1.37	117.49

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışma neticesinde Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer alan illerdeki orman ve yarı doğal alanların zamansal ve mekânsal değişimleri CORINE verileri ve CBS yardımıyla incelenmiştir.

Sonuç olarak, artan nüfus miktarı ile birlikte özellikle büyük şehirlerde yapay alanların her dönem artış içerisinde olduğu görülmektedir. Sulak alanlarda ve su yapılarının olduğu sınıflar, yapılan barajlarında etkisi ile nispeten bir artış eğilimindedir. Tarımsal alanların miktarı ise 2000 yılında dramatik bir şekilde azalırken 2006 yılında oldukça yüksek bir değere ulaşmış ve sonraki senelerde miktarında azalma meydana gelmiştir. Orman alanlarında 2000 yılında bir önceki döneme göre artış olurken 2006 yılında tüm dönemlerin en düşük seviyesine gerilemiştir. 2012 yılında orman alanlarında bir miktar artış olsa da 2018 yılında tekrardan gerilemiştir. 1990-2018 yılları arasındaki değişime bakılınca toplam 328.97 km^2 orman alanın yok olduğu görülmektedir. Yarı doğal alanlarda ise sistematik bir azalma söz konusudur. Azalmanın en çarpıcı olduğu dönem 2000-2006 dönemidir. 1990-2018 yılları arasındaki değişim incelendiği zaman 1385.86 km^2 yarı doğal alanın yok olduğu görülmektedir. Yarı doğal alanlar yıllara göre hep azalmıştır. Yapay alanların artışı bu sınıftaki stresi arttırmaktadır.

Orman ve yarı doğal alanlar gerek insan yaşamı ve gerekse de diğer canlı türlerinin yaşamı için oldukça önemli alanlardır. Bu alanlar artan nüfus ve beraberinde gerçekleşen şehirleşme ile birlikte gittikçe daha fazla baskı altına alınmaktadır. Bu alanların korunması, rehabilite edilmesi tüm canlı yaşamları için oldukça önemlidir. Orman varlığının çoğunlukla iklimsel nedenlerden ötürü topografik yüksekliğin fazla olduğu, yağışın arttığı yerlerde bulunduğu görülmektedir. Bu bölgelerde ormanların korunarak miktarlarının arttırılması gelecek nesiller açısından gereklidir. Yapılan incelemede gerek orman varlığı ve gerekse de yarı doğal alanların miktarında azalış görülmektedir. Bu durumun devam etmesi bölge içerisinde yaşayan canlıları olumsuz etkileyerek ekosistem üzerinde geri dönüşü zor olan sonuçlar doğurabilecektir.

5.Kaynakça

Arslan, E. S. ve Örücü, Ö. K. (2019). Bodrum İlçesi'nin 1990-2018 yılları arasındaki arazi örtüsü değişimi. *Mimarlık, Planlama ve Tasarım Alanında Araştırma Makaleleri, 183-197.* Gece Akademi Yayınları.

Bayar, R. ve Karabacak, K. (2017). Ankara ili arazi örtüsü değişimi (2000-2012). Coğrafi Bilimler Dergisi, 15(1), 59–76

CORINE (2023). Coordination of Information on the Environment. https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover. (Erişim tarihi: 16/04/2023).

Mercan, Ç. (2020). Yer yüzey sıcaklığının termal uzaktan algılama görüntüleri ile araştırılması: Muş ili örneği. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, *2*(2), 42-49.

Mercan, Ç. ve Arpağ, S. (2020). Coğrafi Bilgi Sistem Analizleri Kullanılarak Toprak ve Arazi Özelliklerinin Değerlendirilmesi: Türkiye, Mardin İli Arazisi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, *7*(1), 23-33.

Mercan, Ç. (2023). Bitlis ili arazi ve toprak özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak değerlendirilmesi. *Güncel Mühendislik Bilimleri Araştırmaları Kavramlar, Araştırmalar ve Uygulamalar.* 83-98. Livre De Lyon Yayınları.

MGM, (2023). Meteoroloji Genel Müdürlüğü, İllere ait istatistikler. https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A (Erişim tarihi: 16/04/2023).

Özür, N. ve Ataol, M. (2018). Türkiye'de CORINE Verilerinin Kullanılmasına Dair Değerlendirme. *Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,* *9*(2), 110-130. https://dergipark.org.tr/tr/pub/jiss/issue/42297/474900

Polat, P. ve Yalçın, F. (2020). Erzincan ili arazi kullanımının (2000-2018 yılları arası) corıne sistemi ile değerlendirilmesi. *Doğu Coğrafya Dergisi, 25*(44), 125-150

Sarı, H. ve Özşahin, E. (2016). CORINE Sistemine Göre Tekirdağ İlinin AKAÖ (Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü) Özelliklerinin Analizi. *Alınteri Journal of Agriculture Science, 30*(1), 13-26.

Sözer, A. N. (1984). Güneydoğu Anadolu'nun doğal çevre şartlarına coğrafi bir bakış. *Ege Coğrafya Dergisi, 2*(1), 8-30.

Üyük, A. Uzun, A. ve Çardak, Ç. (2020). CORINE verileri ile değişim analizi, Denizli ili örneği. *Turkish Journal of Landscape Research, 3*(2), 97-107.

Yılmaz, S., Bulut, Z. ve Yeşil, P. (2006). Kent Ormanlarının Kentsel Mekana Sağladığı Faydalar. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 37*(1), 131-136. https://dergipark.org.tr/en/pub/ataunizfd/issue/2935/40625



BÖLÜM 14

ISBN: 978-625-6971-84-4

OTONOM SİSTEMLERE GİRİŞ

Dr. Arif Furkan MENDİ [1]

1. Giriş

Teknoloji ve bilimin hızla gelişmesi, yakın gelecekte insanların hayatında devrim niteliğinde değişikliklere yol açacak gibi görünmektedir. İlerleyen yıllarda, insanların yerini daha fazla kendi kendine düşünen, değişen çevre şartlarına uyum sağlayabilen, kendi amaçları doğrultusunda hareket edebilen ve diğer sistemlerle etkileşime girebilen akıllı otonom sistemlere bırakması beklenmektedir. Bu tür akıllı otonom sistemler, gelecekte büyük bir teknolojik devrimin habercisi olarak kabul edilmektedir. Bu değişimle birlikte, insanlar tüm yaşam düzenlerini, iş süreçlerini, sistemlerini ve yaşam ve çalışma koşullarını bu yeni gerçekliğe adapte etmek zorunda kalacaklardır.

Tabii ki bilim kurgu literatüründe insan-makine savaşı gibi riskleri göz ardı etmemiz gerekiyor. Ancak, otonom sistemlerin insanlık için büyük faydalar sağlayabileceğini belirtmek de önemlidir. Öncelikle, insan hayatını tehlikeye atmaksızın birçok riskli görevi üstlenebilirler. Bu görevler, tartışmalı olabilir, ancak yarı-otonom sistemlerin kullanıldığı alanlar hızla artmaktadır ve bu alanlarda başarılar elde edilmektedir. Örneğin, mayın temizleme gibi tehlikeli görevleri yerine getirebilirler. Ayrıca, otonom sistemlerin kullanımı maliyetleri azaltma potansiyeline sahiptir. Örneğin, akıllı ulaşım sistemleri sayesinde trafik yoğunluğuna göre alternatif rotalar ve yollar belirlenerek zaman ve maliyet tasarrufu sağlanabilir.

Otonom sistemlerin temel karakteristikleri arasında otonomi, adaptasyon, sosyallik ve konumlanmışlık bulunmaktadır. Otonomi, bir sistemin büyük ölçüde kendi kararlarını alabilme yeteneği anlamına gelir. Adaptasyon, çevresel değişikliklere uyum sağlayabilme yeteneği anlamına gelir. Sosyallik, diğer sistemlerle veya insanlarla etkileşime girebilme yeteneğini ifade ederken,

[1] HAVELSAN & Ostim Teknik Üniversitesi, ORCID: 0000-0002-0750-4012

konumlanmışlık, çevresel bilgileri kullanarak çevresine etki edebilme yeteneğini temsil eder.

Bu bölümde otonom sistemlerin incelenmesi gerçekleştirilecek ve çalışma genelinde otonom sistem platformlarından biri olan dron sistemleri üzerinde durulacaktır.

2. Teknolojinin Tanımı

Savunma ve havacılık sektörüne yönelik araştırmalar incelendiğinde 10 yıl sonra dronlara ait uygulama pazarının 11.5 milyar dolarlık büyüklüğe ulaşacağı öngörülmektedir. Bu teknolojinin gelişmesine yapılan harcamalarsa 6.4 milyar doları bulmuştur. Yine aynı tarihlerde dron ekonomisinin askeri ve sivil endüstride toplam 80 milyar doları aşacağı düşünülmektedir (Reuters, 2018).

Sürekli gelişen dron teknolojileri savunma sanayi başta olmak üzere, eğlence ve lojistik sektörlerinde kullanılmaktadır. Dron sistemlerinin insanlı hava platformlarına, uydulara ve çeşitli yer sistemlerine göre daha etkin, ekonomik, güvenilir ve emniyetli çözümler elde etmesine bağlı olarak uygulama alanları genişlemeye devam etmektedir.

İstihbarat, gözetleme ve keşif (ISR) alanında kullanılan dronlar, entegre edilen silah sistemleri sayesinde özellikle yüksek öneme sahip ve acil tepki gerektiren hedeflere karşı son derece etkili bir savunma aracına dönüşmüştür. Dron sistemlerinin insanlı uçaklara göre avantajlı olmasının temel nedeni, monoton, tehlikeli ve kirletici olarak tanımlanan üç kritik senaryoda daha etkin, ekonomik ve güvenli bir şekilde görev yapabilmesidir. Monoton bir görev örneği olarak, terör unsurlarının bulunduğu tahmin edilen bir binanın saatlerce veya günlerce sürekli olarak izlenmesi verilebilir. Tehlikeli bir göreve örnek olarak, düşman hava savunma tehdidinin yüksek olduğu bir bölgede gözetleme ve keşif görevinin icra edilmesi düşünülebilir. Kirletici görevlere gelince, kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer (KBRN) kirlenmenin tespit edilmesi gibi zorlu görevler bu kategoriye girer.

Otonom dronlar, insanlar tarafından önceden belirlenmiş sayısız eylem planı algoritması ile programlanmış ve yapay zeka ile donatılmış dronlardır. Yapay zekânın gelişimiyle birlikte otonom dronlar savunma sanayiinde önemli bir yer edinmiştir. Dronların insanlı uçaklara göre avantajları şunlardır:

- Düşük işletme ve bakım maliyetleri.
- Uzun uçuş süreleri ve insan kaynaklı uçuş süresi sınırlamalarının olmaması.

ISBN: 978-625-6971-84-4

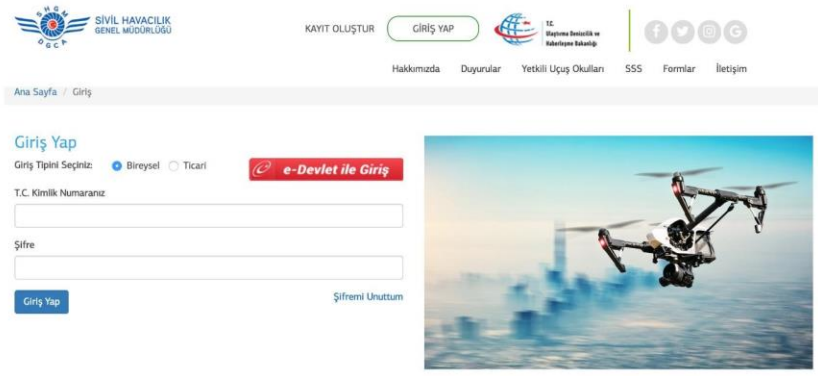
- Havada dinamik görev değişiklikleri yapabilme yeteneği.
- İnsan hatalarının minimize edilmesi ve monoton görevlerde etkin bir şekilde çalışabilme yeteneği.
- Tehlikeli ve kirletici ortamlarda insan ekibi kaybı riski olmaksızın görev yapabilme yeteneği.
- Karar alma yetenekleri sayesinde daha az insan gücü gereksinimi.
- Kaza veya zarar durumunda insan ekibi kaybı riskinin olmaması.

Dronların uydulara göre avantajları ise:

- Daha düşük tedarik, bakım ve işletme maliyetleri.
- Daha doğru ve yüksek kaliteli veri elde etme yeteneği (örneğin, yüksek çözünürlüklü görüntüler).
- Bir bölgeyi sürekli olarak gözlemleyebilme yeteneği.
- Daha yüksek manevra yeteneği.
- Özelleştirilmiş görevleri başarıyla gerçekleştirme yeteneği.

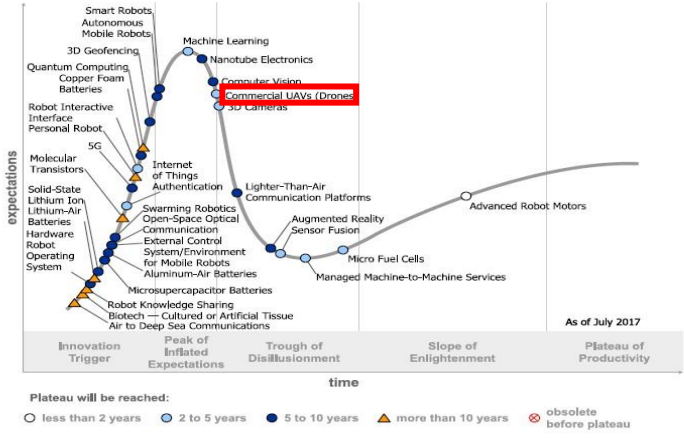
Ayrıca, su altı keşif için tasarlanmış olan sualtı dronları gibi dronlar da mevcuttur. Bu alandaki örneklerden biri, 150 metreye kadar dalış yapabilen ve denizaltı dünyasını 4K kamerası ile belgeleyebilen Titan adlı bir sualtı dronudur (Fadılpasiç, 2018).

Artan dron kullanımıyla birlikte hava trafiğinin izlenmesi ihtiyacı daha da belirgin hale gelmektedir. Ancak farklı ülkelerde uçuş kurallarının farklı olması ve uçuşların düzenli bir şekilde izlenememesi, ciddi riskler oluşturabilir. Dronların düzensiz uçuşlarının önüne geçilmesi için birçok ülke çeşitli önlemler almıştır. Türkiye'de, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından 500 gram ve üzeri dronların kaydının yapılması gerekmektedir (Şekil 1). Ayrıca, uçuş yapmadan önce izin talep formunun doldurulması gerekmektedir, bu formda uçuş saatleri, irtifaları ve bölge bilgileri yer almaktadır.



Şekil 1. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Dron Kayıt Sistemi (Müdürlüğü, 2021)

Gartner'ın hazırlamış olduğu dronlar ve mobil robotlar raporu incelendiğinde dronların tanımı; görüntüleme, termal ve spektral analizde onlara rehberlik eden GNSS, kamera ve sensörleri içererek insan pilotları tarafından uzaktan kumanda edilen veya otonom navigasyona uygun küçük helikopterler, sabit kanatlı uçaklar, multirotorlar olarak verilmiştir. Dronların önbellekleri ve iletişim bağlantıları, dronların veri kümelerini toplamasını veya bunları depolamak ya da bulutta işlemek için iletmelerini sağlamaktadır. Çarpışmadan kaçınma sistemleri dronlar için gerekli özellik haline gelmiştir. Kullanım alanlarındaki artış, yeni teknoloji yatırımı, veri boyutu ve ilave düzenlemeler göz önüne alındığında 2 ile 5 yıl arasında dron teknolojisinin güçlü tedarikçiler ile piyasada yerini alacağı düşünülmektedir (Şekil 2) (Dale Kutnick, 2017). Fakat güncel duruma bakıldığında dahi dron teknolojisinin birçok alanda kullanıldığı; otonom dronların ise hızla geliştirilmekte olduğu gözlemlenmektedir.

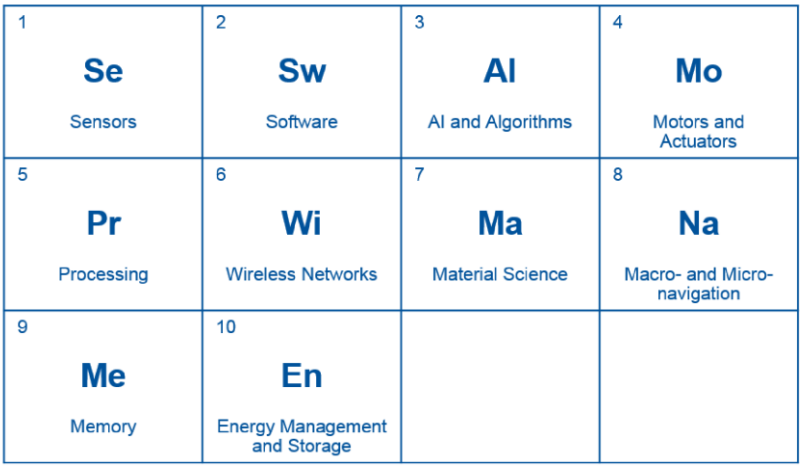


Şekil 2. Gartner Dronlar Hype Eğrisi (Dale Kutnick, 2017)

ISBN: 978-625-6971-84-4

3. Teknolojinin Bileşenleri

Araştırmalar incelendiğinde otonom dronlar için 10 kritik bileşenin bulunduğu görülmektedir. Gartner raporuna göre bu 10 bileşen gelecek 5 ile 10 yıl boyunca otonomi/robot işlevlerini önemli ölçüde artıracak olan teknolojiler olacaktır. Bu işlevsel hedefler, robotların faydalarını büyük ölçüde artıracak, önemli ölçüde daha yüksek seviye ve ek yetenekler kazanmalarını sağlayacaktır (Kutnick, 2018).



Şekil 3. Drone'ların 10 Kritik Bileşeni (Kutnick, 2018)

Şekil 3'de verilen 10 bileşen sadece otonom dronlar için değil içerisinde otomasyon olan her bir nesne/hizmet/ürün için birer yapı taşıdır. Bu 10 bileşenden en çok öne çıkan 4'ü (sensör, yazılım, yapay zeka ve kablosuz ağlar), gelecekteki gelişiminin analiz edilmesi amacıyla teknoloji, ekonomi, entegrasyon ve iş ve toplum etkisi olmak üzere dört ana başlıkta aşağıda incelenmiştir.

3.1. Sensörler

- **Teknoloji:** Nesnelerin interneti (IoT) pazarındaki artan talep, sensörlerin boyutlarının küçültülmesi, güç tüketiminin azaltılması ve performanslarının artırılması yönünde önemli gelişmelere yol açmıştır. Bu gelişmeler, özellikle dronlar için kritik öneme sahip olan çeşitli sensörlerin kullanımını daha etkili hale getirmiştir. Bu sensörler arasında görüntüleme, sonar, GPS, hareket, sıcaklık, basınç, gyro, atalet, manyetik, radar, lidar, X-ışını, termografik, kimyasal, elementel ve moleküler sensörler yer almaktadır. Özellikle lazer mesafe bulucu ve lazer işaretleyici sistemler, dronlar için önemli bir

role sahiptir. Bu sistemler sayesinde hedeflerin anlık mesafe ve hız bilgileri son derece hassas bir doğrulukla elde edilebilmekte ve aynı zamanda lazer güdümlü mühimmatlar için hedefler işaretlenebilmektedir. Sinyal istihbaratı alanında ise haberleşme ve elektronik istihbarat faydalı yükleri ile yön belirleme (D/F) sistemleri, dronlar tarafından yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sistemler, iletişim trafiğini analiz ederek önemli verilerin toplanmasına ve düşmanın konumunun tespit edilmesine yardımcı olur. Ayrıca, dronlar üzerinde kullanılan kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer (KBRN) tespit sensörleri, çeşitli manyetometreler ve karbondioksit, metan, hidrokarbon gibi gazları tespit edebilen sensörler, dronların çeşitli görevlerde kullanılmasına olanak tanır. Bu gelişmeler, dronların çok çeşitli alanlarda kullanılmasını ve veri toplama yeteneklerinin artırılmasını sağlamıştır.

- **Ekonomi:** Rekabetçi baskılar (daha fazla katılımcı) ve nesnelerin interneti teknolojisinin hızla gelişmesinin sonucunda ortaya çıkan, ticari ve endüstriyel cihazlardaki yüksek hacimler nedeniyle sensörlerin fiyatları düşmeye devam edecektir. Dronlarda sensör füzyonu kullanmak, işlem sürelerinin hızlanmasını, daha doğru sonuçlar alınmasını ve yapılması zor işlerin daha kolay yapılmasını sağlamıştır. Bu avantajlar, dronların insanlar tarafından gerçekleştirilen daha karmaşık ve karışık görevlerde görülmesini sağlayacaktır.

- **Entegrasyon:** Entegrasyon, farklı sensörlerin, belirli bir zamanda fiziksel ortamların durumunu (durumsal farkındalığı) daha kapsamlı bir şekilde sunmak ve daha iyi bir şekilde gerçekleştirilmesi gereken eylemleri daha doğru bir şekilde ortaya koymak için farklı sensör çeşitlerinin birlikte çalışmalarıyla gerçekleşmektedir. Yazılımda sensör füzyonu şu anda konuşlandırılmakta ve analizlerin daha doğru yapılabilmesi için uyumlu sensör verisine odaklanılmaktadır. Sensör füzyonu yazılımları; işlemciler, programlanabilir mantık denetleyicileri ve mikro denetleyiciler üzerinde çalıştırılabilir ve sistem uzuvlarının, aktüatörlerin ve tüm dron sistemlerinin daha hızlı ve hassas hareketini algılayabilmektedir. Ayrıca sensör füzyonlarıyla dönme kolaylığı, yönlü farkındalık, yerçekimi, basınç, görüntüleme, ivme ve yükseklik koordinasyonu sağlanabilmektedir.

- **İş ve Toplum Etkisi:** Yaşanan gelişmeler, hem bireysel hem de entegre veya çeşitli görevler için dronların kullanımını önemli ölçüde artıracaktır. Aynı veya diğer sensörlerden birden fazlasının kullanıldığı telemetri, robotlarda ve robotik bacaklarda daha net bir hareket ve doğruluk sağlayacaktır. Böylece dronlar için daha iyi durumsal farkındalık elde edilebilecektir. Ek olarak, bu sensörlerin kombinasyonlarından toplanan veriler, fiziksel nesnelerin sayısal ikizlerinin oluşturulmasında da yardımcı olacaktır. Sensörler, robot endüstrisi ve nesnelerin interneti teknolojisi tarafından yönlendirilen akıllı operasyon sistemleri konusunda en hızlı gelişen alanlardan biri olacaktır.

3.2. Yazılım

- **Teknoloji:** Otonom sistemler komuta kontrol yazılımları, özellikle kullanıcı deneyimi / arayüzü seviyesinde (Örn.; Dron uçuşunu kolayca kontrol etme yeteneği), sürekli olarak gelişmektedir. Yazılımlar, robotların ve dronların ortamlarındaki değişikliklere tepki vermesini sağlamak için sensöre veya çoklu sensör füzyonuna hızla yanıt verilmesini sağlamaktadır. Yeni işletim sistemleri (Donanım Robot İşletim Sistemi [H-ROS] ve NAOqi gibi), programlama dilleri, doğal dil arayüzleri ve belirli işlevler için daha iyi analizler, hızlı sürüş yapan dronlarda daha yüksek seviyeli işlevler sağlamaktadır. Yazılımların, özellikle dokunma sensörleri gibi uç noktalarda dron yanıt sürelerinin, çevikliğin, uyarlanabilirliğin, doğruluk ve verimliliğin ilerlemesine yardımcı olacağı öngörülmektedir. Bununla beraber güvenliğin, yazılımın kritik bir parçası olacağı düşünülmektedir.
- **Ekonomi:** Yazılım, dronlar için kritik bir bileşendir. Drone platformları ve ekosistemleri için yazılım çözümleri gittikçe artacak ve ekonomisi büyüyecektir.
- **Entegrasyon:** Özellikle insan-makine etkileşimi (doğal dil) seviyesinde, mobil cihazlar ve chatbotlar ile dronlar için uygulamalar arasında entegrasyon olacağı öngörülmektedir. Ayrıca, nesnelerin interneti teknolojisindeki sensörleri ve aktüatörleri yönetmek için kontrol yazılımı, çeşitli dronlara uyarlanacaktır.
- **İş ve Toplum Etkisi:** Yazılım ve kullanıcı arayüzleri, kullanıcıların dronlarla etkileşime girme ve onları kullanmalarının başlıca yolları

olacaklarından, bu akıllı makinelerin büyümesi, başarılı robot platformları etrafında büyük yeni gelişmelerin olmasına bağlıdır. Kullanım kolaylığı ve gelişmiş işlevsellik bu alanda kritik başarı faktörleri olacaktır. Dron üreticilerinin ilerleyebilmek için, gelecekteki birkaç yıl boyunca farklı dron yazılımlarını test etmeye başlaması, gelecekteki gelişmeler için teknik temelleri ve mimariyi oluşturması ve bütün bu süreçte yazılım ve gerekli arayüzlerin oluşturulması ve test edilmesi için sorumlu personelin eğitilmesi üzerine yoğunlaşmasının gerekli olduğu öngörülmektedir.

3.3. Yapay Zekâ ve Algoritmalar

- **Teknoloji:** Gelişmiş örüntü tanıma (nesne algılama ve insan alışkanlığı farkındalığı için) ortam koşullarını (kapı ve pencereler gibi) tespit etmeye kadar her şeyi yapmak için tasarlanmış algoritmaların da yardımıyla dronlar potansiyel pazarda hızla ilerlemektedir. Ayrıca, dronların yeni görevler, uyarlama ve daha fazla özerklik öğrenmeleri yapay zekâ teknolojileri (ör: Makine öğrenmesi, derin sinir ağları) ile sağlanmaktadır. Özellikle doğal dil işleme ve bilgi öğrenme algoritmalarında bu teknoloji çok hızlı bir şekilde gelişmektedir.
- **Ekonomi:** Yazılım gibi, yapay zekâ ve algoritmaları da dron bileşenleri içerisinde kritik olanlardan biridir. Bu konuda ekonominin hızla artacağı ve gelişeceği öngörülmektedir. Dronların bakımını yapmak için bulut teknolojisini kullanmanın, kullanıcıların dron platformlarını çevrim içi olarak kullanmasını, yönetmesini ve geliştirmesini kolaylaştıracağı varsayılmaktadır.
- **Entegrasyon:** Özellikle makine-insan etkileşiminin meydana geldiği yerlerde, yazılımlar, mobil cihaz uygulamaları, ürün yazılımı ve işletim sistemleri arasında entegre olacaktır.
- **İş ve Toplum Etkisi:** Algoritmalar ve yapay zekâ dronların çevresel koşulları anlamalarını ve tahmin etmelerini sağladığından, bu teknoloji onları daha önce hiç olmadığı kadar iş süreçlerine dâhil edecektir. Dronların, kısa bir zamanda sadece insanlar tarafından gerçekleştirilebileceği düşünülen işlevleri de yerine getireceği öngörülmektedir. Değişikliklere uyum sağlama kapasitesine sahip dronlar, daha hızlı proses değişiklikleri yapabilecek ve bu durum iş akışını hızlandıracaktır. Son olarak, çok uluslu firmaların bu konuda

ISBN: 978-625-6971-84-4

kendi yapay zekâlarını üretecekleri ve gelecek üç yıl boyunca bu alanda hızla ilerleneceği öngörülmektedir.

3.4. Kablosuz Ağlar

- **Teknoloji:** Yüksek hızlı kablosuz ağlar gelecek 10 yıl boyunca daha da yaygın hale gelecektir. Nesnelerin interneti ve uzaktan kumanda gereksinimleri tarafından yönlendirilen düşük hızlı, düşük güçlü, düşük maliyetli ağlarda da yeni gelişmeler olacaktır; Bluetooth, dar bant nesnelerin interneti (NB-IoT), kablosuz gigabayt (WiGig) ve uzun menzil ile bağlanma özelliklerini (LoRa) içerecek ve gittikçe daha da gelişecektir. Bu teknoloji, gelecek 5 yıl boyunca 5G'nin ilerlemesiyle daha da yüksek bir hızla gelişecektir.
- **Ekonomi:** Düşük hızlı ağların yanı sıra yüksek hızlı ağların (özellikle kablosuz) maliyeti ve fiyatları da düşmeye devam ederek, işletmelerin daha uzaktan kontrol, yarı otonom ve bulut fonksiyonlarını desteklemesini sağlayacaktır. Farklı dron uygulamaları, farklı ağ gereksinimleri ve katma değere sahip olacak ve rekabetçi pazar, kullanıcılara ve dron tedarikçilerine çözümlerini seçme konusunda daha fazla seçenek sunacaktır.
- **Entegrasyon:** İşleme, sensörler, mikronavigasyon ve makrobilgisayar yazılımı, algoritma ve motorlarla birlikte ağ oluşturma, yapay zekâ ve algoritmaları gibi süreçler dronları uzaktan kontrol etmeyi, veri almalarını ve bilgi göndermelerini kolaylaştıracaktır. Ağ, aynı zamanda, dronlar için gerekli olan fonksiyonları mikrokontrol etmeyi mümkün kılacaktır.
- **İş ve Toplum Etkisi:** Ağ yetenekleri, nesnelerin interneti ve dijital süreçlerden gelen talepler ile geliştirilecek ve bulut ile dronların yönetimini kolaylaştıracaktır. Bu durum karar verme / eylem girişi, bakım, yazılım güncellemeleri ve çarpışma önleme (uçaklar ve diğer dronlar gibi) gibi özelliklerin gerçekleştirilmesini sağlayacağı için kritik bir işlev olacaktır. Tüm endüstrilerdeki CIO'lar ve CTIO'lar, şirketlerin genel dijital işlemleriyle ilgili (özellikle de nesnelerin interneti) çalışmaların bir parçası olarak kullanılan sayısız kablosuz ağ teknolojilerinin hızlı gelişimini takip etmek ve kullanılan sistemin güncel kalmasını sağlamaya devam etmek durumunda kalacaktır. Bu sadece dronlar için değil, aynı zamanda tamamen otonom ve yarı

otonom araçları yönetmek için de geçerlidir. Gelecek beş yıl ve sonrasında dronun gelişimi, hızla değişen 10 teknoloji alanında önemli ölçüde geliştirilecek ve yönlendirilecektir. İncelenen kritik 4 bileşenin dışında dronların gelişimiyle ihtiyaç oluşacak hafıza, malzeme, enerji üretimi ve enerji depolama konularında önemli gelişmeler yaşanacağı öngörülmektedir.

4. Teknolojinin Gelecek Öngörüleri

Askeri ve sivil sektörlerde insansız sistemlere olan talebin hızla artmaya devam edeceği öngörülmekte olup, insansız sistemlerin yetenekleri ile kullanım oranlarının her geçen yıl artması beklenmektedir. Yakın gelecekte, özellikle sürü halinde görev yapabilen yapay zeka destekli otonom insansız sistemlerin askeri operasyonlarda devrim niteliğinde etkiler yaratacağı öngörülmektedir.

Otonom silahlar, barut ve nükleer silahların ardından savaş alanında gerçekleşen üçüncü büyük devrim olarak kabul edilmektedir. Bu bağlamda, ileride otonom insansız sistemler, verilen görevleri etkili bir şekilde sürü halinde yerine getirebilecek, diğer insansız ve insanlı sistemlerle etkileşimde bulunarak görev koordinasyonu ve işbirliği sağlayabilecek, hedefleri tanımlayabilecek ve hedeflere müdahale etmek için doğrudan insan etkileşimine ihtiyaç duymadan görevlerini yerine getirebilecektir.

Bu gelişmeler, askeri ve sivil alandaki insansız sistemlerin potansiyelini artırarak operasyonların daha etkili ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanıyacaktır. Bu bağlamda, otonom insansız sistemlerin ilerideki rolü büyük bir öneme sahiptir ve bu sistemlerin geliştirilmesi ve kullanılması, gelecekteki savunma ve güvenlik stratejilerini şekillendirecektir.

Başta Amerika olmak üzere savaşlarda robot askerlerin kullanımıyla ilgili çalışmalara başlanmıştır. 2021 yılından itibaren orduların %30'unun robotlardan oluşturulacağı planlanmaktadır (Reuters, 2018). İlk başta insan komutanlardan emir alacak olan robotların yapay zekâya güvenin artmasıyla birkaç yıl içerisinde kendi kararlarını verebilecek duruma geleceği öngörülmektedir. Birkaç yıl öncesine kadar bilim kurgu filmlerinde görülen robotların insan gibi birbirleriyle iletişim kurmalarının, ortamın ihtiyacına göre şekil değiştirebilmelerinin yakın gelecekte mümkün olacağı ön görülmektedir.

Geleceğin klasik konvansiyonel savaş alanlarında kullanılacak olan dron sistemlerinin geliştirilmesi, birçok ülke tarafından yoğun bir şekilde sürdürülen bir çaba olarak dikkat çekmektedir. Bu çalışmalar sonucunda, yakın bir gelecekte

dron sistemlerinin, mevcut insanlı hava araçlarına benzer yeteneklere sahip olacağı öngörülmektedir. Ancak, orta ve uzun vadede, insansız sürü dronlarının fazla insan müdahalesine ihtiyaç duymadan görevlerini yerine getireceği, hava savunmasının otonom dronlara odaklanacağı ve ağ merkezli komuta kontrol ve harekâtta otonom dron sistemlerinin etkin bir rol oynayacağı tahmin edilmektedir.

Bu gelişmelerle birlikte, günümüzdeki kontrol ve veri iletim linklerinin güvenliğinin artırılması ve daha güvenli veri iletim teknolojilerinin geliştirilmesi büyük bir öneme sahiptir. Ayrıca, Algıla ve Sakın Sistemlerinin geliştirilmesi, gelecekteki her türlü hava sahasında uçuşun temel bir gereksinimini oluşturacaktır. Gelecekteki konvansiyonel savaş ortamlarında görev yapacak olan otonom dron sistemlerinin, düşük görünürlük yetenekleri ve kendini koruma sistemlerine sahip olması gerekecektir. Ayrıca, lazer tabanlı yönlendirilmiş enerji silahlarının otonom dronlarda kullanılmasının yakın bir gelecekte gerçekleşmesi beklenmektedir.

Önümüzdeki dönemde, konvansiyonel savaşın gerekliliklerini karşılayacak otonom dron sistemleri için otonomi, sürü yetenekleri, veri güvenliği ve kendini koruma gibi önemli kabiliyetlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Dronlar, sadece donanım olarak değil, aynı zamanda içerdikleri algoritmalar sayesinde yazılım altyapılarının geliştirilmesi ile birbirlerinden ayrılabilir hale gelecektir. Sürü halinde görev yapacak dronlar, insan müdahalesine ihtiyaç duymadan belirli görevleri planlama, koordinasyon ve icra etme yeteneğine sahip olacaklardır. Bu otonom dronlar, değişen koşullara uyum sağlama yetenekleri sayesinde, uygulamada değişiklikler yapabilme kabiliyetine sahip olacaklardır. Bu gelişmeler, askeri harekâtın geleceğini şekillendiren önemli bir dönüm noktasını temsil etmektedir.

Yukarıda yer alan görevlerin geliştirilmesi için geleceğin otonom sistemlerinin topluca aşağıdaki teknoloji alanlarında ilerlemesi beklenmektedir:

- Otonomi & Yapay Zekâ
- Gelişmiş İnsan-Makine Arayüzü & Beyinle Kontrol
- Emniyetli Haberleşme
- Alternatif Kontrol ve Veri Linkleri
- Gelişmiş Seyrüsefer Sistemleri
- Gelişmiş Otomatik Kalkış ve İniş Sistemleri

- Acil İniş Sistemi
- Algıla ve Sakın Sistemi
- Yere Çarpmayı Önleyici Sistem
- Düşük Görünürlük
- Kendini Koruma Kabiliyeti
- Gelişmiş Faydalı Yükler
- Gelişmiş Veri İşleme
- Dron silahları
- Yüksek İrtifa Uzun Süreli Uçuş Kabiliyeti
- Gelişmiş Güç ve Güç Aktarım Sistemleri
- İdame-İşletme Maliyetini Azaltıcı Teknolojiler

5. Teknoloji Hazırlık Seviyesi (THS)

5.1. Güncel THS

Sistemin karmaşıklığına bağlı olarak askeri alanda teknoloji hazırlık seviyesinin 5 ile 9 arasında, sivil alanda ise 6 ile 9 seviyeleri arasında olduğu değerlendirilmektedir.

5.2. 15-20 Yıllık Zaman Dilimi içinde THS

Bu alanda elde edilen büyük verinin ve veriden anlamlı sonuçlar çıkarabilmenin başarısına bağlı olarak otonom sistemlerin gelişimi devam edecektir. 15-20 yıllık zaman dilimi sonucunda teknolojik olgunluğun zirveye ulaşacağı ve hem askeri hem de sivil alanda THS 9 seviyesine geleceği düşünülmektedir.

6. Türkiye'de otonom sistemler

Türkiye'nin, 21. yüzyılın en önemli sektörlerinden olması öngörülen insansız ve akıllı sistemler sektöründe dünyada lider konumdaki ülkelerle aynı teknolojik seviyeye ulaşması ve uluslararası pazarda rekabetçi ve söz sahibi olması için çalışmalar devam etmektedir. Bu kapsamda insansız ve akıllı sistemlere yapılacak yatırımların ülkemiz için katma değer yaratan önemli bir ihracat kalemi olacağı değerlendirilmektedir. Türkiye de otonom teknolojilerinin kullanıldığı ilk 5 sektör aşağıdaki gibidir.

- Telekom
- Sağlık
- Savunma
- Bankacılık
- Üretim

Türkiye'nin otonom sistemlere verdiği önem başta savunma sanayi olmak üzere birçok sektör için geçerlidir. Farkındalığı artırmak amacıyla yapılan konferanslar, açılan proje çağrıları ve paylaşılan sanayi güncel durum raporlarıyla savunma sanayinde otonom sistemler önemli bir yer tutmaktadır.

Türk Silahlı Kuvvetlerini Güçlendirme Vakfına bağlı, Türkiye'nin en büyük teknoloji firmalarından biri olan HAVELSAN 2019 yılı itibariyle "Robotik ve Otonom Teknolojiler" alanında derin ARGE faaliyetleri yürütmeye başlamıştır. İlgili çalışmalar ile kazanılacak bilgi birikimi ve geliştirilecek ürünler, HAVELSAN'ın ulusal / uluslararası pazarlarda teknoloji yetkinliği ve rekabet gücü yüksek, öncü bir savunma sanayi firması olarak var olmaya devam etmesi hedeflenmektedir.

HAVELSAN'ın otonom sistemler konusundaki bazı çalışma alanlarına ve ürünlerine örnekler verilmiştir:

- **Otonom Deniz Araçları:** Havelsan, denizde otonom operasyonları gerçekleştirebilen deniz araçları geliştirme konusunda çalışmalar yapmaktadır. Bu araçlar, denizdeki keşif, gözetleme, denizaltı savunması ve deniz taşımacılığı gibi birçok farklı görevde kullanılabilmektedir. Uzaktan kontrol edilebilen Sancar SİDA, liman/üs koruma, arama/kurtarma, istihbarat, keşif, gözetleme, karakol, su üstü harbi, mayın karşı tedbirleri görevlerini otonom olarak yerine getirmektedir. SİDA Projesi ile komple bir insansız su üstü platformu üretildi ve seri üretime hazır bir ürüne dönüştürülmüştür (Şekil 3) (Yıldırım, 2022).
- **Otonom Kara Araçları:** Şirket, arazi koşullarında otonom olarak çalışabilen kara araçları geliştirmektedir. Bu araçlar, askeri taşıma, keşif ve karakol görevleri gibi askeri operasyonlarda kullanılmaktadır. Özellikle günümüzdeki artan güvenlik tehditlerinin, özellikle kara orduları için, otonom insansız kara araçlarının önemini vurgulamaktadır. Bu araçlar, uzaktan kontrol veya sensör sistemleri aracılığıyla çevrelerini algılayarak keşif, gözetleme ve mühimmat

taşıma gibi temel görevleri yerine getirebilmekte ve modern teknolojiyi askeri birliklere entegre etmektedir. Farklı boyutlarda ve konfigürasyonlarda olan bu araçlar, çeşitli ihtiyaçlara yanıt verebilme yeteneklerine sahiptir. HAVELSAN, bu ihtiyaca yanıt olarak BARKAN'ı tasarlayıp üretmiştir (Şekil 4) (HAVELSAN, 2023b). BARKAN, operasyon başarısını artırmak, kayıpları önlemek ve operasyon maliyetlerini düşürmek gibi birçok alanda saha personelinin önemli bir yardımcısıdır. Gelecekte operasyon alanlarında uzaktan kontrol ve otonom görev yetenekleriyle, diğer kara ve hava araçları ile koordineli çalışabilen bir araç olarak öne çıkmaktadır. Modüler tasarımı ve üstün otonomi özellikleri ile çok amaçlı görevler için kullanılabilmekte ve yük taşıma, yakın koruma, silahlı keşif gibi çeşitli görevleri yerine getirebilmektedir.

- **Otonom Hava Araçları:** Havelsan, insansız hava araçları (İHA) alanında otonom sistemler geliştirmektedir. Bu İHA'lar, hava keşfi, gözetlemesi ve istihbarat toplama görevlerinde kullanılabilirler. HAVELSAN tarafından geliştirilen BAHA (Bulutaltı Otonom Hava Aracı), modern askeri birimlerin ihtiyaçlarına yönelik olarak tasarlanmış bir İnsansız Hava Aracı (İHA) olarak öne çıkmaktadır (HAVELSAN, 2023a). BAHA, dikey iniş-kalkış kabiliyetine, tam otonom görev yürütme yeteneğine, modüler yapıya ve diğer üstün özelliklere sahip olarak, diğer tüm insansız sistemlerle koordineli şekilde çalışabilen bir araç olarak tanıtılmıştır. BAHA'nın teknik özellikleri de detaylı bir şekilde sunulmaktadır. Bu İHA, dikey iniş-kalkış yapabilme kabiliyetine sahip olup, yatay seyir sırasında benzinli motor kullanırken dikey iniş-kalkış esnasında elektrik motorlarından destek almaktadır. BAHA, 15.000 feet'e kadar görev yapma yetisine sahip olup, benzinli motorla 6 saat boyunca havada kalabilmekte (elektrik motoruyla bu süre 2 saate kadar düşmektedir). Ayrıca, 80 km'ye kadar menzil sağlayabilir ve 5 kg'a kadar faydalı yük taşıma kapasitesine sahiptir. Aracın geniş kanat açıklığına sahip olması, kolay kurulumu ve tek bir kişi tarafından kullanılabilir olması gibi özellikleri de vurgulanmıştır. BAHA'nın hızlı bir şekilde göreve hazır hale getirilebileceği de özellikle belirtilmektedir.

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 3. HAVELSAN SANCAR Silahlı İnsansız Deniz Aracı (Yıldırım, 2022)



Şekil 4. HAVELSAN BARKAN Silahlı İnsansız Otonom Kara Aracı (‘BARKAN İKA sahaya çıkıyor’, 2021)



Şekil 5. HAVELSAN BAHA İnsansız Otonom Hava Aracı (HAVELSAN, 2023a)

Otonom sistemler konusunda en fazla yatırım yapan ve ürünlere sahip firmalardan birisi de BAYKAR'dır. İnsansız hava sistemleri geliştirme misyonuyla 2000 yılından beri çalışmalar gerçekleştiren BAYKAR'ın; Akıncı, TB2, Bayraktar DİHA ve Bayraktar Mini Diha gibi birçok ürünü mevcuttur (Şekil 5). Bağımsız ve milli bir teknoloji birikimini sağlamak için savunma sanayi alanında faaliyet gösteren firmalardan olan BAYKAR, Türk Silahlı Kuvvetleri hizmetine sunmak üzere yüksek teknoloji ile kritik görev fonksiyonlarını birbirine bağlayan güvenilir, bütünleşik ve eksiksiz sistemler sunmak için çalışmalar gerçekleştirdiğini vurgulamaktadır (BAYKAR, 2021).



Şekil 5. BAYKAR İnsansız Hava Araçları (BAYKAR, 2021)

STM firması ve SSB'nin ortak olarak yürüttüğü otonom dron projeleri de mevcuttur. ALPAGU, KARGU ve TOGAN isminde dronlar üreten STM, bu projeler ile dronlarda yapay zekânın kullanımıyla insan müdahalesinin minimuma indirilmesini hedeflemektedir. Aynı zamanda yapay zekâ ile kendi

kararlarını veren dronlar kamikaze dronlara imha emri vererek sürü halinde saldırı yapılmasını sağlayabilecektir (Raporu, 2016).

Otonom sistemlerin gittikçe yaygın hale gelecek olmasıyla ilgili birçok öngörünün olması sebebiyle karşı tedbirlerde alınmaya başlamıştır. METEKSAN dron tespiti ve önleme ile ilgili çalışmalar yaptığını ve bir ürün ortaya çıkardığını "KAPAN"ın lansmanını yaparak halka duyurmuştur (Meteksan, 2021).

Aynı şekilde ASELSAN'da yapmış olduğu "İHTAR" anti-dron sistemi ile mini ve mikro dron tehditlerini şehir ve kırsal ortamda etkisiz hale getirmeyi amaçlamaktadır (Aselsan, 2021). Daha birçok Türk şirketin de üzerinde çalıştığı dron savar sistemlerin kritik tesislerin korunması, yasadışı sızmalara karşı sınır güvenliği sağlanması, kalabalık organizasyonların korunması gibi konularda yardımcı olacağı görülmektedir.

Türkiye Cumhuriyeti Bilim, Sanayii ve Teknoloji Bakanlığı tarafından 2018 yılın yayımlanan "Dijital Türkiye Yol Haritası" raporu incelendiğinde; teknolojilere gereken önemin verilmesi, gerekli çalışmaların yapılması, işbirliklerinin kurulması gibi konulara dikkat çekildiği görülmektedir. Dijital teknolojilerin yerli imkânlarla geliştirilebilmesinin sonucu olarak Türkiye sanayisinin dijital dönüşümünün sağlanması ve ekonomisinin sağlam bir sanayi temeli üzerinde geleceğe taşınması anlamında önemli bir rol oynayacağı vurgulanmaktadır. Bu anlamda otonom sistemlerin çok önemli bir teknoloji olduğu ortaya konmuştur (Grubu, 2018).

7. Değerlendirme ve Sonuç

Hem askeri hem de sivil alanda sistemlerin kendi kendine hareket edebilme yeteneklerinin artacağı ve gittikçe akıllanacağı öngörülmektedir. Bu alanda yapılan çalışmaların yakından takip edilmesi, konu ile ilgili yeni projeler geliştirilmesi geleceğin kuvvet yapısını şekillendirmek açısından oldukça önemlidir. Türkiye'nin ekonomik bağımsızlığı ve ulusal güvenliği için çok iddialı olması gereken bir alan olan otonom sistemler konusunda ülke genelinde farklı çalışmaların olduğunu görmek geleceğe umutla bakmamıza sebep olmaktadır. Bunun yanında, eksiklerimizi belirlememiz gelişim sağlanabilmesi için büyük öneme haizdir. Bu kapsamda, otonom sistem çalışmaları incelendiğinde Türkiye'de bu çalışmaları bir araya getiren ortak bir merkez/platform eksikliği göze çarpmaktadır. Ulusal stratejik değeri olan ve dünyada hızla ilerleyen bu alan için güçlerin birleştirilmesi ve ortak adımlarla ilerlenilmesi Türkiye'nin atması gereken ilk adımlardandır. Bu konuda sanayi, akademi ve hükümet yetkililerinden oluşacak bir Türkiye Otonom Sistemler Konseyi'nin yapılandırılmasının faydalı olacağı değerlendirilebilir. Bu konsey ulusal otonom

sistemler stratejisinin belirlenmesinde ve uygulanmasında devletle bir arada çalışan bir kurum olarak planlanmalıdır. Uluslararası sıralamalarda Türkiye'nin sırasını yükseltmek, bu konsey yönetiminin başarısını değerlendirme kriteri olmalıdır.

Kaynakça

Aselsan. (2021). İHTAR Anti-Drone Sistemi. Retrieved 19 July 2021, from https://www.aselsan.com.tr/tr/cozumlerimiz/hava-ve-fuze-savunma-sistemleri/hava-ve-fuze-savunma-sistemleri/ihtar-antidrone-sistemi

BARKAN İKA sahaya çıkıyor. (2021). Retrieved 19 July 2021, from https://m5dergi.com/savunma-haberleri/havelsan-mujdeledi-barkan-ika-sahaya-cikiyor/

BAYKAR. (2021). BAYKAR İnsansız Hava Aracı Sistemleri. Retrieved 19 July 2021, from https://www.baykarsavunma.com/iha.html

Dale Kutnick, G. V. H. (2017). Hype Cycle for Drones and Mobile Robots. Retrieved 18 July 2021, from https://www.gartner.com/en/documents/3774064/hype-cycle-for-drones-and-mobile-robots-2017

Fadılpasiç, D. (2018). Titan Underwater Drone Raises over $100k on Kickstarter. Retrieved 19 July 2021, from https://techacute.com/tr/titan-underwater-drone/

Grubu, D. T. Ç. (2018). Türkiye'nin Sanayi Devrimi Dijital Türkiye Yol Haritası. Retrieved 18 July 2021, from https://www.sanayi.gov.tr/tsddtyh.pdf

HAVELSAN. (2023a). HAVELSAN BAHA. Retrieved 1 September 2023, from https://www.havelsan.com.tr/sektorler/egitim-ve-simulasyon/robotik-ve-otonom-sistemler/b30

HAVELSAN. (2023b). HAVELSAN BARKAN. Retrieved 1 September 2023, from https://www.havelsan.com.tr/sektorler/egitim-ve-simulasyon/robotik-ve-otonom-sistemler/havelsan-barkan

Kutnick, D. (2018). 10 Critical Components Driving the Robot and Drone Revolution. Retrieved 18 July 2021, from https://www.gartner.com/en/documents/3817763/10-critical-components-driving-the-robot-and-drone-revol

Meteksan. (2021). KAPAN Dron Savunma Sistemi. Retrieved 19 July 2021, from https://www.meteksan.com/tr/urunler/cevre-sistemleri/kapan-drone-savar-sistemi

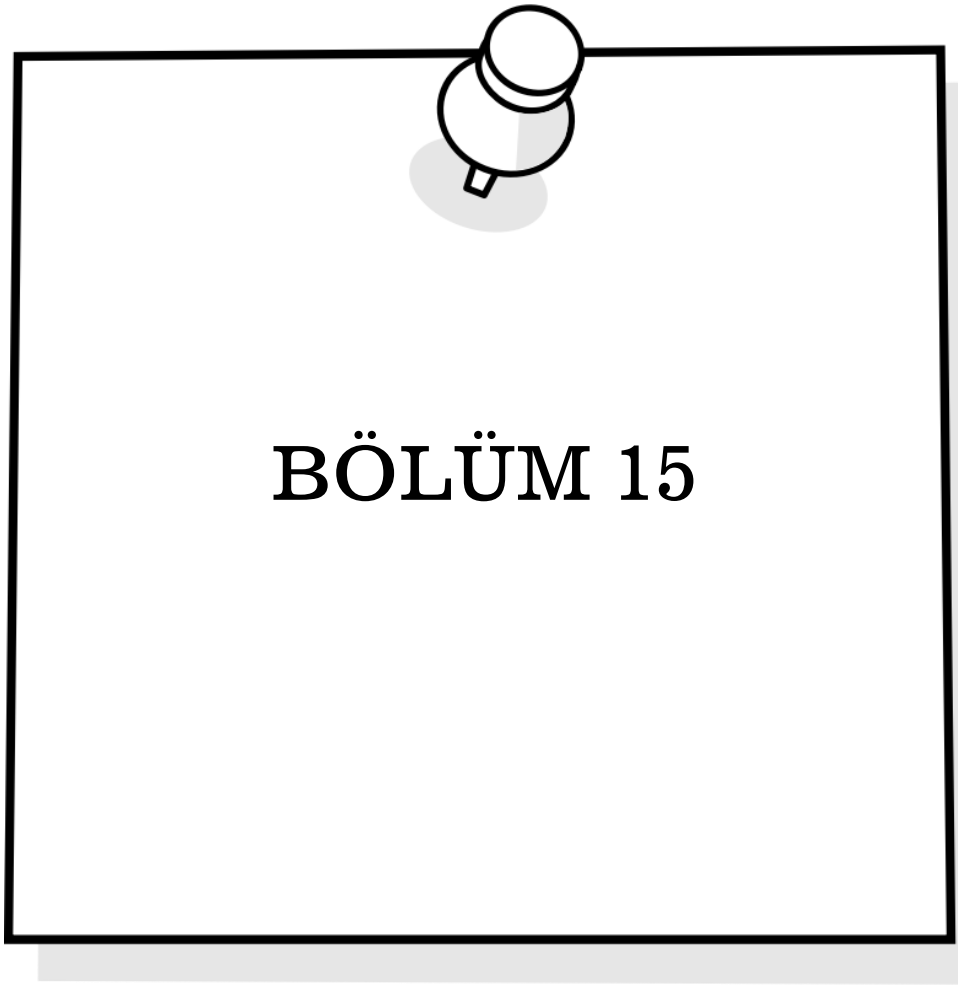
Müdürlüğü, S. H. G. (2021). Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü. Retrieved 19 July 2021, from https://iha.shgm.gov.tr/public/index

Raporu, S. D. (2016). Geleceğin Hava Kuvvetleri: 2016-2050. *STM Thinktech*.

ISBN: 978-625-6971-84-4

Reuters. (2018). Dron Pazarı 11,5 Milyar Dolara Ulaşacak. Retrieved 18 July 2021, from https://www.a merikaninsesi .com/a/dron-pazari-11-5-milyar-dolara-ulasacak /4611141.html

Yıldırım, G. (2022). Sancar SİDA 'Mavi Vatan' Korumasına Hazırlanıyor. Retrieved 1 September 2023, from https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/sancar-sida-mavi-vatan-korumasina-hazirlaniyor/2694172



BÖLÜM 15

ISBN: 978-625-6971-84-4

FOTOVOLTAİK SANTRALLERDE SICAKLIĞIN ELEKTRİK ÜRETİM PERFORMANSINA ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Öner ATALAY[1*]

Burak YORGUN[2]

GİRİŞ

Dünya genelinde enerji ihtiyacı nüfus artışıyla beraber giderek artmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için en çok kullanılanlar ise fosil kaynaklardır. Fosil kaynak kullanımı özellikle sera gazı salınımı ile sıcaklığın artmasına ve dolayısıyla da küresel iklim değişikliğine neden olmaktadır. Bu nedenle, küresel iklim değişikliğinin azaltılması ve sürdürülebilir bir çevre için fosil kaynaklar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması gerektiği bilinen bir gerçektir. Bu anlamda, güneş enerjisi de yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak son dönemlerde oldukça dikkat çekmektedir [1]. Güneş Enerjisi Santrallerinin (GES) ekonomik ömürleri 20 yılın üzerinde kabul edilmekte ve yapılan finansal analizlerde bu nokta göz önünde bulundurulmaktadır. 20 yıl boyunca enerji üretecek bir sistemin verimliliğindeki çok küçük değişimlerin kümülatif olarak yıllar içindeki etkisi önemli seviyelere çıkmaktadır. GES verimliliğini üretilen enerjideki kayıplar belirler. GES kayıpları çevresel koşullardan tasarıma, kullanılan malzemeden işçiliğe kadar birçok faktöre bağlıdır ve hem yatırımcılar hem de uygulamacılar tarafından iyi analiz edilmelidir [2]. GES'lerin girdisi güneş ışınımı, çıktısı ise elektrik enerjisidir. GES performansını etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörlerin birçoğu GES üretiminde kayıplara yol açmaktadır. Bunların bazıları (sıcaklık, tozlanma, karlanma) çevreseldir [2]. Fotovoltaik modüllerde, havanın açık olduğu soğuk bir günde, sıcak havaya göre performansın daha yüksek olduğu görülmektedir. Kristal yapılı modüller için her 1°C değişim için açık devre gerilimi (V_{oc}) % 0,37, kısa devre akımı (I_{sc}) % 0,05

[1] Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, ORCID: 0000-0001-6142-1288
[2] Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, ORCID: 0000-0003-4597-6923

lik azalma göstermektedir. Normal hücre çalışma sıcaklığı (NOCT), çevre sıcaklığının 20°C olduğu, güneş ışınımının 0,8 kW/m² ve rüzgâr hızının 1m/s olarak belirlendiği durumlardaki sıcaklık değeri olarak verilmektedir [3]. Performans parametreleri Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerin performansını analiz etmek için geliştirilmiştir. Performans parametreleri enerji üretimine, ışınım değerlerine ve sistem kayıplarının etkisine bağlı kalarak genel sistem performansını belirlemek için kullanılmaktadır [4]. Bu parametreler, Fotovoltaik dizi kazancı (YA), Referans kazancı (YR), Final kazancı (YF), Performans oranı (PR), Kapasite faktörü (CF), Evirici verimi (η_{INV}), Sistem verimi (η_{SYS}) dir [4]. Panel yüzey sıcaklığının belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalarda, çalışmayı yapan araştırmacılar kendi kabullerine göre kimi zaman sadece dış ortam sıcaklığı ve güneşten gelen radyasyona bağlı çalışmalar yapmışlar kimi zaman da rüzgâr hızı gibi farklı parametreleri de çalışmalarına dahil edip güneş panel yüzey sıcaklığının tespitine yönelik formüller geliştirmişlerdir [5]. PV panelin arkasına SRP (serpantin) sistemi koyularak ve içinden şebeke suyu geçirilerek verimi arttırılabilmektedir [6].

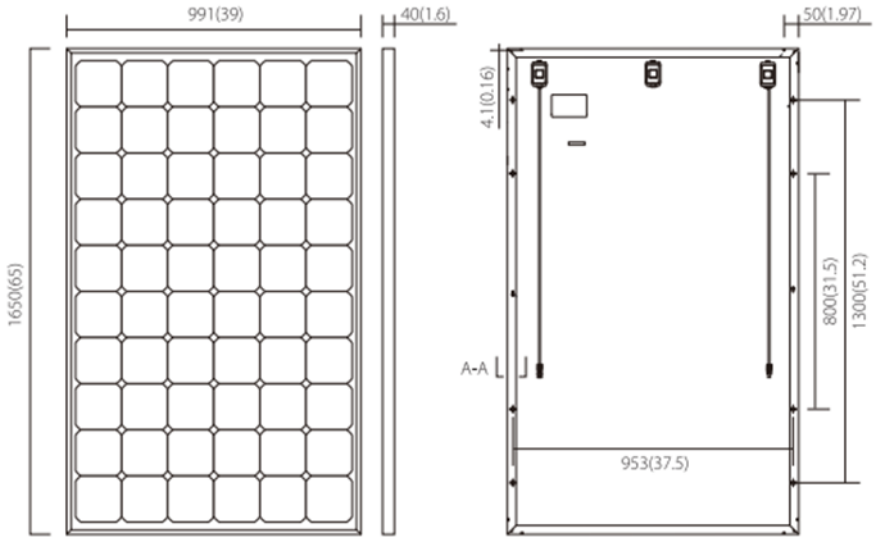
İzmir İli Tire ilçesinde 1 MWe / 1.188 MWp gücünde tesis edilmiş olan güneş enerji santralinde çevresel faktörlerin elektrik enerjisi üretim performansına etkisini incelemeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla radyasyon, sıcaklık bilgileri enerji üretimi ile kıyaslanmamıştır. Aynı zamanda Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan geçmiş yıllar sıcaklık bilgisi ile geçmiş yıllar üretim bilgileri de kıyaslanmıştır.

ÖRNEK UYGULAMA

İzmir İli Tire ilçesinde bulunan 1 Mwe / 1.188 MWp gücündeki arazi tipi Güneş Enerji santralinin enerji üretim verileri elektrik sayacından saatlik takip edilecek, ortam sıcaklığı mobil meteoroloji istasyonu ile kaydedilecek, güneş ışınımı değerleri ile panelin üretmesi gereken elektrik enerjisi miktarı hesaplanacak ve ürettiği elektrik enerjisi miktarı ile karşılaştırılması yapılacaktır.

Güneş Enerji Santralinde 3960 Adet 300 Wp'lik monokristal panel kullanılmıştır. Tesiste kullanılan panellerin teknik bilgisi Şekil 1'de ve elektriksel değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

ISBN: 978-625-6971-84-4

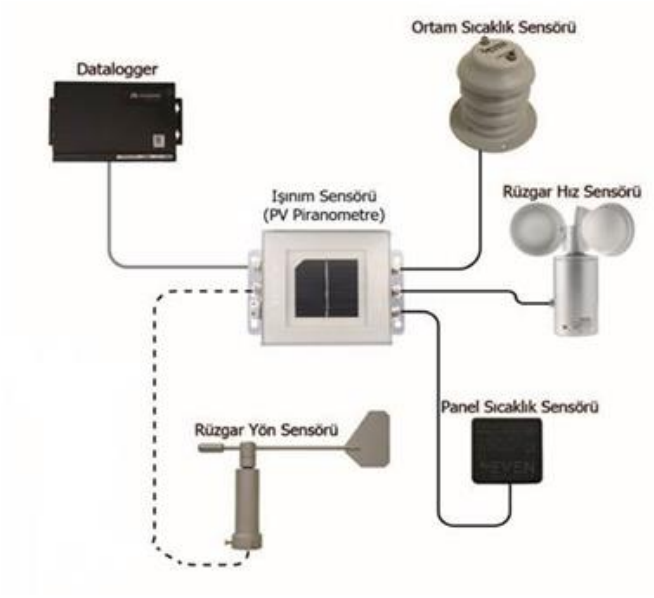


Şekil 1. Güneş Panelinin boyut bilgisi

Tablo 1. Güneş Panelinin Elektriksel Değerleri

Elektriksel Değerler		
Modül Tip	EGM-60-300/L	
Test Tipi	STC	NOTC
Çıkış Gücü (Pmax /W)	300	220,5
V_{oc} /V	40,1	37,1
I_{sc} /A	9,81	7,91
V_{mp} /V	32,8	30,1
I_{mp} /A	9,15	7,32
Verim(%)	18,3	/

Mobil meteoroloji istasyonu genel yerleşimi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Meteoroloji İstasyonu Yerleşimi

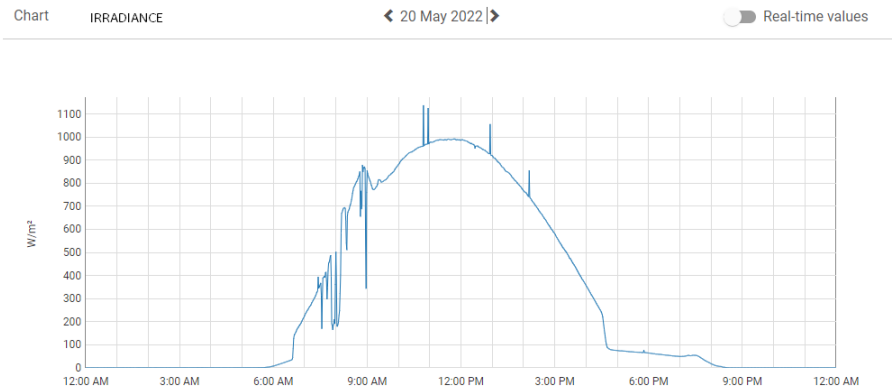
Bu sistem santrale Şekil 3'deki gibi tesis edilmiştir.



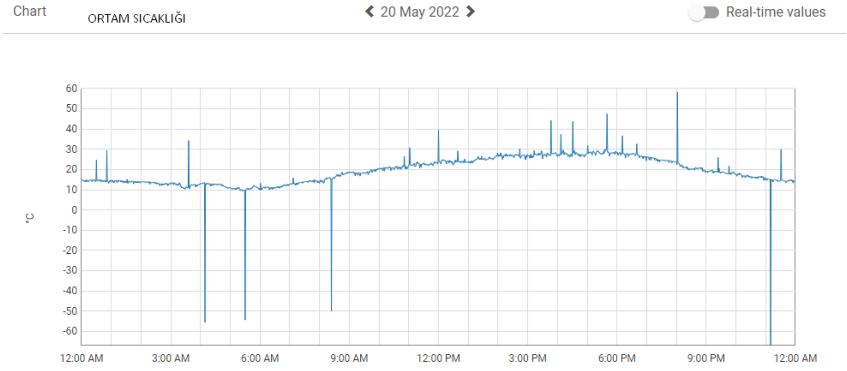
Şekil 3. Meteoroloji İstasyonu

Veri kaydedici cihaz üzerinden görülen sıcaklık, radyasyon, rüzgar hızı ve yönünü içeren örnek ölçüm ekranları Şekil 4-9 da gösterilmiştir.

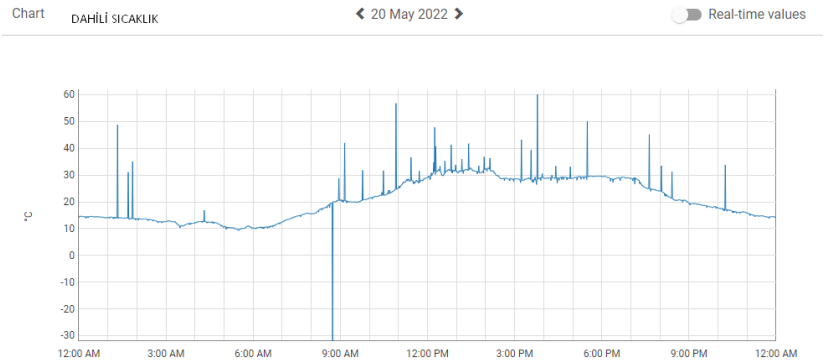
ISBN: 978-625-6971-84-4



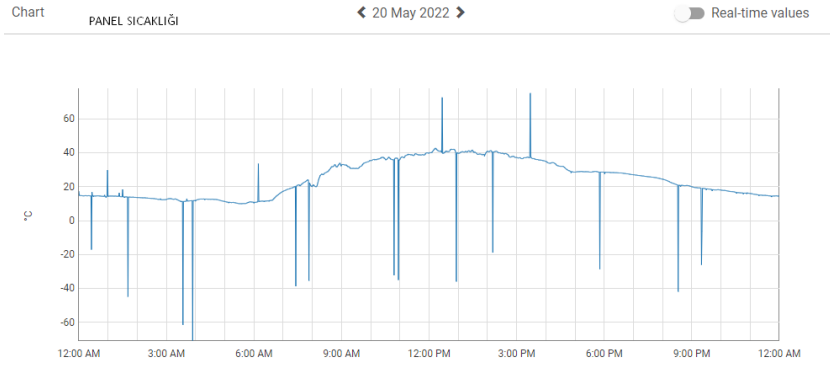
Şekil 4. Radyasyon Grafiği



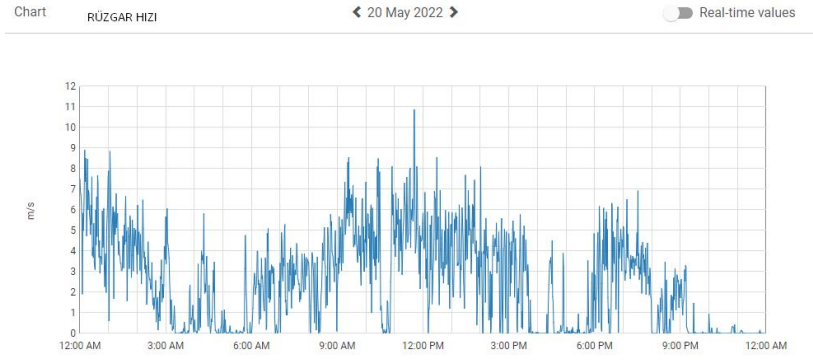
Şekil 5. Ortam Sıcaklığı Grafiği



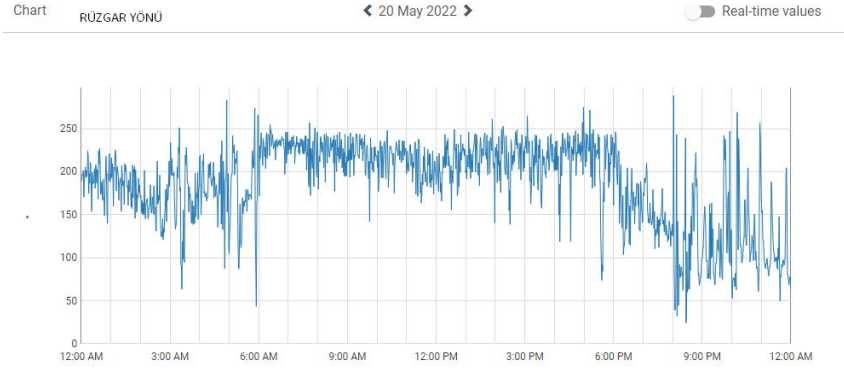
Şekil 6. Dahili Sıcaklık Grafiği



Şekil 7. Panel Sıcaklığı Grafiği



Şekil 8. Rüzgâr Hızı Grafiği



Şekil 9. Rüzgâr Yönü Grafiği

Veri kaydedici cihaz üzerinden ölçümlerin tablo formatında dakika bazlı değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

ISBN: 978-625-6971-84-4

Tablo 2. Veri Kaydedici Radyasyon Değerleri

Tarih ve Saat	Radyasyon (W/m²)
20.05.2022 09:00	854,9
20.05.2022 09:01	841,17
20.05.2022 09:02	831,54
20.05.2022 09:03	825,77
20.05.2022 09:04	819,23
20.05.2022 09:05	813,44
20.05.2022 09:06	808,5
20.05.2022 09:07	800,2
20.05.2022 09:08	791,36
20.05.2022 09:09	784,48
20.05.2022 09:10	777,88

Güneş Enerji Santralinde meteoroloji istasyonu ile bu veriler toplanmış ve Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Veri Kaydedicide Toplanan Tüm Değerler

Zaman	Radyasyon W/m²	Dahili Sıcaklık °C	Panel Sıcaklığı °C	Ortam Sıcaklığı °C	Rüzgâr Hızı m/s	Rüzgâr Yönü °
18.05.2022 12:00	982,23	37,07	49,57	32,31	0	87,34
18.05.2022 12:01	993,85	36,91	49,42	32,17	0	59,58
18.05.2022 12:02	991,13	36,69	49,17	46,57	0	75
18.05.2022 12:03	989,38	44,7	48,68	31,86	0	110,24
18.05.2022 12:04	992,89	35,33	46,74	32,18	0,01	121,28
18.05.2022 12:05	992,71	36,33	48,52	30,81	0	61,91
18.05.2022 12:06	984,43	36,28	48,47	30,96	0,03	138,44
18.05.2022 12:07	983,29	36,47	48,61	32,41	0	191,12
18.05.2022 12:08	991,79	36,69	48,91	32,8	0	164,2
18.05.2022 12:09	996,24	36,75	49	32,53	0	219,3

18.05.2022 12:10	992,96	36,67	49,17	32,48	0	263,26
18.05.2022 12:11	986,61	35,67	49,44	32,84	0	238,46
18.05.2022 12:12	975,2	36,86	49,68	32,9	0	225,6
18.05.2022 12:13	974,89	37,1	49,9	31,94	0	241,72
18.05.2022 12:14	981,97	36,4	50,19	33,11	0,02	244,37
18.05.2022 12:15	990,77	37,67	50,54	32,01	0,06	170,76
18.05.2022 12:16	998,49	37,79	50,68	33,16	0	266,85
18.05.2022 12:17	996,91	37,79	50,74	33,07	0,06	225,83
18.05.2022 12:18	997,65	37,74	50,8	31,58	0,11	267,67
18.05.2022 12:19	994,45	36,53	50,77	32,9	0	257,97

SONUÇLAR

Meteoroloji istasyonundan elde edilen dakika bazlı veriler, saatlik ortalamaya çevrilmiştir. Saat bazında santralin 2022 ve 2021 üretim değerleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Saatlik Ortalama Meteorolojik Değerler ve Üretim Değerleri

Saat Dilimi	Radyasyon W/m²	Dahili Sıcaklık °C	Panel Sıcaklığı °C	Ortam Sıcaklığı °C	Rüzgâr Hızı m/s	Rüzgâr Yönü °	2022 üretimi kWh	2021 üretimi kWh
18.05.2022 07	338,89	17,75	27,09	17,83	0,02	195,19	15,525	18,975
18.05.2022 08	593,72	20,86	38,03	23,24	0,00	207,15	134,550	144,900
18.05.2022 09	797,94	26,64	43,73	25,95	0,00	207,95	370,875	400,200
18.05.2022 10	928,04	30,75	49,62	30,01	0,00	198,85	605,475	629,625
18.05.2022 11	974,43	37,15	52,13	31,43	0,00	154,16	784,875	809,025
18.05.2022 12	966,70	37,13	49,27	30,96	0,01	183,42	898,725	924,600
18.05.2022 13	841,81	35,77	49,79	33,32	0,04	146,68	960,825	967,725
18.05.2022 14	688,55	33,28	42,78	32,77	0,61	87,57	960,825	967,725
18.05.2022 15	470,69	31,13	38,73	31,62	1,26	80,22	919,425	928,050

ISBN: 978-625-6971-84-4

18.05.2022 16	208,61	30,21	33,61	31,12	5,09	73,22	812,475	829,725
18.05.2022 17	70,65	27,73	29,67	28,76	5,72	70,14	650,325	648,600
18.05.2022 18	54,27	28,29	27,46	26,97	6,39	66,62	417,450	415,725
18.05.2022 19	26,99	25,60	26,23	23,77	4,98	64,42	175,950	162,150
18.05.2022 20	1,89	23,14	23,47	22,91	3,46	61,29	37,950	25,875
18.05.2022 21	0,08	21,15	21,14	20,16	2,26	102,95	3,450	1,725

Saatlik veriler radyasyon değerlerinin yakın değerde olmasına göre filtre edilmiştir. Tablo 5'te Eylül 2021, Ocak 2022, Mart 2022, Mayıs 2022 aylarına ait değerler görülmektedir. Ortam sıcaklığı 32 °C civarında iken panel sıcaklığı 51 °C civarındadır. Bu durumda yaklaşık 890 kWh üretim yapılmıştır. Ortam sıcaklığı 18 °C civarında iken panel sıcaklığı 34 °C civarındadır. Bu durumda yaklaşık 900 kWh üretim yapılmıştır. Panel sıcaklığının 17 °C artması durumunda üretim 10 kWh, yani %1 civarında düşmüştür. Bu değerler yakın zaman diliminde yakın radyasyon değerlerine göre de yapılabilir. Enerji üretimi sadece panel sıcaklığı değil ayı zamanda rüzgâr hızı ve yönü gibi çevresel etkilerden de değişmektedir. Radyasyon değerinin 960-980 W/m² olmasına göre değerler Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Yakın Radyasyon Seviyesinde Panel Sıcaklığı ve Enerji Üretim Değerleri

Saat Dilimi	Radyasyon W/m²	Dahili Sıcaklık °C	Panel Sıcaklığı °C	Ortam Sıcaklığı °C	Rüzgâr Hızı m/s	Rüzgâr Yönü °	2021-22 üretimi kWh
21.09.2021 11	972,45	42,33	50,49	32,17	2,19	161,74	707,250
23.09.2021 10	978,42	23,24	34,38	18,29	5,03	180,03	453,675
24.09.2021 10	979,97	26,86	37,70	19,78	2,84	210,90	584,775
05.01.2022 11	960,42	25,26	34,61	18,57	0,00	155,43	377,775
20.01.2022 12	966,80	18,81	29,45	4,50	0,00	239,21	803,850
19.02.2022 13	979,17	17,52	31,80	13,58	3,24	219,01	971,175
26.02.2022 12	979,97	19,87	35,78	10,41	1,27	233,35	841,800
23.03.2022 11	976,16	15,73	28,83	11,92	0,34	214,91	781,425
26.03.2022 11	979,74	17,18	33,57	14,32	5,46	190,16	759,000
30.03.2022 12	963,94	22,22	42,06	18,93	2,27	155,82	897,000
05.05.2022 12	975,43	22,21	37,11	21,30	6,13	190,33	940,125
07.05.2022 12	979,41	26,99	42,55	24,74	3,15	210,75	945,300
08.05.2022 12	978,31	28,80	47,75	27,01	2,51	143,43	926,325
10.05.2022 12	961,87	27,83	46,94	26,31	2,94	120,95	907,350
12.05.2022 11	965,21	26,31	46,66	25,68	3,21	140,61	807,300
12.05.2022 12	965,34	27,25	45,46	25,31	3,74	125,54	919,425
17.05.2022 11	968,40	36,25	48,94	30,00	2,83	174,25	777,975
18.05.2022 11	974,43	37,15	52,13	31,43	0,00	154,16	784,875
18.05.2022 12	966,70	37,13	49,27	30,96	0,01	183,42	898,725

Yapılan çalışmada yaklaşık 7 aylık meteorolojik veri elde edilmiştir. Bu veriler, Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan geçmiş yıllara ait değerler ile örtüşmektedir. Panel sıcaklığının artışına bağlı üretim düşüşünün yaşanması da daha önce yapılan çalışmaları destekler mahiyettedir.

TEŞEKKÜR

Yapılan çalışma 2021FEBE031 kodlu proje kapsamında Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAP) tarafından desteklenmiştir.

ISBN: 978-625-6971-84-4

KAYNAKLAR

[1] ÖZTÜRK, Cemal (2020), Güneş Enerji Sistemlerinde Verim Analizi ve Enerji Kayıplarının Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi FBE, Gaziantep.

[2] DENİZ, Eşref (2013), Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar, Elektrik Mühendisleri Odası (EMO) Online Yayın, www.emo.org.tr.

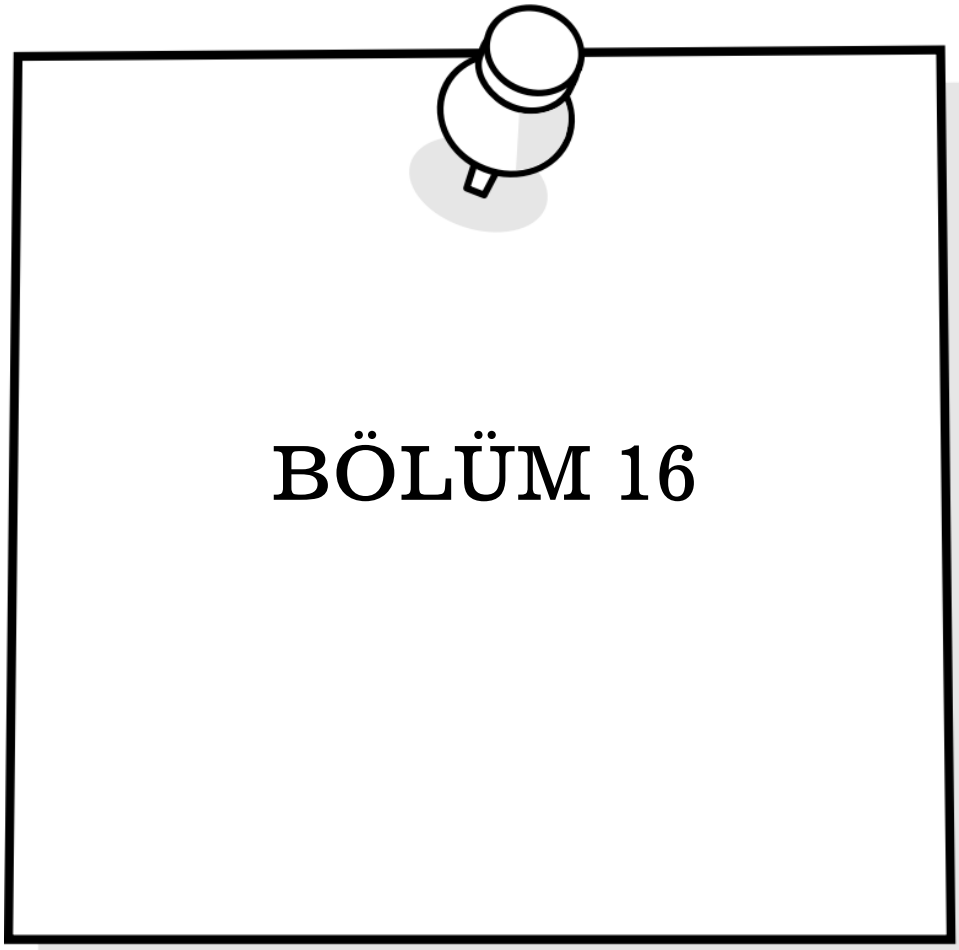
[3] KEÇEL, Selçuk, YAVUZCAN Hüseyin Güçlü (2008), Türkiye'deki Bölgesel Sıcaklık Değişimlerinde Güneş Panellerinde Verimliliğine Etkisi, Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi, 22, s.12-20.

[4] KESKİN, Ayça (2019), Niğde İli Güneş Enerji Santrali Modellemesi ve Performans, Parametreleri Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi FBE, Ankara.

[5] PAMUKÇU Tarık (2018), Türkiye İçin Fotovoltaik Panel Performans Oranının Dış Sıcaklık ve Güneş Radyasyonuna Bağlı Olarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi FBE, Rize.

[6] GÜLER, Abdülkadir Geylani, ŞAKİRALİ, Enes, ALAKOUR, Abdulla (2020), Fotovoltaik Panellerde Isı Transfer Analizi, Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği, Karabük.

ISBN: 978-625-6971-84-4



BÖLÜM 16

FARKLI PUZOLANLARIN METAKAOLİN BAZLI GEOPOLİMER HARÇ ÜRETİMİNDE KULLANILMASI[1]*

Doç. Dr. Burak IŞIKDAĞ[2]

Mohammad Rahim YALGHUZ[3]

1. GİRİŞ

Beton dünyada en çok kullanılan yapı malzemesidir ve CO_2 salınımının %10'u Portland çimentosu üretimi sonucu oluşur. Gelecekte beton yerine geopolimer kullanımının artması, Portland çimentosu üretiminin ve CO_2 salınımının azalmasına neden olacaktır (Habert, d'Espinose de Lacaillerie ve Roussel, 2011, s. 1230). Geopolimer, genellikle bir alkali çözelti ile aktive edilerek ısıl kür etkisinde dayanım kazanan malzemedir. 20. yüzyıldan itibaren geopolimerlerin yapı malzemesi olarak kullanımı araştırılmış ve yüksek performansa sahip beton ve harçlar üretilmiştir. Yüksek dayanımlı geopolimer üretimine elverişli olan metakaolin homojen özelliklere sahip endüstriyel bir mineral malzemedir. Üretimi için Portland çimentosuna göre daha düşük sıcaklık gerekir ve %80-90 daha az CO_2 salınımı oluşur (Rovnaník, 2010, s. 1177). Alkali çözelti olarak genellikle sodyum metasilikat, sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit kullanılır. Metakaolin, kaolin kilinin farklı sıcaklıklarda sinterlenmesi sonucunda elde edilir ve yüksek miktarda SiO_2 ve Al_2O_3 içermesi nedeniyle geopolimer üretiminde yüksek performans sağlar.

*"Bu çalışma Tez Danışmanı Burak Işıkdağ ve Tez Yazarı Mohammad Rahim Yalghuz tarafından hazırlanmış olan "Farklı Tip Malzemeler Kullanılarak Geopolimer Harç Üretimi ve Dayanıklılığın İncelenmesi" başlıklı tez çalışmasından türetilmiştir."

[2] Eskişehir Teknik Üniversitesi, Porsuk Meslek Yüksek Okulu, Yapı Denetimi Programı
ORCID: 0000-0002-7222-6450

[3] Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0000-0001-9934-0408

Somna vd., (2011, s. 2119) tarafından yapılan çalışmada oda sıcaklığında 4,5-16,5M konsantrasyona sahip NaOH ile aktive edilerek üretilen 10,5 μm boyutunda öğütülmüş uçucu küllü geopolimerler incelenmiştir. Basınç dayanımı ve mikroyapı özelliklerinin, kullanılan NaOH konsantrasyonuna bağlı olarak değişiklik gösterdiği belirlenerek oda sıcaklığında yapılan kür ile 28 gün sonunda 12-14M NaOH ile yaklaşık 20 MPa dayanım elde edilmiştir. XRD, SEM, EDS ve FTIR çalışmaları sonucunda öğütülmüş uçucu külün oda sıcaklığında geopolimer üretimine uygun olduğu görülmüştür. NaOH konsantrasyonunun 14M üzerine çıkması alüminosilikat ürünlerinin erken çökelmesi nedeniyle dayanımda azalmaya neden olmuştur. Mikroyapı çalışmaları sonucunda 12-14M NaOH konsantrasyonlarının yeni sodyum alümina silikat kristalli ürünlerin oluşmasını sağladığı görülmüştür.

Wang, Li ve Yan (2005, s. 267) tarafından yapılan çalışmada metakaolin bazlı geopolimerler 20 °C sıcaklıkta, 4-12 mol/L NaOH çözeltisi ve sodyum metasilikat çözeltisi ile aktivasyon edilerek üretilmiştir. Geopolimer kalıp içerisinde 4 MPa basınç ile sıkıştırılmış ve daha sonra 10 saat boyunca fırında 65 °C'de kür yapılmıştır. Malzemenin eğilme dayanımı, basınç dayanımı ve görünür yoğunluğu sistematik olarak ölçülerek, NaOH çözeltisinin konsantrasyonunun geopolimerin mekanik ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkisi, X-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ve kızılötesi spektrometri (IR) yoluyla araştırılmıştır. Sonuçlar, 4-12 mol/L aralığında NaOH çözeltisi konsantrasyonunun artması ile birlikte, geopolimerin eğilme mukavemeti, basınç mukavemeti ve görünür yoğunluğunun arttığını göstermektedir.

Chindaprasirt, Chareerat ve Sirivivatnanon (2007, s. 225) tarafından yapılan çalışmaya göre ortalama 65 μm boyutlarında C tipi uçucu kül, sodyum hidroksit (10, 15, 20 M), sodyum metasilikat ve ısıl kür (60 °C) ile üretilen geopolimer harçların işlenebilirliği ve dayanımı araştırılmıştır. Elde edilen basınç dayanımlarının 10-65 MPa arasında olduğu görülmüştür. Isıl kür süresi arttıkça dayanımın arttığı belirlenmiştir. İki günlük ısı kürü ile 48 MP, üç günlük ısı kürü ile 52 MPa elde edilmiş, daha uzun kür süresinin ise dayanımda bir artış sağlamadığı görülmüştür. En uygun sodyum metasilikat ve sodyum hidroksit oranı 0,67-1,00 aralığında görülmüştür. Taze geopolimer harçlarının çökme-yayılma değerleri %110-135 aralığında olup sodyum hidroksit ve sodyum metasilikat konsantrasyonlarının artmasıyla azaldığı belirlenmiştir. Süperakışkan katkı kullanımının geopolimer dayanımına olumsuz etkisi olmuştur.

Saboo vd. (2019, s. 323) tarafından yapılan bir çalışmada ise amaç uçucu kül, metakaolin ve kür koşulunun geçirgen betonun özellikleri üzerine etkisini incelemek olmuştur. %2 metakaolin ilavesinin gözenekliliği azalttığını ve

yoğunluğu önemli ölçüde arttırdığını göstermiştir. Li vd., (2019, s. 109) tarafından yapılan araştırmada metakaolin bazlı geopolimerlerin kimyasal deformasyonu araştırılmıştır. Ortam sıcaklığında kür yapılan geopolimerlerin Portland çimentosu gibi monotonik rötre yapmadığı görülmüştür. Üretilen geopolimerde oluşan kimyasal deformasyonlar sırası ile kimyasal büzülme, kimyasal genişleme ve tekrar kimyasal büzülme olarak üç aşamalı gerçekleşmiştir. İlk aşamada geopolimer pastası, monomerler veya küçük oligomerler oluşturmak için öncünün sürekli çözünmesinden dolayı kimyasal büzülme göstermiştir. İkinci aşamada belirli miktarda nanozeolit içeren Al ürünlerinin oluşumu sırasında kimyasal genişleme yapmıştır. Bu süre zarfında, pastada belirli bir miktar gözenek çözeltisi dışarı atılmıştır. Bu durum geleneksel çimento hidratasyonundan farklı gerçekleşmiştir. Son aşamada, Al ürünleri yeniden organize olarak ve silikat oligomerleri ile polimerize edilerek amorf Si jelleri oluşmuştur, bu sırada geopolimer pastası tekrar kimyasal büzülme göstermiştir.

Aygörmez vd., (2020, s. 2) tarafından yapılan çalışmada, ana bağlayıcı malzeme olarak metakaolin kullanılarak üretilen geopolimer kolemanit atığı ve silis dumanı ikamesi ile üretilerek dayanıklılık özellikleri araştırılmıştır. Geopolimerlerin basınç ve eğilme dayanımları, matrisin dehidrasyonu, yüksek sıcaklık nedeniyle liflerin erimesi ve serbest suyun buharlaşması nedeniyle 600-900 °C aralığında önemli ölçüde azaltılmıştır. Eğilme dayanımındaki azalma, yüksek sıcaklık etkisi ile basınç dayanımından daha yüksektir. Bunun nedeni, eğilme mukavemetinin, çatlakların yayılması ve yüksek sıcaklıklarda gözenekli yapıların büyümesi gibi iç mikroyapı kusurlarının gelişimine daha duyarlı olması olarak tanımlanmıştır. Silis dumanının %20'ye kadar ve kolemanit atığının %10'a kadar ikamesi basınç ve eğilme dayanımlarını arttırmıştır. Numunelerde 600-900 °C aralığında çatlak oluşumu, 900 °C'den sonra ise renk değişikliği görülmüştür. 56 çevrime kadar donma-çözünme deneyi sonrası numunelerde basınç dayanımlarının arttığı görülmüştür. 300 çevrimden sonra sonra basınç dayanımında bir azalma gözlenmiştir.

Tang vd., (2019, s. 224) tarafından yapılan çalışmada, Portland çimentosu yerine metakaolin ve kireçtaşının dört farklı kütle oranı ile ikamesi araştırılmıştır. %30'a kadar ikame, metakaolin ve kireçtaşının 2:1 oranında kullanımı, referans Portland çimentosundan daha iyi mekanik özellikler göstermiştir. Alonso ve Palomo (2001, s. 56) tarafından yapılan çalışmada, 10 M sodyum hidroksitten daha yüksek konsantrasyonlarda, ortamda $Ca(OH)_2$ bulunması ile metakaolinin alkali aktivasyonu, $Ca(OH)_2$ yokluğunda metakaolinin alkali aktivasyonunda elde edilene benzer bir alüminosilikat oluşumuna neden olmuştur. Ortamda

$Ca(OH)_2$ bulunması, ikincil reaksiyon ürünü olarak C-S-H jel oluşumunu sağlamıştır. Sıcaklık, alkali aktivasyon sürecini hızlandırmış ve reaktif parçacıklara daha fazla enerji vererek iyon hareketliliğini azaltmıştır. $Ca(OH)_2$ üzerindeki metakaolin oranındaki artış, çözünen reaktif türlerdeki artışa bağlı olarak daha fazla alkali alüminosilikat oluşumuna yol açmıştır.

Bernal vd., (2010, s. 899) tarafından yapılan çalışmada, alkali silikat, aktif cüruf ve metakaolin karışımlarında karbonatlaşma mekanizması ve etkileri incelenmiştir. Daha fazla metakaolin içeren örneklerde karbonatlaşmanın daha hızlı olduğu görülmüş ve silikat aktivatör modülünün etkisi, metakaolin bulunup bulunmadığına bağlı olarak değişmiştir. Numunelerdeki ana karbonatlaşma ürünü kalsit olarak görülmüştür. Literatürde alkali ile aktifleştirilmiş bağlayıcıların karbonatlaşmaya karşı oldukça dirençli olduğu yönündeki ifadelerin tersi bulunmuştur.

Tuyan vd., (2017, s. 2) tarafından yapılan çalışmada, F ve C tipi uçucu küller alkali çözeltiler ile aktive edilerek geopolimer beton üretilmiştir. Karışımlarda alkali aktivatör çözeltisi olarak sodyum hidroksit ve sodyum metasilikat kullanılmıştır. F tipi uçucu kül ile üretilen ve yüksek sıcaklıkta kürlenen geopolimer betonunun mekanik özelikleri ve yüksek sıcaklık direnci benzer dayanıma sahip çimento esaslı betona göre daha yüksek bulunmuştur. C tipi uçucu kül ile üretilen ve yüksek sıcaklıkta kürlenen geopolimer betonunun mekanik özelikleri ve yüksek sıcaklık direnci benzer dayanıma sahip çimento esaslı betona göre daha düşük bulunmuştur. Bağlayıcısının %50'si C tipi uçucu kül ve %50'si F tipi uçucu külden oluşan ve ortam sıcaklığında kürlenen betonunun mekanik özelikleri ve yüksek sıcaklık direnci, benzer dayanıma sahip çimento esaslı betonla karşılaştırıldığında ise daha düşük olduğu görülmüştür.

Al-Akhras (2006, s. 1728) tarafından yapılan çalışmada, çimento yerine metakaolin ikame edilerek üretilen betonun sülfat saldırısına karşı direnci araştırılmıştır. %10-15 metakaolin ikamesi betonda sülfat saldırısına karşı mükemmel dayanıklılık göstermiştir. Görhan, Aslaner ve Şinik (2016, s. 330) tarafından yapılan çalışmada uçucu kül yerine %10-40 arasında metakaolin ikame edilerek karışımlar hazırlanmıştır. Karışımlarda silika ve alüminayı çözmek için sodyum metasilikat ve sodyum hidroksit çözeltileri kullanılmıştır. Numuneler 2, 4 ve 24 saat 60 °C ve 80 °C'de sertleşmeye tabi tutulmuştur. Gözeneklilik ve su emme, numunelere uygulanan sertleştirme sıcaklığındaki bir artışla artmıştır. Metakaolin ikame oranındaki artışa bağlı olarak, numunelerin görünen gözenekliliği ve su emme değerleri azalmıştır. Kütle yoğunluk değeri ve basınç dayanımı, metakaolin ikame oranlarındaki artışa paralel olarak artmıştır.

Geopolimer hamur üretiminde ideal sertleşme 60 °C ve 2 saat olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada literatür bilgilerinden faydalanılarak, puzolanik özelliklere sahip metakaolin, uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş perlit ve alkali solüsyonlar kullanılarak ısıl kürlü geopolimer harçlar üretilmiş, kullanılan malzemeler ve üretim teknikleri hakkında bilgiler verilerek numunelerde dayanım değerleri belirlenmiştir.

2. GEOPOLİMERLERDE KULLANILAN MALZEMELERİN TANITIMI

Uçucu kül ve metakaolin gibi inorganik malzemelerin sodyum metasilikat (Na_2SiO_3), sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH) çözeltilerinin karışımından elde edilen malzemelere geopolimer denir (Aydın, 2017, s. 42)). Uçucu kül, yüksek oranda silika (SiO_2), alümina (Al_2O_3) ve kalsiyum oksit (CaO) içerir. Silika ve alüminanın alkali çözeltiler ile reaksiyonu sonucu geopolimer oluşur. Doğal minerallerin kristal ve kimyasal yapılarını değiştirerek üretilen malzemelere geopolimer adı verilir (Boyacı, 2018, s. 7). Geopolimerler genellikle 40-100°C arasında ve 2-72 saat ısıl kür uygulanarak üretilirler. Geopolimerlerin geliştirilmesi için farklı malzemeler ve alkaliler kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda genellikle kalsiyum içeren minerallerin kullanımı ile geopolimer malzemelerin özelliklerinde iyileşmeler görülmüştür. Geopolimerlerin kısa sürede dayanım kazanmaları, dayanıklılıkları, düşük ısı iletkenlikleri gibi olumlu özellikleri literatürde görülmektedir. Silis ve alümina içerikli atıklar ve alkali çözeltiler ile üretilen harçların, çimento harçlarına göre daha hafif ve dayanıklı olduğunu göstermiştir (Topçu, Uygunoğlu ve Hocaoğlu, 2018 s. 258). Ayrıca Aydın (2017, s. 42) tarafından yapılan çalışmada kuvars ve metakaolinin geopolimer malzemeler üzerindeki mekanik ve mikroyapı özellikleri araştırılmıştır.

Geleneksel betondaki önemli bir bileşen Portland çimentosudur. Portland çimentosunun üretimi, inşaat sanayilerinin artan talebi nedeniyle artmaktadır. Bu nedenle Portland çimentosu üretimi sırasında atmosfere salınan karbondioksit üretim oranı da artmaktadır. Genellikle Portland çimentosu üretiminin her tonu için atmosferde bir ton karbondioksit salgılanır. Portland çimentosu üretiminden kaynaklanan sera gazı emisyonu yılda yaklaşık 1,35 milyar tondur, bu da toplam sera gazı emisyonlarının yaklaşık %7'sidir. Ayrıca çimento üretimi de önemli miktarda doğal kaynak tüketmektedir. Bu nedenle kirliliği azaltmak için, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi malzemeler betonda çimento yerine kullanılarak

veya geopolimer üretimi ile yeni tip bağlayıcılar üretilmesi amaçlanmaktadır (Patankar, Ghugal ve Jamkar, 2015, s. 1620).

Geopolimerler, yüksek sıcaklık dayanımı gerektiren pistlerde, yangına dayanıklı malzeme üretimi için, radyoaktif yalıtkan olarak, gözenekli yalıtkan beton üretiminde, su arıtma sistemlerinde, yüksek sıcaklık dayanımlı kompozitlerin üretiminde kullanılmaktadır. Geopolimerler betonlarda rötre sonucu meydana gelen çatlaklar nedeniyle zayıf dayanım, kırılgan yapı ve hapsolmuş hava ortaya çıkabilir bu nedenle fiberli geopolimer üretimi gündemdedir (Bağcı, 2017, s. 284). Geopolimerlerin dayanımı, kullanılan malzemelerin özelliklerine bağlıdır. Metakaolin, uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi kalsine edilmiş malzemelerden üretilen geopolimerler, kaolin kili gibi kalsine edilmemiş malzemelerden sentezlenenlere göre daha yüksek basınç dayanımı verir. Isıl kür sırasında geopolimerin su kaybını en aza indirmeye dikkat edilmelidir. Ayrıca oda sıcaklığında kür, saf jeolojik kalsine puzolanik malzeme kullanımı ile sağlanabilmektedir (Patankar, Ghugal ve Jamkar, 2015, s. 1621).

2.1. Metakaolin

Metakaolin (MK), yüksek performanslı bir endüstriyel malzemedir. MK ilk olarak çimento harcında puzolan amaçlı 1962 yılında Brezilya'daki Jupia Barajı için hazırlanan betonda kullanılmıştır (Girgin, 2016, s. 6). Kaolin kilinin kalsine edilmesiyle üretilen MK, beyaz renkli ve amorf yapılı bir alümina silikattır. Kaolin minerali, ısıtıldığında 200 ºC'nin altında higroskopik suyunu bırakır. 500-600 ºC'de kimyasal formüldeki bağıl suyunu bırakarak MK'a dönüşür (Girgin, 2016, s. 6). Kaolin kili aşırı miktarda sıcaklığa maruz kalırsa (900 ºC üstünde) mullit fazı oluşur ve reaktif özelliğini kaybeder. Başarılı bir ısıl işlem uygulanması halinde yüksek oranda puzolanik özelliğe sahip amorf fazlı MK elde edilir (Girgin, 2016, s. 6). MK, hidrat oluşturulması amacıyla kalsiyum hidroksit ile birleştirilebilir. Bu da harç ve betonun özelliklerinin iyileşmesine katkıda bulunur. MK'nın reaksiyon kapasitesi, temel olarak mineral içeriğine, ham kaolin kaynağına ve üretim şartlarına bağlıdır (Girgin, 2016, s. 7).

MK kalsiyum hidroksiti çok hızlı bir şekilde tüketir ve 1980'li yıllarda yapılan pek çok çalışmada lif katkılı kompozitlerde çimento matrisine eklenmesinin cam lifleri koruduğunu ortaya koymuştur. 1990'lı yıllarda MK'nın betonda kullanımı yaygınlaşmış ve sülfat direncinin iyileştirilmesi, alkali silika reaksiyonu genleşmesinin azaltılması, çiçeklenmenin yok edilmesi gibi bir dizi beton özelliğinin iyileştirilmesinde etkin olduğu kaydedilmiştir (Girgin, 2016, s. 7). Kimyasal olarak MK mineralinin temel bileşenleri SiO_2 ve Al_2O_3'tir. Bununla birlikte yapısında az miktarlarda Fe_2O_3, TiO_2, Na_2O ve K_2O bileşenleri de

bulunabilir. MK'nın mineral katkı olarak çimento ve beton içerisinde kullanılması ile çimento ve betona sağlayacağı faydalar daha çok SiO_2 ve Al_2O_3 içeriğine bağlıdır (Girgin, 2016, s. 7). Kaolin ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$), esasen bir kil mineralidir ve sahip olduğu kristal yapısı nedeniyle kaolenit grubu içerisinde yer alır. Feldspat içeren granitik veya volkanik kayaçların feldspatlarının altere olarak kaolinit mineraline dönüşmesi sonucu kaolinler oluşmaktadır. Katkı malzemesi olarak puzolanlar elde edildikleri kaynaklara göre doğal veya yapay puzolan olarak adlandırılırlar (Görhan ve Kürklü, 2015, s. 8).

MK yapısında bulunan silis ve alüminin çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan $Ca(OH)_2$ ile reaksiyona girerek yeni CSH yapılar ve C_4AH_{13}, C_2ASH_8, C_3AH_6 gibi fazlar oluşturur. Bu oluşan ürünler sayesinde üretilen beton veya harçlarda mekanik özelliklerde ve dayanıklılıkta artışlar sağlanır. MK beton üretiminde genel olarak çimento yerine ağırlıkça %10-20 arasında kullanılmaktadır. Basınç, yarmada çekme ve eğilme dayanımlarını artırdığı, büzülmeyi azalttığı, donma çözünmeye direnci yükselttiği, kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı artırdığı, geçirgenliği düşürdüğü, alkali silis reaksiyonu gelişimini azalttığı görülmüştür (Yazıcı, Anuk ve Arel, 2010, s. 14). MK, alkali aktivatör çözeltiler ile reaksiyon göstererek ısıl kürlü geopolimer oluşturmaktadır. Geopolimer üretiminde metakaolin ve cüruf esaslı gepolimerlerin dayanım ve dayanıklılık bakımından en yüksek performansı sağladığı görülmektedir. MK ile oluşan geopolimerizasyon, aktivatör ve MK tipine, miktarına ve kür çeşidine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Arslan, 2019, s. 13).

2.2. Uçucu Kül

Uçucu kül (UK), enerji üretimi için kömürün yanması sırasında ortaya çıkan UK endüstriyel bir yan üründür. Dünya çapında kömür üretimi kaynaklı yıllık 600 milyon ton civarında kül elde edilmektedir. Bunun yaklaşık 500 milyon tonu UK'dır. Bu nedenle, termik santraller tarafından ortaya çıkan UK miktarı çevresel bir sorun haline gelmiştir. Günümüzde dünya genelinde kül kullanımı toplam külün sadece %16'sıdır (Ahmaruzzaman, 2010, s. 328).

UK, oda sıcaklığında $Ca(OH)_2$ ile puzolanik reaksiyon gösterebilir girebilir. Puzolanik aktivitesi içerdiği amorf formda SiO_2 ve Al_2O_3 tarafından sağlanmaktadır. UK, kökenine göre F ve C sınıfı olmak üzere iki kategoriye ayrılır. F sınıfı UK, antrasit veya bitümlü kömür yakılarak üretilir. Toplam SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 miktarı %70'den fazladır, CaO miktarı %10'dan azdır, düşük kalkerli kül olarak kabul edilir. C sınıfı UK, linyit veya bitümlü kömür yakılarak üretilir. Toplam SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 miktarı %50'den fazladır. CaO miktarı

%10'dan fazladır. UK ayrıca CaO, MgO, MnO, TiO_2, Na_2O, K_2O, SO_3 gibi diğer oksitleri de içerir ve 0,5-200 μm boyutlarında küresel taneciklerden oluşurlar.

UK içeren betonda normal kıvam elde etmek için gerekli su miktarı karbon içeriğine göre değişir. Yanmamış karbon yaklaşık %1 olduğunda su emilimi düşüktür, %10 olduğunda ise büyük miktarda su emilimi görülür. UK'nın rengi Fe_2O_3 ve karbon içeriğine bağlıdır. En önemli faktör yanmamış kömür içeriğidir. Karbon yüzdesi, betonun siyah veya gri görünümünde etkilidir (Wesche, 2005, s. 45). Beton teknolojisinde UK kullanımı depolama ve çevre sorunlarının azaltılması için önemlidir. Bu amaçla, UK son yıllarda harç ve beton karışımlarında mineral katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca geopolimer üretiminde UK alkalilerle aktive edilerek kullanılmaktadır. UK esaslı geopolimerlerin mekanik özellikleri yüksektir, 60-80 ºC'de kür yapıldığında düşük kuruma rötresi, yüksek erken basınç ve eğilme dayanımları, kimyasal saldırılara karşı yüksek dayanıklılık gösterir (Çelikten ve Sarıdemir, 2018, s. 296). Geopolimer üretiminde genellikle düşük kalsiyum içeren UK tercih edilir, çünkü yüksek kalsiyum miktarı polimerizasyon sürecini olumsuz etkileyebilmektedir. Geopolimerlerin sentezindeki sodyum hidroksit ve sodyum metasilikat çözeltilerinin konsantrasyonu basınç dayanımlarını önemli ölçüde etkilemektedir (Panias, Giannopoulou ve Perraki, 2007, s. 247). Ayrıca UK içeren betonlarda ağırlıkça %3-5 oranında sönmemiş kireç ilavesi sertleşme sürecini hızlandırır ve dayanıklılığı arttırır (Temuujin, van Riessen ve Williams, 2009, s. 83).

2.3. Yüksek Fırın Curufu

Yüksek fırın cürufu (YFC), ham demir üretiminde atık malzeme olarak elde edilen bir yan üründür. Ergimiş cüruf, suyla hızla söndürüldüğünde veya güçlü su jetleri ile soğutulduğunda granül cüruf olarak bilinen ince taneli amorf bir form oluşturur (Pal, Mukherjee ve Pathak, 2003, s. 1482). YFC'nin yaklaşık %95'i veya daha fazlası silika, kalsiyum, magnezyum, alüminyum ve oksijenden oluşmaktadır. Bir ton demirden yaklaşık 300 kg cüruf elde edilir (Escalante vd., 2001, s. 1404). YFC kimyasal bileşimi ağırlıkça %0,5-0,8 FeO, %35-42 CaO, %35-40 SiO_2, %8-9 MgO, %8-15 Al_2O_3, %0,3-1,0 MnO ve %0,7-1,5 S'dir. 1 ton metalden yaklaşık 200-600 kg cüruf üretilmektedir. YFC bağlayıcı olarak 1774'te kullanılmaya başlamıştır.1889'da Paris metro yolunda, 1892'de Almanya'da, 1896'da ABD'de çimento katkısı olarak kullanılmıştır. Bu nedenle YFC bazı özellikleri iyileştirmek, çevresel ve ekonomik yarar sağlamak amacıyla çimento üretiminde kullanılmaktadır (Uysal ve Bahar, 2018, s. 38). YFC ve taban külü kullanımının bir diğer faydası hidratasyonun ilk aşamalarında termal rötre çatlaklarını azaltmasıdır (Topçu ve Toprak, 2009, s. 154). YFC katkılı betonların

erken yaş dayanımı ve hidratasyon ısısı düşük, işlenebilirliği ise yüksektir (Emiroğlu, Koçak ve Subaşı, 2011, s. 114).

Geopolimer üretiminde sistemdeki K_2O içeriğinin önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Artan K_2O içeriği ile priz süresi, basınç dayanımı ve yangına dayanıklılık özellikleri geliştirilebilir. Dolayısıyla granüle edilmiş yüksek fırın cürufu esaslı geopolimerlerin mühendislik uygulamaları için büyük bir potansiyele sahip oldukları görülmektedir (Cheng ve Chiu, 2003, s. 206). UK ve YFC içeren geopolimerlerde kalsiyum içeriğine bağlı olarak değişen yeni bir amorf faz elde edilmiştir. Geopolimerizasyon reaktivitesini ve basınç dayanımını arttırmak için alüminosilikat kaynaklarının amorf silikon, alüminyum, sodyum ve kalsiyum içeren fazları araştırılmıştır. UK ve YFC harmanlanmış geopolimerlerin amorf Si/Al oranının 2,3 ile 3,1 arasında olduğunu belirlenmiştir (Lau vd., 2019, s. 732). Yüksek fırın cürufu kullanımının geopolimerlerin priz süresini hızlandırdığını doğrulamıştır. Kil/cüruf oranının değiştirilmesi sertleşme süresini önemli ölçüde değiştirebilmektedir. Cürufun artan içeriği priz süresini azaltabilir (Perná ve Hanzlíček, 2016, s. 1151).

2.4. Perlit

Perlit asit özellikli %2-6 su içeren camsı yapıda, siyah veya kahve renkli volkanik bir kayaçtır. 800-1150 ºC'e kadar ısıtıldığında hacmi %10-30 arasında artarak düşük yoğunluk, yüksek ısı dayanımı ve beyaz renge sahip genleştirilmiş perlite (GP) dönüşür. GP hafif olması nedeniyle inşaat sektöründe ısı ve ses yalıtımı malzemesi olarak kullanılır. GP özgül ağırlığı 2,2-2,4 gr/cm^3 ve kaba yoğunluğu 30-190 kg/m^3 olan ultra hafif malzeme olarak sınıflandırılmıştır (Topçu, 1999, s. 71). Perlit genellikle %70'den fazla silika içerir, adsorptif ve inert olduğu için boya, emaye, sır, plastik ve reçine üretimlerinde mükemmel bir filtre yardımcısı ve dolgu maddesidir. Ayrıca sıva, beton, harç ve tavan döşemelerinde kullanılmaktadır.

Perlit Türkiye'de bol miktarda rezerve sahip ucuz bir malzemedir (Sarı vd., 2007, s. 388). GP, termal iletkenlik sabiti 0,050-0,070 W/mK olan gözenekli ve higroskopik özelliklere sahip bir yalıtım ürünüdür. Açık ve kapalı mikro gözeneklerin sayısı nedeniyle oldukça hafiftir. Bu gözenekler, perlite ısı yalıtım özellikler verir. Parçacık boyutu dağılımı ve genişleme oranına bağlı olarak, GP birim hacim ağırlıkları farklılık gösterebilir (Demir, Başpınar ve Kahraman, 2018, s. 25). Düşük birim ağırlığı, yalıtım özelliği, büzülme veya çatlamaya karşı direnci, düşük maliyeti, işlenebilirliği artırması, nötr pH'ı, inert olması, toksik olmaması, yangına dayanıklı olması, gözenekli yapısı nedeniyle tarımda filtrelemede kullanılması perlitin avantajlarındandır. GP ile beton bloklarda ısı

iletiminde yüzde 50 veya daha fazla azalma elde edilebilir (Kılıç, Kahraman ve Kılıç, 2018, s. 1584). Dezavantaj olarak ise betonda kullanılan GP miktarı arttıkça basınç dayanımı ve elastisite modülü azalır, su emme değeri ise artar (Sengul vd., 2011, s. 672).

2.5. Silis Dumanı

Silis dumanı (SD), silikon ve ferrosilikon endüstrisinin bir yan ürünüdür. Bu nedenle, SD'nin SiO_2 içeriği üretilen alaşımın tipi ile ilgilidir (Siddique, 2011, s. 924). SD genellikle yüzde 90'dan fazla amorf SiO_2 içerir. Diğer bileşenler karbon, sülfür ve alüminyum, demir, kalsiyum, magnezyum, sodyum ve potasyum oksitlerdir. Silikon metalinin veya silikonlu metal alaşımlarının üretiminde, yüksek saflıktaki kuvars, elektrik fırınlarında yaklaşık 2000°C sıcaklıkta kömür yardımıyla indirgenmeye tabi tutulmaktadır. Üretim işleminde çok büyük miktarı SiO' dan oluşan gazlar çıkmaktadır. Gaz halindeki SiO'nun, fırının soğuk bölgelerinde havayla temas etmesiyle ve çok çabuk yoğunlaştırılması ile gazın içersindeki SiO, amorf yapıya sahip SiO_2 duruma dönüşmektedir (Erdoğan, 2003, s. 155). Bu malzeme mikrosilis veya silis tozu veya silika füme gibi isimlerle de anılmaktadır. SD amorf, çok ince taneli yapıya sahip olduğundan ve yüksek miktarda SiO_2 içerdiğinden, mükemmel bir puzaolanik malzemedir. Diğer puzolanik malzemeler gibi, kalsiyum hidroksitle sulu ortamda birleştirildiği takdirde, hidrolik bağlayıcılık gösterir. Genellikle, beton karışımında yer alan çimento miktarı yaklaşık %10 kadar azaltılmakta ve onun yerine bu puzolanik malzeme yerleştirilmektedir.

SD çok ince taneli olması ve çok yüksek miktarda SiO_2 içermesi nedeniyle gerek ilk zamanlarda gerekse nihai olarak oldukça yüksek dayanımlı betonların elde edilebilmesinde kullanılmaktadır. SD'nin çok ince tanelerden oluşmuş olması taze betonun kıvamını ve işlenebilirliğini azaltmakta, su ihtiyacını artırmaktadır. O nedenle, yüksek dayanımlı beton üretimi için katkı maddesi olarak kullanıldığında su-azaltıcı katkı maddesi de kullanılmaktadır (Erdoğan, 2003, s. 155). SD tanecik boyutu genelde 1 mikron civarındadır ve Portland çimentosu ile reaktivitesi, aşırı inceliği nedeniyle fazla su tüketimine neden olur.su fazla içerir (Malhotra, 1982, s. 444). İnce yapısı nedeniyle, betonla karıştığında gözenek boşluklarının azaldığı görülmüştür (Panjehpour vd. 2011, s. 2). SD yüzey alanı 13000-30000 m^2/kg arasında olan çok ince camsı parçacıklardan oluşmaktadır. Betonda SD içeriğindeki artış ile klorür-iyon difüzyonunda önemli bir azalma olduğu gözlenmiştir (Khan ve Siddique, 2011, s. 31). Silis dumanlı betonlarda uygulanan kür yöntemleri ve akışkanlaştırıcı miktarı beton özelliklerini ve maliyetini etkilemektedir (Toutanji ve Bayasi, 1999, s. 498).

Okoye, Durgaprasad ve Singh (2016, s. 3001) tarafından yapılan bir çalışmada farklı silis dumanı konsantrasyonunun uçucu kül bazlı geopolimer betonun mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Silis dumanı kullanımı ile geopolimer hamurunun işlenebilirliğinin azaldığı görülmüştür. Silis dumanı içeren geopolimer beton, kontrol betonuna kıyasla daha yüksek basınç, çekme ve eğilme dayanımları sağlamıştır. Bunun nedeni daha yoğun ve boşluksuz mikroyapı ile açıklanmıştır. Geopolimer betonlarının %2 H_2SO_4, %5 NaCl ve %5 Na_2SO_4 çözeltilerinde daha dayanıklı olduğu bulunmuştur.

Duan, Yan ve Zhou (2017, s. 109) tarafından yapılan çalışmada, uçucu kül yerine ağırlıkça %10-30 oranlarda silis dumanı ikame edilerek elde edilen geopolimer numuneler üzerinde 200, 400 ve 800 °C sıcaklıklarda 7, 28 ve 56 gün aralıklarında ısınma-soğuma termal döngüleri uygulanmıştır. Sonuçta, silis dumanı miktarındaki artış ile dayanımda artış, 200 °C'den sonra uygulanan 800 °C'e kadar termal döngülerde ise dayanım ve kütle kaybı gözlenmiştir. Gupta (2021, s. 23), tarafından yapılan çalışmada %60 oranında yüksek fırın cürufu silis dumanı yerine ikame edilerek geopolimer beton üretilmiştir. Alkali aktivasyon işlemi Na_2SiO_3 ve NaOH çözeltilerinin karışımı olan katalitik sıvı sistemi ile sağlanmıştır. Na_2SiO_3/NaOH oranı arttıkça geopolimer betonların 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanımlarının arttığını görülmüştür.

3. ÇALIŞMA İÇERİĞİ

3.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada metakaolin (MK), uçucu kül (UK), yüksek fırın cürufu (YFC), silis dumanı (SD), genleştirilmiş perlit (GP), kum ve alkali çözeltiler sodyum hidroksit (NaOH), potasyum hidroksit (KOH) ve sodyum metasilikat (Na_2SiO_3) kullanılarak ısıl kürlü ve ısıl kürsüz geopolimer harçlar üretilmiştir.

3.1.1. Metakaolin

MK, Kaolin Endüstriyel Mineraller AVS İç ve Dış Tic. Ltd. şirketinden temin edilmiştir. Özgül ağırlığı 2,6 g/cm^3'tür, kimyasal özellikleri ve görünümü Tablo 1 ve Şekil 1'de verilmiştir.

ISBN: 978-625-6971-84-4

Tablo 1. Metakaolin kimyasal analizi

Kimyasal Analiz	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**TiO_2**	**CaO**	**MgO**	**K_2O**	**Na_2O**	**Kızdırma Kaybı**
(%)	50,00	45,00	0,50	1,00	0,50	0,40	0,51	0,24	1,10



Şekil 1. Metakaolin

3.1.2. Yüksek fırın cürufu

YFC, Bolu Çimento Sanayi A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Özgül ağırlığı 2,91 g/cm^3'tür, kimyasal özellikleri ve görünümü Tablo 2 ve Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Yüksek fırın cürufu kimyasal analizi

Kimyasal Analiz	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**TiO_2**	**CaO**	**MgO**	**K_2O**	**Na_2O**	**Kızdırma Kaybı**
(%)	40,55	12,83	1,10	0,75	35,58	5,87	0,68	0,78	0,80



Şekil 2. Yüksek fırın cürufu

3.1.3. Silis Dumanı

SD, Eti Antalya Elektrometalürji A.Ş.'den temin edilmiştir. Özgül ağırlığı 2,20 g/cm^3'tür, kimyasal özellikleri ve görünümü Tablo 3 ve Şekil 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Silis dumanı kimyasal analizi

Kimyasal Analiz	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**TiO_2**	**CaO**	**MgO**	**K_2O**	**Na_2O**	**Kızdırma Kaybı**
(%)	91,57	0,45	0,20	0,00	0,70	0,33	2,58	0,55	1,80

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 3. Silis dumanı

3.1.4. Genleştirilmiş Perlit

GP, Kütahya GENPER firmasından temin edilmiştir. Özgül ağırlığı 0,07 g/cm^3'tür, kimyasal özellikleri ve görünümü Tablo 4 ve Şekil 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Genleştirilmiş perlit kimyasal analizi

Kimyasal Analiz	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**TiO_2**	**CaO**	**MgO**	**K_2O**	**Na_2O**	**Nem**
(%)	74,00	14,33	0,97	0,00	0,50	0,28	4,95	3,00	0,1



Şekil 4. Genleştirilmiş perlit

3.1.5. Uçucu kül

UK, Kütahya Seyitömer Termik Santrali'nden F sınıfı olarak temin edilmiştir. Özgül ağırlığı 2,27 g/cm^3'tür, kimyasal özellikleri ve görünümü Tablo 5 ve Şekil 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Uçucu kül kimyasal analizi

Kimyasal Analiz	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**TiO_2**	**CaO**	**MgO**	**K_2O**	**Na_2O**	**Kızdırma Kaybı**
(%)	53,69	20,29	11,83	0,61	3,45	1,39	1,53	0,30	2,31

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 5. Uçucu kül

3.1.6. Kum

Bu çalışmada CEN standart kum kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kumun tane dağılımı analizi ve görünümü Tablo 6 ve Şekil 6'da verilmiştir.

Tablo 6. CEN standart kum tane dağılımı analizi

Göz açıklığı (mm)	0,08	0,16	0,50	1,00	1,60	2,00
Kalan %	99	87	72	34	6	0
Sınır	99±1	87±5	67±5	33±5	6±5	0



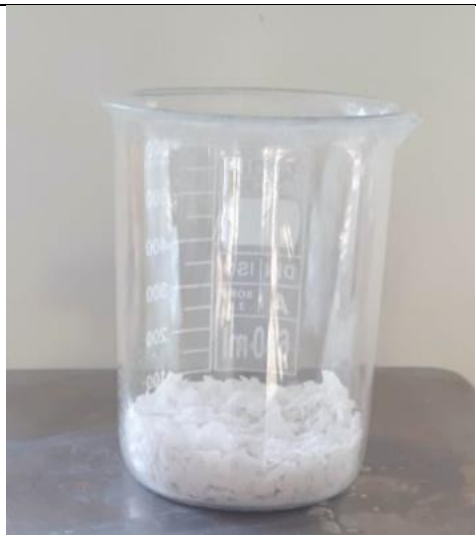
Şekil 6. CEN standart kum

3.1.7. Sodyum hidroksit

Bu çalışmada alkali çözelti elde etmek için kullanılan sodyum hidroksit (NaOH) Eskişehir DETSAN Kimya Sanayi'nden temin edilmiştir, kimyasal özellikleri ve görünümü Tablo 7 ve Şekil 7'de verilmiştir. Geopolimer üretiminde NaOH farklı molaritelerde kullanılmıştır.

Tablo 7. Sodyum hidroksit kimyasal özellikleri

NaOH	Na_2CO_3	Cl	SO_4	Al	Fe
96-98	0,3	0,01	0,01	0,002	0,002



Şekil 7. Sodyum hidroksit

3.1.8. Sodyum metasilikat

Bu çalışmada alkali çözelti elde etmek için kullanılan %36 saflıkta sodyum metasilikat (Na_2SiO_3) Eskişehir DETSAN Kimya Sanayi'nden temin edilmiştir, kimyasal özellikleri ve görünümü Tablo 8 ve Şekil 8'de verilmiştir. Geopolimer üretimlerinde Na_2SiO_3 farklı molaritelerde kullanılmıştır.

Tablo 8. Sodyum metasilikatın kimyasal ve fiziksel özellikleri

Na_2O (%)	SiO_2 (%)	Yoğunluk (20 °C'de gr/ml)	Fe (%)	Ağır metaller (%)
8,75	27,43	1,371	0,005	0,005

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 8. Sodyum metasilikat

3.2. Deneysel Çalışmalar

Tüm aşamalarda TS EN 196-1'e uygun olarak karışımlar Şekil 9'da görüldüğü gibi çimento mikserinde karıştırıldı. Önce karıştırma kabına bir gün önceden hazırlanan çözelti ve karışım malzemeleri eklendi. Karıştırıcı düşük hızda 30 sn. çalıştırıldı. Daha sonra 30 sn. süresince kum ilave edildi ve karıştırıcı yüksek hıza ayarlanarak karıştırmaya 30 sn. daha devam edildi. Karıştırıcı 15 sn. süreyle durdurularak kabın çeperlerinde ve tabanında yapışan harç sıyrıldı ve sonra karıştırmaya 60 sn. süresince yüksek hızda devam edildi. Şekil 10'da görüldüğü gibi deneylerde 40x40x160 mm boyutlarında kalıplar kullanıldı ve her karışım ayrı kalıplara iki tabakada dökülerek toplam 120 vuruş ile sarsma cihazında sıkıştırıldı.



Şekil 9. Çimento mikseri



Şekil 10. Kalıplardaki geopolimer harç numuneleri

Deneylerde kullanılan sarsma cihazı TS EN 196-1'e uygun Şekil 11'de görüldüğü gibi, 60 devir/dakikalık sarsma periyodunda 15 mm yükseklikten düşme yapan kalıbın bağlandığı tabladan oluşmaktadır.

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 11. Deneylerde kullanılan sarsma cihazı

Isıl kürlü karışımlar laboratuvar ortamında 24 saat bekletildikten sonra Şekil 12'de görüldüğü gibi ısıl kür için etüve yerleştirildi. Şekil 13'te görülen numuneler etüvden çıkarıldıktan sonra fiziksel olarak incelendiğinden genellikle tüm karışımlarda renk değişimi dışında kabarma, beyazlama ve çatlak oluşumu gözlenmedi.



Şekil 12. Deneylerde kullanılan etüv



Şekil 13. Etüvden çıkarılan geopolimer harç numuneleri

Eğilme ve basınç dayanımı deneyleri Şekil 14 ve Şekil 15'te görüldüğü gibi numuneler etüvden çıkarıldıktan 24 saat sonra yapıldı. Tüm numuneler basınç ve eğilme cihazına yerleştirilmeden önce cihazın yükleme yüzeyleri temizlendi ve numuneler aparata düzgün şekilde yerleştirildikten sonra cihaz ekranından numune boyutları seçilip, dayanımlar otomatik olarak cihaz tarafından test edildi. Numunelerde basınç ve eğilme dayanımları TS EN 196-1'e göre belirlenirken, her bir karışım için üç adet numune üretildi ve numune dayanımlarının aritmetik ortalaması alındı. Çalışmada 14 farklı geopolimer harç karışımı olmak üzere 42 numune üretildi. Metakaolin, uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu, genleşmiş perlit ve alkali çözelti olarak sodyum hidroksit ve sodyum metasilikat kullanılarak geopolimer harç numuneleri farklı ısıl kür koşullarında üretildi.

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 14. Geopolimer harç numunelerinde eğilme deneyi



Şekil 15. Geopolimer harç numunelerinde basınç deneyi

Homojen bir çözelti elde edebilmek amacıyla, sodyum hidroksit üretim gününden 24 saat önce şebeke suyu ile karıştırıldı ve döküm günü sodyum metasilikat ile karıştırılarak çözelti hazırlandı ve diğer malzemeler ile belirli karışım oranlarında çimento mikserinde karıştırıldı. Daha sonra kum ilave edilerek karıştırma işlemine devam edildi. Numuneler karıştırıldıktan sonran

40x40x160 mm ebatlarındaki kalıplara döküldü ve sarsma cihazında sıkıştırıldı. 24 saat kalıplarda bekletildikten sonra kalıplar ile birlikte etüvde farklı ısıl kür koşullarında bekletildi. Numuneler soğuduktan sonra eğilme ve basınç deneyleri yapıldı. Isıl kür koşulları ve harç karışım oranları Tablo 9'da görülmektedir.

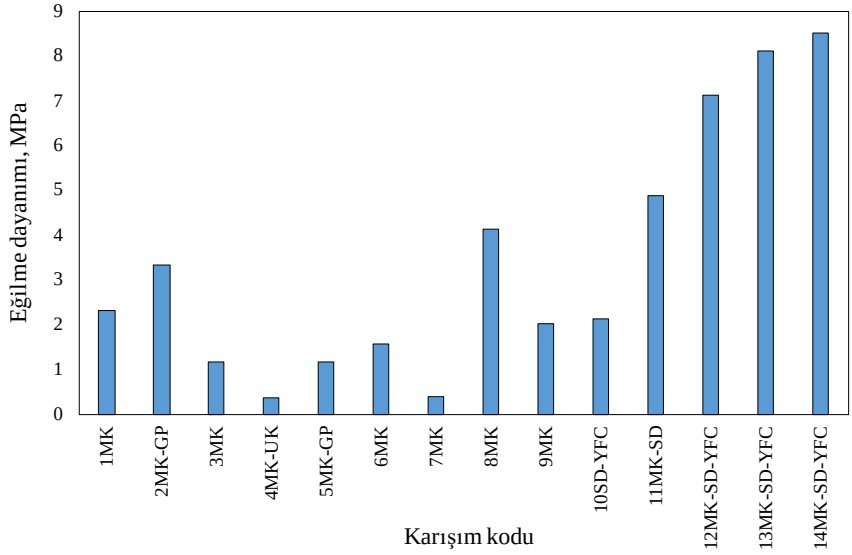
Tablo 9. Geopolimer harç karışım oranları (gr)

Karışım Kodu	**No**	**Kum**	**MK**	**UK**	**GP**	**SD**	**YFC**	**KOH**	**NaOH**	**Na_2SiO_3**	**Su**	**Kür**
MK	1	1350	450						100	32,5	245	24 s, 60 °C
MK-GP	2	1350	350		15				100	32,5	275	24 s, 60 °C
MK	3	1350	450						100	32,5	325	24 s, 100 °C
MK-UK	4	1350	225	225					100	32,5	325	24 s, 100 °C
MK-GP	5	1350	300		50				100	32,5	245	12 s, 50 °C
MK	6	1350	450						100	32,5	245	12 s, 50 °C
MK	7	1350	450						240	32,5	360	24 s, 60 °C
MK-SD	8	1350	160			240	0	200			300	24 s, 100 °C
MK-SD	9	1350	160			240	0	138			250	24 s, 100 °C
SD-YFC	10	1350	0			350	150	0		200	130	24 s, 100 °C
MK-SD	11	1350	300			120	0	100			250	24 s, 100 °C
MK-SD-YFC	12	1351	75			50	375	100		32,5	200	24 s, 100 °C
MK-SD-YFC	13	1352	85			45	370	100		32,5	200	24 s, 100 °C

MK-SD-YFC	14	1353	115		30	360	100		32,5	200	24 s, 100 °C

4. SONUÇLAR

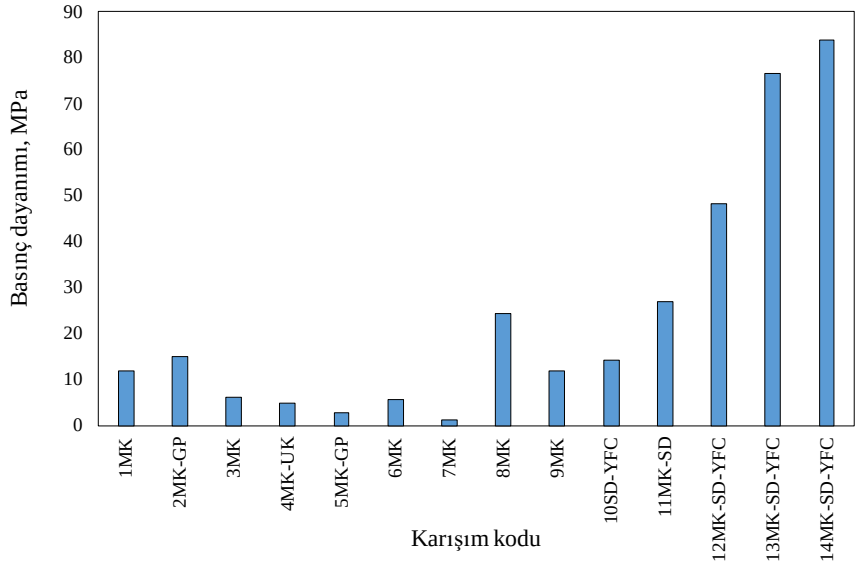
Numuneler etüvden çıkarılıp kalıplar söküldükten sonra, her karışımdan üçer numune üzerinde üç nokta eğilme deneyi yapılmıştır. Her karışımın eğilme dayanımı üç numunenin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Şekil 16 incelendiğinde numunelerin eğilme dayanımlarının 0,37 ve 8,51 MPa arasında değerler aldığı görülmüştür. En düşük eğilme dayanımı değerleri 4MK-UK ve 7MK, en yüksek değerler ise 13MK-SD-YFC ve 14MK-SD-YFC karışımlarında elde edilmiştir. MK-SD-YFC karışımlarının eğilme dayanımlarının diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde bu karışımlardaki alkali aktivasyonun diğerlerine göre daha iyi olduğu belirlenmiştir.



Şekil 16. Geopolimer harçların eğilme dayanımları

Numunelerin basınç dayanımları, eğilme deneyinde ikiye ayrılan parçalar üzerinde belirlenmiştir. Şekil 17'de görüldüğü gibi her karışımdan üçer numunenin basınç dayanım değerlerinin ortalaması alınarak basınç dayanımları hesaplanmıştır. En düşük basınç dayanımı değerleri 5MK-GP ve 7MK, en yüksek değerler ise 13MK-SD-YFC ve 14MK-SD-YFC karışımlarında elde edilmiştir. MK-SD-YFC karışımlarında basınç dayanımlarının diğerlerine göre daha yüksek

olduğu görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde bu karışımlardaki alkali aktivasyonun diğerlerine göre daha iyi olduğu belirlenmiştir.



Şekil 17. Geopolimer harçların basınç dayanımları

Geopolimer harçlarda ilk 11 karışımda dayanımlar düşük iken MK, SD ve YFC içeren karışım serilerinde yüksek dayanımların elde edildiği görülmüştür. Çalışmada en yüksek dayanım 14MK-SD-YFC serisi karışımlarda elde edilmiştir. Bu karışımlarda YFC miktarının artması ile basınç dayanımında kısmen azalmalar görülse de bu serinin tamamında dayanımların yeterli olduğu belirlenmiştir. Bu durum artan YFC oranı karşısında aktivasyon için gerekli kimyasal bileşim oranının yetersiz hale gelmesi ile açıklanmaktadır. MK-SD-YFC serisinde SD ve YFC oranlarının azalarak MK oranın artması sonucu dayanımda kısmen azalmalar meydana gelmiştir. Fakat elde edilen sonuçlar genel olarak incelendiğinde SD ve YFC kullanımının üretilen geopolimer harçlarda dayanıma olumlu etkisi belirlenmiştir. Sadece MK kullanılarak üretilen geopolimer harçların dayanımlarının oldukça düşük olduğu ortadır. Ayrıca çalışmada GP kullanımının dayanıma olumsuz etkisinin olduğu da görülmektedir. GP oranı arttıkça dayanım azalmaktadır. Bu durum geopolimer içerisinde GP'nin boşluklu yapı oluşumuna neden olması olarak açıklanabilir. MK kullanılmadan üretilen 10SD-YFC karışımında dayanımın yüksek olmasa da

15 MPa üzerine dayanımlar elde edilebildiği görülmektedir. Çalışma sonuçları incelendiğinde MK, SD ve YFC kullanılarak yeterli dayanıma sahip geopolimer harçların üretilebileceği görülerek optimum karışım oranları belirlenmiştir. Ayrıca farklı puzolanik malzemelerin birlikte kullanımı ile endüstriyel atık ürünlerin geopolimerler içerisinde değerlendirilebileceği ve daha düşük CO_2 salınımına neden olan çevreci yapı malzemelerinin üretilebileceği görülmüştür.

KAYNAKÇA

Ahmaruzzaman, M. (2010). A review on the utilization of fly ash. *Prog. Energy Combust. Sci.*, 36 (3), 327–363.

Al-Akhras, N.M. (2006). Durability of metakaolin concrete to sulfate attack. *Cem. Concr. Res.*, 36 (9), 1727–1734.

Alonso, S. and Palomo, A. (2001). Alkaline activation of metakaolin and calcium hydroxide mixtures: influence of temperature, activator concentration and solids ratio. *Mater. Lett.*, 47 (1–2), 55–62.

Arslan, A.A. (2019). *Metakaolin tabanlı geopolimer harçlara farklı kür koşullarının etkisinin incelemesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Aydın, T. (2017). The impact of quartz and metakaolen additives on the properties of geopolymers. *Uluslararası Muhendislik Arastirma ve Gelistirme Dergisi*, 9 (2), 41–49.

Aygörmez, Y., Canpolat, O., Al-mashhadani, M.M. and Uysal, M. (2020). Elevated temperature, freezing-thawing and wetting-drying effects on polypropylene fiber reinforced metakaolin based geopolymer composites. *Constr. Build. Mater.*, 235 (2020), 117502.

Bağcı, C. (2017). Geopolimerlerden mekanokimyasal aktivasyon ile silisyum karbür tip nano parçacıkların üretilebilirliğinin araştırılması. *G.U. J. Sci., Part C*, 5 (2), 283–290.

Bernal, S.A., de Gutierrez, R.M., Provis, J.L. and Rose, V. (2010). Effect of silicate modulus and metakaolin incorporation on the carbonation of alkali silicate-activated slags. *Cem. Concr. Res.*, 40 (6), 898–907.

Boyacı, Ö. (2018). *Farklı kaolenlerin metakaolen ve spinel yapılarda geopolimer davranışı*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Kütahya: Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Cheng, T.W. and Chiu, J.P. (2003). Fire-resistant geopolymer produced by granulated blast furnace slag. *Miner. Eng.*, 16 (3), 205–210.

Chindaprasirt, P., Chareerat, T. and Sirivivatnanon, V. (2007). Workability and strength of coarse high calcium fly ash geopolymer. *Cem. Concr. Compos.*, 29 (3), 224–229.

Çelikten, S. and Sarıdemir, M. (2018). An investigation on the production potential of geopolymer mortar with tunçbilek fly ash. *IV. International Ceramic, Glass,*

Porcelain Enamel, Glaze and Pigment Congress, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, 295–300.

Duan, P., Yan, C. and Zhou, W. (2017). Compressive strength and microstructure of fly ash based geopolymer blended with silica fume under thermal cycle. *Cem. Concr. Compos.*, 78, 108–119.

Demir, İ., Başpınar, S. and Kahraman, E. (2018). Production of insulations and construction materials from expanded perlite. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 6, 24–32.

Emiroğlu, M., Koçak, Y. ve Subaşı, S. (2011). Yüksek fırın cürufunun betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi. *6th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ: Fırat Üniversitesi, pp. 113–116.

Erdoğan, T. (2003). *Beton*. Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık.

Escalante, J., Gómez, L., Johal, K., Mendoza, G., Mancha, H. and Méndez, J. (2001). Reactivity of blast-furnace slag in Portland cement blends hydrated under different conditions. *Cem. Concr. Res.*, 31 (10), 1403–1409.

Girgin, S. (2016). *NaOH ile aktifleştirilmiş metakaolin katkılı geopolimer malzeme özelliklerinin araştırılması*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Afyonkarahisar: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Görhan, G. ve Kürklü, G. (2015). Farklı sınıf çimento harcı üretiminde metakaolin katkısı kullanımının araştırılması. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 7 (3), 7–14.

Görhan, G., Aslaner, R. and Şinik, O. (2016). The effect of curing on the properties of metakaolin and fly ash-based geopolymer paste. *Compos. B. Eng.*, 97, 329–335.

Gupta, A. (2021). Investigation of the strength of ground granulated blast furnace slag based geopolymer composite with silica fume. *Mater. Today: Proc.*, 44 (1), 23–28.

Habert, G., d'Espinose de Lacaillerie, J.B. and Roussel, N. (2011). An environmental evaluation of geopolymer based concrete production: reviewing current research trends. *J. Clean. Prod.*, 19 (11), 1229–1238.

Khan, M.I. and Siddique, R. (2011). Utilization of silica fume in concrete: Review of durability properties. *Resour. Conserv. Recycl.*, 57 (2011), 30–35.

Kılıç, A.M., Kahraman, E. and Kılıç, Ö. (2018). Evaluation of the use of perlite in industry evaluation of the use of perlite in industry. *International Congress on Engineering and Architecture*, Adana: Çukurova University, s. 1584.

Lau, C.K., Rowles, M.R., Parnham, G.N., Htut, T. and Ng, T.S. (2019). Investigation of geopolymers containing fly ash and ground-granulated blast-furnace slag blended by amorphous ratios. *Constr. Build. Mater.*, 222 (2009), 731–737.

Li, Z., Zhang, S., Zuo, Y., Chen, W. and Ye, G. (2019). Chemical deformation of metakaolin based geopolymer. *Cem. Concr. Res.*, 120 (2018), 108–118.

Malhotra, V. (1982). Silica fume. A pozzolan of new interest for use in some concretes. *Concr. Constr.*, 1982, 443–446.

Okoye, F.N., Durgaprasad, J. and Singh, N.B. (2016). Effect of silica fume on the mechanical properties of fly ash based-geopolymer concrete. *Ceram. Int.*, 42 (2), 3000–3006.

Panias, D., Giannopoulou, I.P. and Perraki, T. (2007). Effect of synthesis parameters on the mechanical properties of fly ash-based geopolymers. *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.*, 301 (1–3), 246–254.

Pal, S., Mukherjee, A. and Pathak, S. (2003). Investigation of hydraulic activity of ground granulated blast furnace slag in concrete. *Cem. Concr. Res.*, 33 (9), 1481–1486.

Panjehpour, M., Abdullah, A., Ali, A. and Demirboga, R. (2011). A review for characterization of silica fume and its effects on concrete properties. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 2 (2), 1–7.

Patankar, S.V., Ghugal, Y.M. and Jamkar, S.S. (2015). Mix design of fly ash based geopolymer concrete. *Adv. Struct. Eng.*, In: Matsagar V. (eds), 1619–1634.

Perná, I. and Hanzlíček, T. (2016). The setting time of a clay-slag geopolymer matrix: the influence of blast-furnace-slag addition and the mixing method. *J. Clean. Prod.*, 112, 1150–1155.

Rovnaník, P. (2010). Effect of curing temperature on the development of hard structure of metakaolin-based geopolymer. *Constr. Build. Mater.*, 24 (7), 1176–1183.

Saboo, N., Shivhare, S., Kori, K.K. and Chandrappa, A.K. (2019). Effect of fly ash and metakaolin on pervious concrete properties. *Constr. Build. Mater.*, 223, 322–328.

Sarı, A., Tuzen, M., Cıtak, D. and Soylak, M. (2007). Adsorption characteristics of Cu(II) and Pb(II) onto expanded perlite from aqueous solution. *J. Hazard. Mater.*, 148 (1–2), 387–394.

Sengul, O., Azizi, S., Karaosmanoglu, F. and Tasdemir, M.A. (2011). Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete. *Energy Build.*, 43 (2–3), 671–676.

Siddique, R. (2011). Utilization of silica fume in concrete: Review of hardened properties. *Resour. Conserv. Recycl.*, 55 (11), 923–932.

Somna, K., Jaturapitakkul, C., Kajitvichyanukul, P. and Chindaprasirt, P. (2011). NaOH-activated ground fly ash geopolymer cured at ambient temperature. *Fuel*, 90 (6), 2118–2124.

Tang, J., Wei, S., Li, W., Ma, S., Ji, P. and Shen, X. (2019). Synergistic effect of metakaolin and limestone on the hydration properties of Portland cement. *Constr. Build. Mater.*, 223, 177–184.

Temuujin, J., van Riessen, A. and Williams, R. (2009). Influence of calcium compounds on the mechanical properties of fly ash geopolymer pastes. *J. Hazard. Mater.*, 167 (1–3), 82–88.

Topçu, İ.B. (1999). Isı geçirgenlik direnci yüksek perlitli tuğla üretimi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi,* 12 (2), 70–82.

Topçu, İ.B. ve Toprak, M.U. (2009). Alkalilerle aktive edilen taban küllü hafif harç üretimi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (2), 153–164.

Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T. ve Hocaoğlu, İ. (2018). Yüksek fırın cüruf katkılı çimento pastalarının elektriksel özdirençlerinin araştırılması. *J. of Polytechnic*, 21 (2), 257–264.

Toutanji, H.A. and Bayasi, Z. (1999). Effect of curing procedures on properties of silica fume concrete. *Cem. Concr. Res.*, 29 (4), 497–501.

Tuyan, M., Boyacı, O.C., Andiç Çakır, Ö. ve Ramyar, K. (2017). Uçucu kül esaslı geopolimer betonların mekanik özelik ve yüksek sıcaklık dirençlerinin araştırılması. *Hazır Beton Kongresi'nde sunulan bildiri*, İstanbul: Beton 2017 Fuarı, s.1–10.

Uysal, F.F. ve Bahar, S. (2018). Cüruf çeşitleri ve kullanım alanları. *Trakya University Journal of Engineering Sciences,* 19 (1): 37-52.

Wang, H., Li, H. and Yan, F. (2005). Synthesis and mechanical properties of metakaolinite-based geopolymer. *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.*, 268 (1–3), 1–6.

Wesche K. (2005). *Fly ash in concrete: properties and performance report of technical committee 67-FAB.* New York: Taylor & Francis.

Yazıcı, Ş., Anuk, D. ve Arel, H.Ş. (2010). Metakaolin kullanımının harçların mekanik özellikleri üzerine etkisi. *J. Fac. Eng.Arch. Selcuk Univ.,* 25 (2), 2010, 13–24.

ISBN: 978-625-6971-84-4



BÖLÜM 17

ISBN: 978-625-6971-84-4

DESTEK VEKTÖR MAKİNELERİ VE ÖZELLİK SEÇİMİ ALGORİTMALARININ İNSAN-BİLGİSAYAR ETKİLEŞİMİ PROBLEMLERİNDEKİ BAŞARIM ANALİZİ

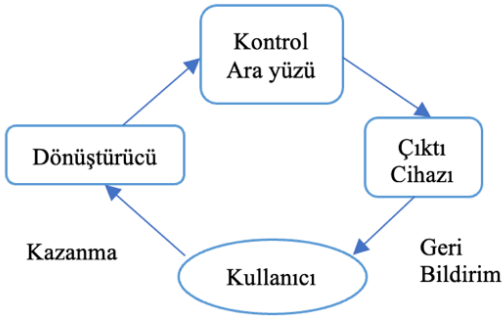
Doç. Dr. Çiğdem İnan ACI[1]

Arş.Gör. Gizen MUTLU[22]

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ACI[33]

1 Giriş

İnsan Bilgisayar Etkileşimi (İBE) ve İnsan-Makine Ara yüzü (İMA), insanların harici çevre birimleri veya elektronik cihazları kontrol etmesine olanak tanıyan teknolojilerin bir araya gelmesiyle oluşur. Görme, duyma, dokunma, jest gibi doğrudan bir ortamla, beyin veya kas aktivitesi gibi dolaylı bir ortam aracılığıyla insanlar cihazlarla etkileşime girebilir (Quitadamo vd., 2017).



Şekil – 1. İBE Ara yüzü (Quitadamo vd., 2017).

[1] Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
ORCID No: 0000-0002-0028-9890
[2] Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
ORCID No: 0000-0001-7553-2077
[3] Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
ORCID No: 0000-0002-7245-8673

İBE Şekil 1'de gösterilen bileşenlerden oluşmaktadır. Kazanma veya Kazanım olarak geçen adım, veri iletimiyle ilgili olan edinimdir. Dönüştürücüye ulaşan kazanım, ölçülen sinyallerin özelliklerinin çıkarılmasına ve tipik olarak sınıflandırma algoritması aracılığıyla kullanıcının niyetinin tanınmasıdır. Kontrol ara yüzü, sınıflandırma çıktısını harici bir cihaz için bir kontrol komutuna çevirir ve çıktı cihazına ileterek geri bildirimi oluşturur. Tüm İBE zincirinin özü, kullanıcının görevi doğru bir şekilde yerine getirmesi için eğitilirken, sınıflandırıcıların da belirli bir görevi doğru şekilde tanıması için eğitilmesi gerekir. Bu sebeple literatürdeki birçok çalışmada, sınıflandırma yöntemlerinden elde edilen sonuçlarda mümkün olduğunca yüksek doğruluk hedeflenmektedir (Quitadamo vd., 2017).

Literatürde Destek Vektör Makineleri'nin (DVM) kullanıldığı İBE çalışma alanlarında yapılan mevcut birçok çalışma bulunmaktadır (Quitadamo vd., 2017; Sailunaz & Alhajj, 2019; Toledo-Pérez, vd., 2019; Wang, vd., 2014). DVM, sınıflandırma algoritmaları arasında durağan olmayan verilerle çalışmaya uygun alt yapısı ve yüksek sınıflandırma doğruluğu sayesinde İBE uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, İBE alanında son beş yıl içerisinde yapılmış güncel çalışmalarda DVM'lerin rolünü ve katkısını açıklamaktır. Arama, İBE'nin sağlık, teknoloji, Doğal Dil İşleme (DDİ), jest, konuşma tanıma ve duygu tanıma gibi alanlarında DVM'nin kullanımı olarak sınırlanmıştır. En çok benimsenen İBE alanlarında DVM uygulamalarına genel bir bakış açısı da dahil olmak üzere DVM'lerin altında yatan ana teorik yönler açıklanmış ve ayrıntılar tablolanmıştır. Araştırmalarda yer alan diğer sınıflandırıcılarla küçük karşılaştırmalar da dahil olmak üzere, literatürdeki DVM uygulama sonuçları analizi edilmiştir ve karşılaştırılmıştır. Kaynak bibliyografisi başta Scopus, Google Scholar, IEEE Xplore, Springer, Wiley gibi çevrimiçi kaynaklardan 2019 yılına kadar uzanmaktadır.

2. Destek Vektör Makineleri (DVM)

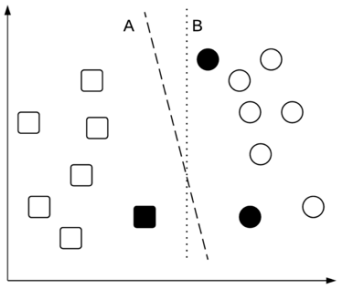
DVM'ler birden çok uygulama alanında en güçlü ve sağlam sınıflandırma ve regresyon algoritmalarından biri olması sebebiyle araştırmacılar arasında oldukça popüler bir algoritmadır. Ayrıca DVM yöntemi sınıflandırma yeteneğini geliştirmek ve parametreleri optimize etmek için evrimleşen diğer algoritmalar gibi, diğer gelişmiş yöntemlere de entegre edilebilir. DVM'lerin öznitelik sayısı fazla olan büyük veri kümelerinde, çoklu sınıflandırma ve dengesiz veri kümeleri üzerinde iyi performans göstermediği araştırmalar sonucunda öğrenilmiştir. Ancak DVM algoritmaları çeşitli bilimsel ve mühendislik alanlarındaki

ISBN: 978-625-6971-84-4

araştırmalarda ve uygulamalarda oldukça kabul gören bir algoritmadır. DVM, (Cortes &Vapnik, 1995) sınıflandırma ve regresyon problemleri için çekirdek tabanlı bir MÖ modeli olarak tanıtılmıştır. İkili sınıflandırma problemlerini çözmek için güçlü bir algoritma olduğundan, diğer denetimli öğrenme algoritmalarından da üstün olduğu kabul görmektedir (Cervantes vd., 2020).

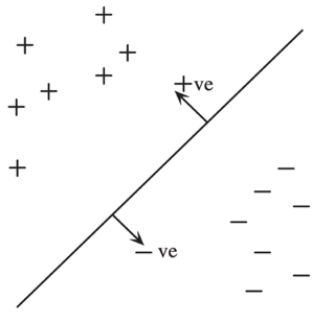
Bu bölümde DVM'lere kısa bir giriş yapıp, literatürde en sık kullanılan alt metodolojileri ele alınacaktır.

2.1. Marjin Maksimizasyonu ve İkili Sınıflandırma



Şekil – 2: İkili Sınıflandırma Problemi (Quitadamo vd., 2017)

Şekil 2'de karelerin birinci sınıfa nesneleri, dairelerin de ikinci sınıfa ait nesneleri temsil ettiği varsayılırsa, örnek çizgi A veya B çizgisi gibi sırasıyla sadece kareleri ve daireleri içeren bölgeyi ikiye ayırır. Şekilden görüldüğü üzere, A çizgisi B'ye göre daha iyi ayrım yapmaktadır. Bunun sebebi, daha iyi bir marj ile ayrım yapmasından kaynaklanmaktadır (Brachman vd., 2011).



Şekil – 3: Sınıflandırıcının karar fonksiyonu $w.x + b$ (Brachman vd., 2011).

$w.x + b = 0$'a karşılık gelen hiper düzlem Şekil 3'te düz bir çizgi olarak gösterilmiştir. Bu hiperdüzlem bir tarafta $y_i = (w.x + b \geq 0)$ denklemini sağlayan noktaları, diğer tarafta da $y_i = (w.x + b \leq 0)$ denklemini sağlayan noktaları ayırmaktadır.

İkili sınıflandırmada $y_i \pm 1$ noktalarına karşılık gelen x_i $(i = 1, \dots, m)$ elemanlarının sınıflandırma probleminde karar fonksiyonu Denklem 1'de ele alınmıştır (Brachman vd., 2011):

$$f(x) = sign(w.x + b). \quad (1)$$

$w.x + b = 1$ ve $w.x + b = -1$'den geçen hiper düzlemlerin arasındaki bölge *marjin* olarak adlandırılmaktadır. Bu nedenle, marjı en üst düzeye çıkarmak Denklem 2 ve Denklem 3'ü en aza indirgemekle eş değerdir (Brachman vd., 2011):

$$\frac{1}{2}\|w\|_2^2, \quad (2)$$

$$y_i(w.x_i + b) \geq 1, \forall_i. \quad (3)$$

DVM'lerde eğitim algoritması, çözümü küresel ve benzersiz olan Kuadratik Programlama (KP) ile çözülecek şekilde yeniden formüle edilir. Her x_i verisinin y_i'ye karşılık geldiği ve $(-1\ veya + 1)$ sınıflarına atandığı $(x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m) \in \mathbb{R}^N x\ \{-1, +1\}$ şeklinde giriş verisi olduğu varsayılmaktadır. Eğer bu veriler doğrusal olarak ayrılamazlarsa, dönüştürülen verilerin doğrusal olarak ayrılabileceği yeni bir özellik uzayı içinde doğrusal olmayan bir dönüşüm ile eşlenirler. Bu şekilde elde edilen nesne türlerini ayıran hiper düzlemler Denklem1, Denklem 2, ve Denklem 3'te ele alınmıştır.

Eğer veri noktaları birbirlerine çok yakınsa ve doğrudan ayırabilmek mümkün değilse, bu noktada çekirdek fonksiyonlarını Denklem 4 ve Denklem 5'te gösterildiği gibi kullanmak gerekmektedir (Toledo-Pérez vd., 2019).

$$F(\alpha) = \sum_{i=1}^{m} \alpha_i - \frac{1}{2}\sum_{j,k=1}^{m} \alpha_j \alpha_k y_j y_k K(x_j, x_k), \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{m} y_i \alpha_i = 0, C \geq \alpha_i \geq 0, i = 1, \dots, m. \quad (5)$$

ISBN: 978-625-6971-84-4

$K(x_j, x_k)$ Çekirdek fonksiyonu, Radyal Temel Fonksiyon (RTF), Gaussian, Polinom veya Lineer olabilir. Bir polinom çekirdek fonksiyonu Denklem 6'da ele alındığı gibi Lineer, Kuadratik, Kübik veya herhangi bir dereceye sahip (d) olabilir (Purushothaman & Vikas, 2018):

$$K_p(x_j, x_k) = (1 + x_j . x_k)^d. \quad (6)$$

RTF çekirdek fonksiyonu Denklem 7'deki gibi hesaplanır (Sukawattanavijit vd., 2017):

$$K_R(x_j, x_k) = exp(-\gamma \|x_j - x_k\|)^2. \quad (7)$$

Gaussian çekirdek fonksiyonu Denklem 8'deki gibi hesaplanır (Purushothaman & Vikas, 2018):

$$K_G(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (8)$$

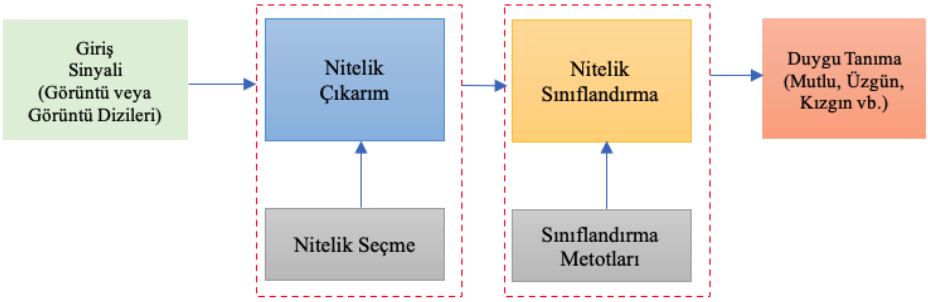
$\gamma = 1/2\sigma^2$, σ standart sapma.

DVM yönteminde ikiden fazla sınıfı sınıflandırmak için, iki farklı teknik kullanılabilir. Bire Karşı Bir (BKB), sınıflar arasında birer birer ayrım yaparak birinci kategori yalnızca başka bir kategoriye göre karşılaştırılır. Bire Karşı Hepsi (BKH) ise her sınıfı diğerlerinden ayırır (Toledo-Pérez vd., 2019).

3. İnsan Bilgisayar Etkileşiminde Destek Vektör Makinelerinin Kullanım Alanları

3.1. Duygu Tanıma (DT) Sistemlerinde Destek Vektör Makineleri

İnsan duyguları farklı durumlarda karar vermenin, problem çözmenin, iletişim kurmanın ve müzakere etmenin merkezi bir parçası olmasıyla birlikte nasıl düşündüğümüz, nasıl tepki verdiğimiz, nasıl davrandığımız konusunda günlük hayatımızda önemli bir konumdadır (Egger, vd., 2019). Duygular ve hisler birbirine benzese de duyguların pozitif, nötr ve negatif gibi kutupsallığı daha geniş bir anlam ifade etmektedir (Munezero, vd., 2014). Duygu, değişken bir yapı olup içsel ve dış fiziksel ifadelerle gözlemlenebilmesi sebebiyle fizyolojik değişikliklerle karakterize edilen zihinsel bir durumdur. Bu değişikliklerin izlenmesi, özellikle zihinsel engel geliştirmiş olanlar için, bir problemin erken tespit edilmesi ve önlenmesi açısından çok önemlidir. DT, Şekil-4'te gösterildiği gibi giriş sinyalleri yakalanıp özellik çıkarma ve sınıflandırma metotlarıyla işlenirler. Daha sonra duygular tanımlanır ve tespit edilir (Pal, vd., 2021).



Şekil – 4: İnsan Duygu Tanıma Sisteminin Temel Süreci (Pal vd., 2021)

İnsanın duygularının tanınması, İBE alanlarında bir insana uygun geri bildirim ve özelleştirilmiş etkileşimler sağlayarak karar veren makineler için zorlu bir görevdir. İnsan duygularını sözlü veya sözsüz olarak ifade edebilir bu sebeple insanla iletişim kurarken, bir makinenin her iki türden insan duygularını tanıyabilmesi gerekir. İBE'de duyguların ipuçlarını duygusal davranışlardan tanıyabilmek oldukça önemlidir (Hassan, vd., 2018; Kanjo, vd., 2018). İBE alanına geç dahil olan DT sistemi, insanın duygusal durumlarını dikkate alan kullanıcı dostu, etkili ve akıllı ara yüz oluşturmasına yardımcı olmuştur. İnsan duygularının ve hislerinin analizi son zamanlarda giderek popüler hale gelmiş olmasıyla birlikte güncel birkaç duygu analizine odaklanan araştırma çalışmaları

çeşitli derin öğrenme tekniklerine dayanmaktadır (Akhtar, vd., 2020; Basiri, vd., 2021; Cambria, vd., 2020; Peng, vd., 2021).

İnsan beynindeki fiziksel süreçler, belirli düşünce biçimleri ve duygusal davranışlarıyla değiştiği için araştırmacılar düşünceleri anlamak için fiziksel değişikliklere karşılık gelen insan beyninden çıkan sinyalleri kullanmaktadırlar (Mert & Akan, 2018). ElectroEncephaloGram (EEG) sinyalleri beynin fizyolojik süreçlerini anlamadaki popüler yaklaşımlardan biridir. Benzer şekilde, EEG sinyalleri merkezi sinir sistemi ile güçlü ilişkisi olan ve duygusal durum davranışlarına göre değişkenlik gösterebilmesi sebebiyle, otomatik duygu tanımada sıklıkla kullanılmaktadır (Alzoubi vd., 2012; Christie & Friedman, 2004; Martini vd., 2012; Picard vd., 2001).

EEG kullanılan İBE uygulamaları ise herhangi bir birimi kontrol etmek ve beyindeki gizli bilgileri keşfetmek için çalışılan bir alandır (Wu vd., 2011). DT için resim, müzik veya videolarla uyarılan doğru etiketlenmiş EEG sinyalleri elde edildikten sonra bir katılımcıya görsel bir uyaran gösterilir. Çok kanallı EEG sinyalleri kaydedilir ve daha sonra katılımcının derecelendirmesine göre etiketlenir (Mert & Akan, 2018).

EEG verileri başın hafif hareketi veya gözlerin yanıp sönmesi durumunda sinyallere gürültü eklediğinden dolayı çalışması zor olan bir veri çeşididir. Bununla birlikte, daha iyi sonuçlar elde etmek için uygun sinyal işleme tekniklerinin yanı sıra yüksek kalitede özellik çıkarımı gerektirdiği için oldukça karmaşık bir hal almaktadır. Sadece video verilerinin kullanılması durumunda da incelenen kişi gerçek duygularını gizlemek için yüz ifadelerini değiştirebileceğinden, direkt zihinden alınan EEG sinyalleri, yüz ifadesi verileriyle birleştirildiğinde daha iyi sonuçlar vermektedir.

(Moin, vd., 2022) çalışmalarında EEG sinyalleri, göz ve kafa hareketlerinden kaynaklanan yapay verileri ortadan kaldıran bağımsız bir bileşen analizi kullanmış olmalarıyla birlikte video verilerinde insan görsel bilgilerini de veri hazırlamak için işlemişlerdir. Videodan çerçeveler çizdikten sonra, sabit boyutlarda kırpıp bu çerçevelerden yüz algılamak için Viola-Jones algoritmasından yararlanmışlardır. Ardından tespit edilen yüzün görüntülerini gri tonlamaya dönüştürüp 64x128 boyutunda yeniden boyutlandırılmıştır. Nitelikler hem görsel hem de EEG verilerinden çizilmiştir. EEG verileri için çeşitli istatistiksel ve spektral özellikler çizilirken, görsel verilerin özelliklerini çıkarmada Yönlü Gradyanlar Histogramı (YGH) ve Yerel İkili Desenler (YİD) yöntemleri kullanılmıştır. Bu iki farklı yöntemden elde edilen özellik setini birleştirerek makine öğrenmesi yöntemleri olan DVM, K-En Yakın Komşu

(KYK), ve Topluluk Yöntemi (TY) kullanarak duygu sınıflandırması yapmışlardır. Önerdikleri modelin doğruluğunu değerlendirmek için farklı senaryolar üzerinde deneyler yapmışlardır. Tüm durumlar için 10-kat çapraz doğrulama gerçekleştirmişlerdir. Sinyalin toplam uzunluğu 60 sn. olduğu için 10 sn. segmentlere bölerek altı segment elde etmişlerdir. Benzer şekilde 20 sn. sinyal bölütleme için herhangi bir tekrar olmadan üç segment, 30 sn. segment için de 2 segment elde edilmiştir. Toplamda segment uzunluğu 10 sn. olan 6 segment, 20 sn. olan 3 segment, 30 sn. olan 2 segment ve 60 sn. olan 1 segment üzerinden üç farklı sınıflandırma yöntemi (DVM, KYK, TY) uygulamışlardır. Bu deney ile seçilen bir zaman segmentinin (10 sn., 20 sn. ve 30 sn. olan) daha alakalı veri içerip içermediğini kontrol etmek veya daha iyi doğruluk elde etmek için tüm sinyalin dahil edilmesinin ne kadar gerektiğini değerlendirmişlerdir. Yapılan deneylerin sonucunda en iyi doğruluğu 60 sn. sinyal uzunluğuna sahip olan segment ile elde etmişlerdir. DVM algoritmasında, EEG verisinde valans için %79,1, uyarılma (göz kırpma, göz-kafa hareketleri) için %76,9 doğruluk değeri elde etmişlerdir. Sadece videolardan oluşan veri kümesinde DVM algoritması valansta %94,2, uyarılmada %90,5 doğruluk değeri üretmiştir. Her iki veri kümesinin birleşiminde ise valansta %93,6 ve uyarılmada %89,5 doğruluk sonucu üreterek, en iyi sonucunu video veri kümesinde valansta elde ettiğini gözlemlemişlerdir.

EEG sinyalleri ile duygu tanıma yaklaşımları üzerine çalışırken, sinyallerin yüksek boyutlu olması duygu sınıflandırma algoritmalarının bu yüksek boyutluluktan etkilenmesine ve sınırlı kullanıma sebep olmaktadır. (Hassan vd., 2019), gerçek duyguları ayıklamak ve DT yöntemlerinin çeşitli sınırlamaları çözebilmek amacıyla, insan duygularını tanımada çok modlu fizyolojik sinyaller sunmaktadırlar. Elektro-Dermal Aktivite (EDA), FotoPletismoGram (FPG) ve Zygomaticus- ElektroMiyoGrafi (zEMG) sensörlerinden elde ettikleri sinyaller, mutlu, rahat, tiksinti, üzgün ve nötr olmak üzere toplam 5 temel duygu sınıfı içermektedir. Bu üç biyo-sensörün kaynaşmış fizyolojik sinyallerinin özelliklerini çıkarmak için, verilen örüntülerin gizli yapısı ve verilerdeki önemli özellikleri çıkarabilen katmanlı yapısı sebebiyle Derin İnanç Ağı (DİA) adı verilen derin öğrenme yöntemini kullanmışlardır. EDA, FPG ve zEMG sensörlerinin verileri önce füzyon adını verdikleri bir modülde toplayıp, bir araya getirip denetimsiz DİA modülünde eğitmişlerdir. DİA tarafından üretilen ayırt edici özelliklerle birlikte, özellik seviyesi füzyonu adını verdikleri modülde EDA, FPG ve zEMG istatistiksel özellikler de dahil edilerek Fine Gaussian-DVM (FG-DVM) modülüne gönderip, denetimli eğitim stratejisi ile eğitim gerçekleştirmişlerdir. Eğitilmiş FG-DVM modeli insan duygularını tanımak için

kullanmışlardır. İnsan duygularının sınıfları doğrusal olmadığı için Gauss çekirdeği ve 10 kat çapraz doğrulama kullanmayı tercih etmişlerdir. Duygusal durumlar arasında mutluluk duygusunun %100 doğrulukla sınıflandırmışlardır. Hassan, vd., tarafından önerilen bu modelde nötr duyguları diğer duygulardan ayırt ederken zorlandığını gözlemlemişlerdir. Bu sebeple, nötr duygu için, duyuşsal durumlar arasında %53 ile en düşük doğruluk sonucunu elde etmişlerdir. Bununla birlikte genel sınıflandırma doğruluğu %89,53 ile birçok çalışmadan (Koelstra vd., 2012; Liu, vd., 2008; Zhao, vd., 2016) daha iyi sonuç elde etmişlerdir.

EEG sinyalleri durağan sinyaller değildir. Elektroensefalograf tarafından toplandığı için her kanaldaki EEG sinyalleri duygu tanıma ve her kanal arasındaki korelasyon farklıdır. Bu sebeple, daha yüksek doğruluk elde etmek için (Chen vd., 2020), çeşitli özellikler yoluyla EEG'nin duygusal sınıflandırması için bir şema ve duygu tanımayı sağlamak için her kanal sınıflandırması için karar verme katman füzyonu önermişlerdir. Sınıflandırma füzyonu olarak Grid-Search (Hiperparametre optimizasyon aracı) yapmayı sağlayan bir DVM kütüphanesi olan LIBSVM kullanmışlardır ve bu füzyon Takagi-Sugeno bulanık modelini kullanmıştır. EEG verilerinden çıkan özellikler arasında Lempel-Ziv karmaşıklığı, dalgacık ayrıntı katsayısı, eş bütünleşme ilişkisi ve yaklaşık entropi bulunmaktadır. Önerilen EEG tabanlı duygu tanıma modelini üç adımda ele almışlardır. İlk adım olarak, EEG sinyallerini alıp önişleme yapmışlardır. Katılımcılar için, duygu tepkilerini ortaya çıkarmak ve EEG sinyallerini kaydetmek için video uyaranları kullanıp, elde edilen gürültüden arındırıp filtreleme yapmışlardır. İkinci adımda, ön işlemeden sonra EEG sinyalleri için Lempel-Ziv karmaşıklığının dört özelliği olan, dalgacık ayrıntı katsayısı, eş bütünleşme ilişkisi ve ortalama yaklaşım entropisini hesaplamış olup bu şekilde özellik değerlerini çıkartmışlardır. Üçüncü adımda, Duygu tanımaya dahil olan her EEG kanalı duygu sınıflandırması gereken bir model olarak kullanılmıştır. 2. Adımda elde edilen dört özelliği birleştirip, bu özellikleri eğitmek için LIBSVM sınıflandırıcısı kullanılarak her kanal için EEG tabanlı duygu sınıflandırması yapılmıştır. Ancak tek kanallı sınıflandırmanın sonuçları için, Sugeno bulanık mantık integralinden de faydalanmışlardır. Duygu tanıma sürecinde, tüm kanallar duygu tanımaya yeterli olmadığı için farklı kanal kombinasyonları da katılır ve tanıma sonuçları da farklıdır. LIBSVM çekirdek fonksiyonları için Lineer, Polinomial, Perceptron ve Gaussian çekirdeklerini kullanıp duygu tanıma hızı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. En yüksek doğruluğa sahip Gaussian çekirdeği seçilerek kanal kombinasyonu altında sınıflandırma eğitimi gerçekleştirmişlerdir. Önerilen metottun Valans boyutundaki ortalama duygu

tanıma doğruluğu %82,63 ve Uyarılma boyutundaki ortalama doğruluk oranı %74,88 olarak elde edilmiştir.

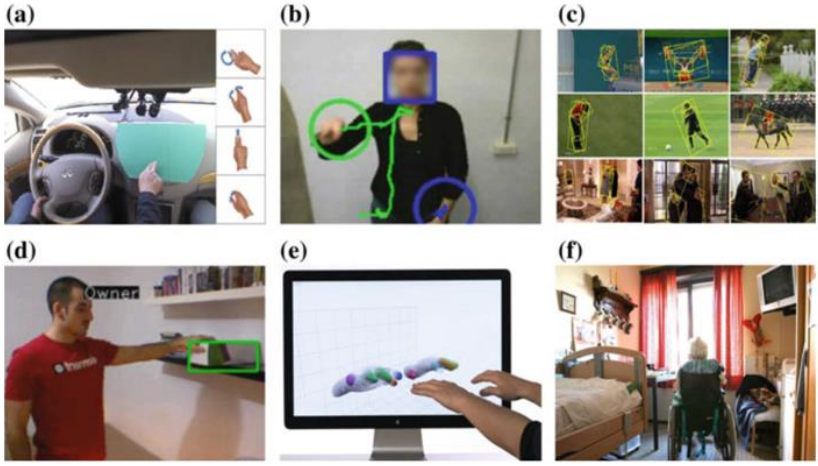
Kişinin ruh halini ve duygularını konuşma yoluyla ifade edebildiği için birincil iletişim araçlarından biridir. Kişisel dijital asistanlar, metinden konuşmaya çeviren modeller, sensörler vb. çok sayıda alanda konuşma ile ilgili teknolojik gelişmeler devam etmektedir. Konuşma esnasındaki duyguları tanıma (konuşmacıya bağımlı-bağımsız bir şekilde) oldukça ilgi çeken ancak çok boyutlu bir sorun olması sebebiyle zorlayıcı bir konudur. Çeşitli duygular farklı konuşma biçimlerinde farklı şekillerde aktarılabilmektedir. Bununla birlikte, konuşmadaki içsel duyguların analizini yapmak için konuşmadan hangi özelliklerin çıkarılacağını belirleme görevi başlı başına farklı bir problemdir. Bu problemi ele alabilmek için genellikle DVM'ler, Gizli Markov Modeli (GMM) veya sinir ağları tercih edilmektedir. DVM'ler bu noktada daha az çabayla oldukça başarılı tahminler sağlarken, sinir ağları ve GMM'ler hem eğitim zorluğu hem yüksek hesaplama gücü hem de zaman gerektirir. (Bhavan vd., 2019), geliştirdikleri yaklaşımda konuşmadan duygu tanıma sorunu üzerinde torbalanmış DVM'lerin performansını incelemişlerdir. Torbalanmış DVM modelini eğitim örnekleriyle besledikten sonra çoğunluk oylama kuralı kullanarak nihai tahminleri birleştirip karar verme işlemini yürütmüşlerdir. Modeldeki DVM çekirdeğini Gauss olarak ele alıp ceza değerini 100 ve çekirdek katsayısını da 0,1 olarak belirlemişlerdir. Bu DVM'lerden 20 tanesini eğitim örneklerinden özellik setinin alt kümeleri olarak örnek alınacak şekilde bir torba grubunda birleştirmişlerdir. Daha sonra eğitim örnekleri kümesinden her iterasyonda rastgele 20 örnek çekmiş ve paralel bir şekilde eğitmişlerdir. Önerdikleri modeli çeşitli üç farklı ses veri kümesinde eğitip en yüksek değeri %92,45 doğruluk oranı ile 147 özniteliğe sahip bir ses veri kümesinde elde etmişlerdir. 183 özniteliğe sahip veri kümesinde %75,69 ve 403 öznitelikli veri kümesinde %84,11 doğruluk değeri elde etmişlerdir.

3.2. Hareket Tanıma (HT) Sistemlerinde Destek Vektör Makineleri

Hareketler, kasıtlı eylemlerin, işaretlerin, sinyallerin, bilinçaltında niyetleri veya tutumları açığa çıkarmanın bir parçası olarak üretilmektedir. HT Sistemleri, vücudun tüm bölümlerinin hareketini içerebilirler ancak hareket ve iletişim için kollar ve eller gerekli olduğu için genellikle çalışmaların odak noktaları el veya kol hareketleridir. Yüz ifadeleri de jest olarak kabul edilir ve iletişimde önemli ipuçları sağlar. HT Sistemleri İBE, İnsan Robot Etkileşimi (İRE), iletişim, eğlence, güvenlik, sanat, ticaret ve spor gibi sayısız teknolojik, sosyal ve sağlık alanında uygulamalarda Şekil 4'te kısa örneklemelerle yer almaktadır (Escalera vd., 2017). Hareket tanıma, bir bilgisayarın insan vücut dilini anlaması için

ISBN: 978-625-6971-84-4

önemli bir adımdır. Akıllı TV kontrolü, video oyunları, tele-cerrahi ve sanal gerçeklik gibi çok çeşitli İBE uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır (Kausar vd., 2011).



Şekil – 4 (Escalera vd., 2017): Bazı Hareket Tanıma Uygulamaları. **a)** Sürücü Asistanı Hareket Tanıma (Ohn-Bar & Trivedi, 2014) **b)** İşaret Dili Tanıma **c)** İçerik Alma ve Sınıflandırma için Eylem/Hareket Tanıma **d)** Gözetim HT Uygulamaları **e)** İnsan bilgisayar/robot/makine Etkileşimi **f)** Engelli Kişiler için Yardımcı Teknoloji.

Son yıllarda kas hastalıklarının tanısında, spor hekimliğinde, rehabilitasyon mühendisliği gibi alanlarda giderek yaygın kullanılmaya başlayan ElektroMiyoGrafi (EMG), kas aktivitesini yansıtan bir biyoelektrik sinyaldir. Uzuvların eklem hareketlerine karşılık gelen kas gruplarının sinyallerini, ilgili hareketin iskelet kası aktivite bilgilerini yakalar. Buna karşılık gelen sinyaller, insan eklemlerinin uzama ve bükülme derecesini yansıtır. Hareketin tamamlanma sürecinde uzuvların şeklini, konumunu ve hareketini yansıtması sebebiyle EMG sinyalleri farklı insan hareketlerini tanımlayabilir. İnsanlar için bilgiyi iletmenin en yaygın kullanılan yolu olan hareketlerin doğru tanınması için çok önemlidir. Bu sebeple sınıflandırıcı seçimi, hareket tanıma doğruluğu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Li,vd., 2020). Birçok araştırmacı tarafından EMG kullanarak hareket tanıma konusunda çok sayıda araştırma yapılmıştır (Qi vd., 2019; Quitadamo vd., 2017; Toledo-Pérez vd., 2019). Yüzey EMG (yEMG) toplama ekipmanı, cilt yüzeyi tarafından üretilen elektrik sinyallerini depolayıp filtreler (Jiang vd., 2022). yEMG tarafından başparmak hareketini tanımada kullanılan

elektrot fazlalığı sorununu istatistiksel varyans teorisi yöntemiyle çözülerek İBE sürecini optimize etmeye yardımcı olur. yEMG sinyal alma ekipmanları genel olarak basit olsa da çok azı belirli bölümlerin belirli eylemleri için özel olarak tasarlanmıştır. Özel veya detaylı eylemleri toplamak için genel ekipmanlar kullanıldığında araya karışan gereksiz sinyaller veri işleme ve tanıma zorluğunu artırmaktadır (Al-Hammadi vd., 2020; Guo vd., 2021)

(Sun vd., 2020), sinyal alma sürecinde gereksiz verileri ortadan kaldırmak için istatiksel teori kullanmışlardır. 16 kanallı yEMG toplama ekipmanı ile 9 hedefin ince parmak hareketi belirlenerek orta yedek elektrotları elde etmişlerdir. Bu sayede donanım ekipmanının maliyetini azaltmakla birlikte, elektrot dağılımını da optimize etmişlerdir. Ek olarak veri işleme miktarını azaltıp zamandan da tasarruf sağlamışlardır. Birleşik Krallık Portsmouth Üniversitesi'nin akıllı sistem ve biyomedikal robot grubu tarafından geliştirilen ekipman çeşitli kuru ve ıslak elektrotlar, Bluetooth ile uyumlu yürüyüş analizi, kas yorgunluğu analizi, jest tanıma vb. gibi 16 kanallı yüksek çözünürlüklü örnekleme teknolojisine sahiptir. Deneyde kullandıkları 2250 verinin %90'ı eğitim, geri kalanı test verisi olarak 10 kat çapraz doğrulama ile kullanılmıştır. Önce dinamik hareketler belirlenerek ham veriler toplanır, filtrelenip aktif segment tespiti ve öznitelik seçimi yapmışlardır. Ardından, varyans teorisi ile her bir kanal elektrotunun fazlalığını hesaplayıp, üç tip yedek elektrot kombinasyonu oluşturmuşlardır. Ana akım uzuv modelini çeşitli yapay sinir ağı tabanlı algoritmalarla ve DVM algoritması ile teker teker eğitmişlerdir. Bunların arasında DVM'nin başarılı sınıflandırma performansı EMG alanındaki yaygın kullanımını doğrulamışlardır. DVM algoritmasını referans sınıflandırıcı olarak seçip doğruluk oranını değiştirmeyen 12., 13. ve 14. Kanallarını kaldırarak eğitim süresinin yaklaşık %20 oranında azaldığını gözlemlemişlerdir. Geri kalan 13 kanal üzerinde veri kümesi DVM ve Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağı (GRSA) ile 10 farklı sınıfa ayrılmıştır. Sınıflandırma sonuçlarında DVM'nin GRSA'ya göre oldukça baskın sonuçlanan başarısını yaklaşık %98'e ulaşan doğruluk oranı ile elde etmişlerdir.

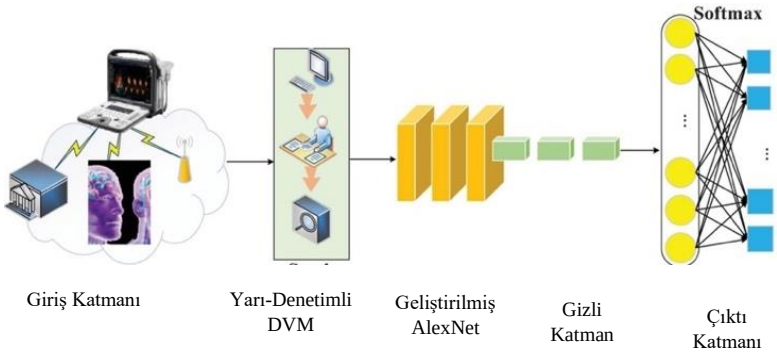
3.3. Örüntü Tanımada (ÖT) Destek Vektör Makineleri

ÖT teknolojisi, yüz tanıma, İBE, görüntü videosunun içerik kodlaması, biyometrik analizi gibi çeşitli kullanım alanlarına sahiptir (Teja Chavali vd., 2023). İBE uygulamalarında ÖT sistemleri çoğunlukla tıbbi teşhis koyma yardımı için sağlık alanlarında kullanılmaktadır. Yapılan birçok çalışmanın neticesinde teknolojinin de oldukça hızlı ilerlemesi ile birlikte sağlık alanında çeşitli dallarda İBE çalışmaları oldukça geniş bir alanda yer almaktadır.

Geliştirilen akıllı tıp teknolojileri ile sağlık izleme teknikleri klinik tanıda önemli bir rol oynamaya başlamıştır.

Obsesif Kompulsif Bozukluğu (OKB) biyolojik bir temele dayanmaktadır ve hastalarda önemli psikolojik sıkıntılar yaratabilir. OKB teşhisi, tedavi yanıtı, azaltma tahmini ve şiddet tahmini gibi makine öğrenimi yaklaşımları literatürde geniş çapta ele alınmaktadır (Askland vd., 2015; Hoexter vd., 2013; Lenhard vd., 2018; Salomoni vd., 2009). Bunlardan ilham alarak (Shrivastava vd., 2019), çalışmalarında üç sınıf için (OKB, etkilenmemiş Birinci Derece Akrabaları (BDA) ve Sağlıklı (S)) farklı modelleri makine öğrenmesi algoritmaları olan KYK, Rastgele Ağaçlar (RA), Lineer Diskriminant Analizi (LDA), Lineer çekirdekli DVM (DVML) ve Radyal çekirdekli DVM (DVMR) sınıflandırma algoritmalarını kullanmışlardır. Tüm modellerin performansını 10 kat çapraz doğrulama ile hesaplamışlardır. DVMR ile osbMarkör adını verdikleri işaretleyiciler ile OKB, BDA ve S olarak üç farklı sınıfa ayırmışlardır. Kullandıkları diğer sınıflandırıcı yöntemlerine göre DVMR ile %93 doğruluk oranına ulaşmışlardır. BDA'nın tespit edilmesi bir bireyin OKB'ye genetik olarak yatkınlığını anlamakta kullanıldığı için DVMR metotu ile OKB ve OKB olmayan örnekleri sınıflandırmada da %97 doğruluk oranını elde etmişlerdir. Tüm bunların ışığında DVMR sınıflandırması aracılığıyla OKB teşhisi koyabilineceğini öne sürmüşlerdir.

ÖT yöntemi, beyin görüntü füzyonunun gerekli adımlarından birisi olup görüntü özelliklerini bölümlere ayırarak çıkartır. Literatürde beyin görüntü özelliklerini çıkarmak için Bölge Büyütme (BB), Düzey Belirleme, Bulanık Kümeleme ve Makine Öğrenmesi (MÖ) mevcuttur (Aheleroff vd., 2020; Angin vd., 2020; Li vd., 2020; Liu vd., 2019; Pan vd., 2021). Beyin tümörü görüntü alanında (Wan vd., 2021) çok sayıda beyin görüntüsünü yarı-denetimli DVM metodunu hem etiketlenmemiş hem de etiketlenmiş veriler üzerinde uygulamışlardır. Beyin görüntülerinden veri özelliklerini çıkarmak için, derin Konvolüsyonel Sinir Ağı (KSA) modeli olan AlexNet'in konvolüsyonel katmanındaki işlevsellliğini arttırarak yarı-denetimli DVM ve geliştirilmiş AlexNet'e dayalı bir beyin görüntüsü dijital ikiz taşhis ve tahmin modeli geliştirmişlerdir. Şekil-2'de diyagramı verilen modelin güvenlik performansını göz önünde bulundurarak tasarlamışlardır.



Şekil – 5: Yarı-Denetimli DVM ve geliştirilmiş AlexNet'e dayalı beyin görüntüsü dijital ikiz tanı ve tahmin modeli diyagramı (Wan vd., 2021)

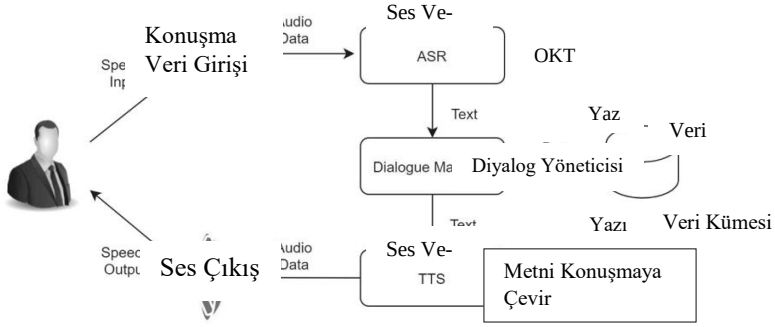
Önerilen bu modelde performans karşılaştırması yaptıkları (yani, AlexNet, Uzun Süreli Kısa Bellek (USKB), KSA, Özyinelemeli Sinir Ağı (ÖSA) ve Çok Katmanlı Algılayıcılar (ÇKA)) diğer yöntemlere göre en az %2,76 iyileştirme ile %92,52 doğruluk oranına ulaşmış olup Kesinlik, Geri çağırma ve F1 Değerinde de en yüksek değerleri elde etmişlerdir. Böylelikle yarı-denetimli DVM ve geliştirilmiş AlexNet'e dayalı olarak önerilen modelin beyin görüntüsü dijital ikizleri teşhis ve tahmin etmede mükemmel tanıma ve tahmin doğruluğu sağladığını ortaya koymuş olmalarına rağmen, beyin tümörlerini derecelendirememişlerdir.

3.4. Konuşma Tanıma Sistemlerinde Destek Vektör Makineleri

Sözlü İBE teknolojileri, ya basit komut tanıma, işleme ve geri bildirim ya da makinenin kendisine yönetilen soruları anlayabileceği ve diyaloğa uygun bir şekilde cevap verebileceği karmaşık diyalogları varsayar. Otomatik Konuşma Tanıma (OKT) sistemi, sözlü ifadelerin DDİ ile ayrıntılı analiz edilecek metne dönüştürülmesinde önemli rol oynamaktadır. Bununla birlikte bu sistemlerde, tanınan metnin doğruluğu ile gereken hesaplama süresi arasındaki denge insan deneyimini etkileyeceği için çok önemlidir. Bu sistemlerde, düşük doğruluk robotun talebi işleyemeyeceği ve hatalı geri bildirime yol açacağı anlamına gelirken, yüksek işlem süresi robotun insan kullanıcıya yavaş görünmesine neden olarak potansiyel etkileşimi sürdürmeye olan ilgiyi azaltacaktır. Konuşmaya dayalı bir diyalog sistemi, uygulama türü fark etmeksizin (robot uygulaması, çevrimiçi sohbet robotu vb.) sorguların insan sesi kullanılarak gerçekleştirilmesine ve sentezlenmiş konuşma yanıtlarının aynı kullanıcıya geri gönderilmesine izin vermelidir. Şekil-6'da konuşma tanıma teknolojilerinin genel mimarisi gösterilmiştir. Makineyle iletişime giren insan kullanıcılar kendi

ISBN: 978-625-6971-84-4

seslerini kullanarak sistemin aslında geliştiricisi olurlar. Sistem performansının daha önce görülmemiş verilerle test edilmesi büyük bir önem taşırken konuşma tanıma uygulamalarında performans sadece yeni cümleler üzerinden değil, yeni konuşmacılar üzerinden değerlendirilmektedir (Vasile-florian vd., 2022).



Şekil – 6: Konuşma Tanıma Sistemlerinin Genel Mimarisi

(Ismail vd., 2020) yaptıkları çalışmada yaşlı insanlar, hastalar ve engelli insanlara kolay bir kontrol sistemi sağlamak için konuşma tanımaya dayalı çözüm geliştirmişlerdir. Akıllı evlerde ve hastanelerde kurulu Nesnelerin İnterneti (Nİ) cihazlarına kolayca erişmek için konuşma tanıma ile düşük maliyetli bir sistem oluşturmuşlardır. DVM algoritması ile zaman serilerinin benzerlik ölçümünde sıklıkla kullanılan Dinamik Zaman Bükme (DZB) algoritmasını hibritlemişlerdir. Bu hibrit algoritma (DVM-DZB) ile eğitim için çok fazla veri kümesi gerekmeden, yalnıza temel konuşma komutunu ve bunların şablonlarını içeren veriyi önceden tanımlanmış bir sözlük ile kullanarak kullanıcı komutlarıyla şablon komutlarını otomatik eşleştirebilmişlerdir. Önerdikleri sistem, kullanıcı komutuna ve kayıtlı konuşma şablonlarıyla eşleşmeye dayalı olduğu için akıllı telefona bağımlı bir sistem olması sebebiyle akıllı telefonun mikrofonunu ve sesli komut eşleştirmeyi kullanarak (bu komutları tanıması için) sistemi eğitmek üzere bu komutları farklı ev aletlerine kaydetmeyi önermektedirler. İlgili sistemin kullanıcının komutlarını tanıyabilmesi için önceden tanımlanan kullanıcı komutlarından oluşan sözlüğe, yaşlılardan, hastalardan veya engelli kişilerden gelen sesli komutları eşleştirmek için makine öğrenimi modeli kullanmışlardır. Modelde, her komut ve tanımlı kategorisi arasındaki eşleşme için DZB, vektörler arasındaki yerel mesafeyi ölçmek için de DVM kullanmışlardır. Konuşma tanıma performansını test etmek için toplam 20 kadın ve erkek 18-28 yaş grubundaki konuşmacıdan 10 veri içeren ses kayıtlarında “mutfak, kapı,

buzdolabı, açık, kapalı klima" gibi kontrol ifadelerine yer vermişlerdir. Toplam 200 kayıt içeren veri kümesinde DVM-DZB hibrit algoritması %97 doğruluk oranına ulaştığını gözlemlemişlerdir.

3.4.1. Eğitim Alanında Destek Vektör Makineleri

Bilgisayar Destekli Öğrenim (BDÖ) geleneksel öğrenme araçlarının yanı sıra multimedya yoluyla (bilgisayar destekli testler, bilgisayar destekli test ve öğretim teknikleri gibi etkileşimler) eğitim tekniklerini kullanmaktadır. Bu stratejiler öğrencilerin bilgi ve beceri gelişimini artırmasına yardımcı olur. Ancak BDÖ'nün bilgi eksikliği bilim ve teknolojideki hızlı ilerleme ile gelişememiştir. Bu sebeple (Ramesh vd., 2023) çalışmalarında, bu dezavantajların üstesinden gelmek için Doğal Dil İşleme (DDİ) teknikleriyle birlikte MÖ tekniklerini birleştirerek bir eğitim asistanı (yani, Yazılım Testi için Eğitim Asistanı (YTEA)) tanıtmışlardır. YTEA ile sunulan derslerin, eğitmenlerin veya öğrencilerin kendi ilgi alanlarına göre sıralanmasıyla öğrencilere yetenekleriyle eşleşen ve uyum yeteneklerini geliştiren tekniklerle eğitim imkanı tanımakta olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmanın verileri üç farklı kaynaktan alınmış olup: ilk olarak büyük açık kaynak topluluğu tarafından paylaşılmış olan hata raporu, ikincisi, Alibaba, Ming Li, New oryantal eğitim, Vivo, Xiaomi, Samsung gibi farklı kuruluşlardan alınan hata raporları ve üçüncüsü ise öğrencilerin günlük görevlerinde yaptıkları hataların toplanmasından oluşmaktadır. Tespit edilen hatalar genelde performans hataları, çökmeler, derin öğrenmeye dayalı hatalar, bulut hataları ve işlevsel hatalar olmuştur. Bu veri kümeleri hata karmaşıklığı, öncelik, önem, regresyon, hata yorumları, kod hatası, yapılandırma, uzunluk, ekran görüntüsü, yığın izleme, ek, sürüm bilgisi ve tasarım kusurları gibi farklı öznitelikler içermektedir. Çalışmada, hata raporlarında hatalara neden olan parametreleri analiz etmek için yeni bir hibrit sınıflandırıcı yöntemi geliştirmişlerdir (yani, Grup Arama Optimizasyonu (GAO), KYK ve DVM algoritmalarının hibritleştirilmesi). GAO yöntemini veri seyrekliği problemini azaltmak K, C ve Gamma parametrelerinin en uygun değerleri için kullanmışlardır. Önerdikleri yöntemin açık-kaynak topluluğundan (AKT) elde edilen hata raporları veri kümesinde %96, farklı mobil kuruluşlarından (MK) aldıkları hata raporlarını içeren veri kümesinde %94 doğruluk oranı ile başarısını ölçmüşlerdir. Aynı zamanda bu iki veri kümesinde sırasıyla Ortalama Kare Hatasını (OKH) %4,58 ve %6,05, Çalışma süresini 9,58 sn. ve 8,95 sn., Hassaslığı %96 ve %94, Özgüllüğü %95,1 ve %93,54. F Değeri ölçümlerini de %95,2 ve %93,64 olarak ölçmüşlerdir.

3.4.2. Giyilebilir Teknolojilerde Destek Vektör Makineleri

Esnek ve giyilebilir algılama cihazlarına dayalı gerçek zamanlı sağlık izleme alanı hem akademik hem de endüstriyel alanda önemli bir konu haline gelmiştir. Cihazların içerisindeki sensörler, insan fizyolojisini gerçek zamanlı yansıtabilir. Yapay zekâ ve İBE'nin gelişimiyle son yıllarda giyilebilir cihazlara olan ilgi giderek artmaktadır. Esnek teknolojik ürünler esnemeye ve taşınabilirliğe sahip olmasıyla geliştirilebilirliklerini giderek arttırmaktadır (Li vd., 2020). Giyilebilir sensörler yeni zorluklar getiren ve iyi tasarlanmadığında takması zahmetli olabilecek alternatif çözümlerdir (Simão vd., 2019).

Kimyasal piller sık sık şarj edilmeleri gerektiğinden enerji sağlama sorunları halen devam etmektedir. Kendi kendine çalışan giyilebilir sensörler bu soruna ideal bir çözüm olabilir. Triboelektrik nano-jeneratörler (TENJ) esnek elektronik cihazlarda enerji sorunu çözebilmek için dağınık ve düzensiz düşük frekanslı mekanik enerjiyi toplayabilir. Oldukça esnek bir malzeme olan hidrojel, çok işlevliliğe, iyi biyo-uyumluluğa sahiptir. Bu nedenle, hidrojel elektrotlara dayalı TENJ'ler biyotıp, enerji hasadı, enerji depolama, dokunma algılama ve İBE alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. (Zhang vd., 2023) çalışmalarında, çift ağ hidrojel olan PSTM Hidrojeli ve TENJ'leri kullanarak eldiven tabanlı İBE sistemi oluşturmuşlardır. PSTM-TENJ'in çok boyutlu sinyal özellikleri, İBE tarafından çıkartıp analiz etmişlerdir ve robotun el kontrolünü ve hareketleri görselleştirmişlerdir. Tasarladıkları bu akıllı eldiven, Temel Bileşen Analizi (TBA), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ve DVM yöntemlerini hibritleyerek %98,7 doğruluk oranıyla nesne sınıflandırması ve tanıması gerçekleştirmişlerdir. Böylelikle, PSTM-TENJ tabanlı eldivenin, MÖ teknikleri yardımıyla nesne sınıflandırması ve tanıması gerçekleştirilebileceğini kanıtlamışlardır.

3.4.3. Görüntü Tanımada Destek Vektör Makineleri

Görüntü işleme, bir görüntüyü daha iyi hale getirmek veya içerisindeki önemli bilgileri elde etmek için kullanılan çeşitli tekniklerin bir arada uygulanmasına verilen addır. Bu teknikler, görüntüyü iyileştirmek, düzenlemek, sıkıştırmak, segmente etmek ve özellik çıkarmak gibi farklı amaçlar için kullanılabilir. Görüntü işleme, görsel verilerin işlenmesi ve analiz edilmesi açısından önemli bir rol oynamaktadır (Liang vd., 2019; Raghuvanshi vd., 2022). Görüntü işleme, tarım dahil birçok sektörde faydalı bir teknolojidir ve etkisi kanıtlanmıştır. Tarımda, kameralar, uçaklar ve uydular gibi araçlar tarafından yakalanan görüntüler, bilgi toplamak için işlenir. Görüntü işleme teknikleri kullanılarak, bilgisayarlar bu görüntüleri analiz eder ve çeşitli tarımsal problemleri çözmek için kullanılır. Bu yöntemler, hastalıklı yaprakların, gövdelerin ve meyvelerin

tespit edilmesi, hastalıklı alanların ölçülmesi ve görüntülerin renk, şekil ve boyutuna göre teşhis yapılması gibi birçok alanda kullanılabilir. Tarımda verimliliği artırmak ve ürün kayıplarını azaltmak için görüntü işleme önemli bir araçtır (Ji vd., 2020; Kaur vd., 2019).

(Ansari vd., 2022) üzüm yaprak hastalıklarının tespiti ve sınıflandırılmasında kullanılan geliştirilmiş bir DVM ve görüntü işleme yöntemi hakkında detaylı bir açıklama sunmaktadır. Çalışmada, DVM algoritmasının doğruluğunu artırmak için bir özellik seçimi yöntemi olan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) (PSO-DVM) kullanılmaktadır. Bu yöntem, RGB, LAB ve HSV renk uzaylarında yer alan ve yaprak hastalıklarını belirlemek için önemli olan özellikleri belirlemektedir. Çalışma, DVM ve görüntü işleme yöntemlerinin birleştirilmesinin, yaprak hastalıklarının tespitinde ve sınıflandırılmasında önemli bir başarı sağladığını göstermektedir. Deney sonuçlarına göre, PSO-DVM yönteminin diğer benzer yöntemlere göre %97 doğruluk oranı ile daha yüksek doğruluk elde edilmiştir. Bu çalışma, yaprak hastalıklarının tespiti ve sınıflandırılması için geliştirilen DVM ve görüntü işleme yöntemlerinin etkili bir şekilde kullanılmasıyla tarım sektöründe önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir.

Derin Öğrenme Tabanlı (DÖ-Tabanlı) veya MÖ-Tabanlı algoritmalara DVM yönteminin dahil edildiği yukarıdaki araştırmalar ve İBE akıllı sisteminde benimsenen çoğu teknoloji kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. Bunlara göre DVM'nin çalışmaları iyileştirme etkisi Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo – 1. DVM yönteminin İBE sistemlerindeki teknolojik gelişim durumu.

Yazar ve Yılı	*Araştırma Alanı*	*Araştırma Yöntemleri*	*Sonuçlar*	*Analiz*
(Bhavan vd., 2019)	Konuşmadan DT	Torbalanmış DVM	Torbalanmış DVM ile %92,45 doğruluk değeri.	Konuşmadaki içsel duyguların analizi
(Shrivastava vd., 2019)	Örüntü Tanıma	KYK, RA, LDA, DVML, DVMR	DVMR ile %97 sınıflandırma doğruluk değeri.	Bireyin biyolojik yatkınlığına göre OKB sınıflandırması
(Hassan vd., 2019)	EEG sinyalleriyle DT	EDA, FPG, zEMG, FG-DVM	FG-DVM ile %89,53 genel sınıflandırma doğruluk değeri.	İnsan duygularını sınıflandırma
(Ismail vd., 2020)	Konuşma Tanıma	DVM-DZB Hibrit algoritması	DVM-DZB ile %97 doğruluk değeri	Nİ aracılığıyla konuşma tanıma

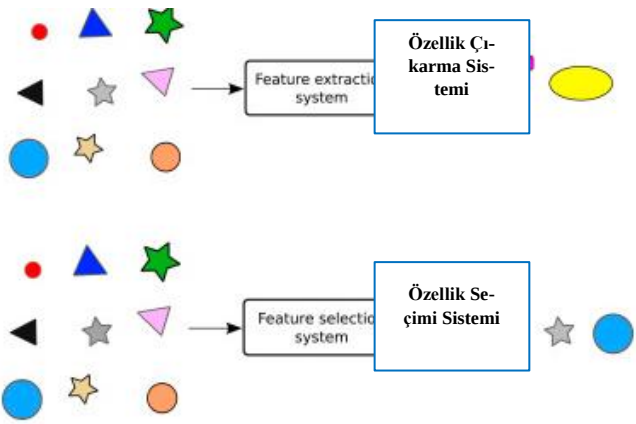
(Chen vd., 2020)	EEG sinyalleriyle DT	LIBSVM, Takagi-Sugeno Bulanık Modeli	Valans boyutunda %82,63, Uyarılma boyutunda %74,88 doğruluk değeri.	İnsan duygularını sınıflandırma
(Sun vd., 2020)	yEMG ile Jest Tanıma	DVM ve GRSA	DVM ile %98 doğruluk oranı.	En iyi başparmak hareketi örüntü tanıma yöntemi
(Wan vd., 2021)	Örüntü Tanıma	Yarı-denetimli DVM ile hibritlenen geliştirilmiş AlexNet	%92,52 doğruluk oranı	Özellik tanıma, teşhis ve tahmin performansları
(Moin vd., 2022)	EEG sinyalleriyle DT	DVM, KYK, TY	Valans boyutunda %93,6 ve Uyarılma boyutunda %89,5 doğruluk oranı.	EEG sinyallerinde uyarılmadan kaynaklı yapay verileri ortadan kaldıran bağımsız bileşen analizi
(Ansari vd., 2022)	Tarımda Görüntü Tanıma	PSO-DVM	%97 doğruluk oranı	Üzüm yaprağı hastalık tanıma
(Ramesh vd., 2023)	Eğitim	Hibrit GAO, KYK ve DVM algoritmaları	AKT veri kümesi %96, MK veri kümesi %94 doğruluk oranı.	DDİ ve MÖ tekniklerini birleştirerek eğitim asistanı.
(Zhang vd., 2023)	Giyilebilir Teknoloji	Hibrit PSO ve DVM	%98,7 doğruluk oranı	PSTM-TENJ'in çok boyutlu sinyal özellikleri.

Tablo 1'e göre araştırmacılar son beş yılda DVM'nin güçlü öğrenme yeteneği ve diğer MÖ-Tabanlı ve DÖ-Tabanlı algoritmalarla uyarlanabilirliğinden faydalanarak konuşma tanıma, duygu tanıma, eğitim, sağlık, jest tanıma gibi çeşitli alanlarda dikkate değer başarılar elde etmişlerdir. Literatürdeki MÖ-Tabanlı ve DÖ-Tabanlı yöntemleri DVM ile hibritleyerek mevcut algoritmaların başarılarını artırmışlardır. Böylelikle İBE alanında kullanımını daha yaygın hale getirmişlerdir. Araştırma alanı fark etmeksizin (Sağlık, Teknoloji, Eğitim, Tarım vb.) DVM yöntemi İBE ile birleştiğinde daha yüksek doğruluk sağlamaktadır.

4. Özellik Seçimi Algoritmaları

Özellik seçimi, veri analitiğinde ve makine öğrenmesinde kullanılan bir tekniktir. Veri kümesindeki değişkenlerin (özelliklerin) sayısını azaltarak, daha az sayıda ve daha önemli olan özelliklerin seçilmesini ve kullanılmasını sağlar. Böylelikle model performansını artırarak daha iyi sonuçlar elde etmeyi amaçlar. Bu işlem, veri setindeki gereksiz veya önemsiz özellikleri elemek, modelin karmaşıklığını azaltmak ve aşırı uydurma sorununu önlemek için yapılır. Ayrıca veri setindeki özelliklerin yalnızca bir alt kümesini kullanarak, modelin daha hızlı ve daha verimli çalışmasını sağlar. Bu da özellikle büyük veri setleri için önemlidir. Veri kümesindeki özelliklerin yüksek korelasyon, sıklıkla, geleneksel

özellik seçim yöntemini kararsız hale getiren ve böylece seçilen özelliklerin güvenini azaltan, kararsızlığa yol açmaktadır. Kararlılık, eğitim örneklerinin bozulmasına karşı ürettiği özellik tercihlerinin sağlamlığı olmasıyla birlikte, özellik seçim yönteminin tekrar üretilebilirlik gücünü gösterir. Özellik seçim performansını değerlendirirken, özellik seçim algoritmasının yüksek kararlılığı, yüksek sınıflandırma doğruluğu kadar önemlidir (Khaire & Dhanalakshmi, 2022).



Şekil – 7: Özellik Seçme Şeması (Remeseiro & Bolon-Canedo, 2019).

Çok sayıda girdi özelliğiyle uğraşırken sıklıkla kullanılan bir çözüm olan, özgün sorunun boyutsallığını azaltmak için özel teknikler kullanmaktır, bu da genellikle öğrenme performansını artırır. Boyut indirgeme teknikleri özellik seçme ve özellik çıkarma yöntemlerine ayrılır. Aralarındaki temel fark, özellik çıkarmanın orijinal özellikleri bir araya getirmesi ve bir dizi yeni özellik yaratmasıdır. Özellik seçiminin ise Şekil 7'de görüldüğü gibi orijinal özelliklerin bir alt kümesini seçmesidir. Her iki tekniğin de avantajları ve dezavantajları elbette bulunmaktadır (H. Liu vd., 2012).

Özellik çıkarmanın ayırt edici gücü daha iyidir çünkü yeni özellik kümesinin özellik seçiminden kaynaklanandan genellikle daha küçüktür. Bu nedenle, tipik olarak görüntü analizi, sinyal işleme ve bilgi alma gibi alanlarda kullanılan özellik çıkarma, görselleştirme için daha kullanışlıdır. Bununla birlikte, bir dezavantaj, özellik kombinasyonlarının fiziksel bir anlamı olmayabilir, bu nedenle özellik çıkarımı, güvenilir yapay zekanın gelişimi için gerekli olan

okunabilirlik, yorumlanabilirlik ve şeffaflık açısından iyi bir yaklaşım değildir (Russell, 2020).

Orijinal özelliklerin bir alt kümesini oluşturan özellik seçimi, yorumlanabilirlik ve bilgi çıkarmanın çok önemli olduğu durumlarda avantajlıdır, ancak bazen bu, doğruluk değerinin düşmesine sebebiyet verebilir (Remeseiro & Bolon-Canedo, 2019).

Çıktıya bağlı olarak, özellik seçme yöntemleri ya bireysel ya da özelliklerin alt küme değerlendirmesini kullanarak çalışır. Bireysel değerlendirmelerde, özellikler ayrı ayrı değerlendirilir ve ilgilerini yansıtan bir ağırlık verilir. Alt küme değerlendirmelerinde ise, aday özellik alt kümeleri, en iyi özelliği seçmek için belirli bir ölçü kullanılarak değerlendirilir. Özellik seçme yöntemleri, öğrenme yöntemiyle olan ilişkisine bağlı olarak filtreler, gömülü yöntemler ve sarmalayıcılar olarak da sınıflandırılır (Guyon & Elisseefl, 2006). Filtreler herhangi bir öğrenme yönteminden bağımsız ve odak noktası verilerin genel özellikleri olurken, tümevarım algoritmasından bağımsız olmaları nedeniyle, hesaplama açısından maliyetli değildirler ve iyi bir genelleme kapasitesine sahiptirler. Sarmalayıcılar ve gömülü yöntemlerin her ikisi de özellik seçimini gerçekleştirmek için bir öğrenme yöntemi gerektirmektedir. Sarmalayıcılar için, bir tümevarım yöntemi özelliklerin aday alt kümelerini değerlendirir. Sınıflandırıcı ile etkileşim, sarmalayıcıları hesaplama açısından filtrelerden daha maliyetli hale getirirken, daha iyi performans gösterme eğilimindedir. Gömülü yöntemler, filtreler ve sarmalayıcılar arasında yer alır çünkü seçim, tümevarım yöntemi için eğitim sürecinin bir parçasıdır. En iyi özellik alt kümesinin aranması, sınıflandırıcının eğitimi sırasında gerçekleştirilir ve bu nedenle, gömülü yöntemler sarmalayıcılardan daha az hesaplama maliyetine sahiptir. Genellikle farklı kavramsal kökenlere sahip iki veya daha fazla özellik seçme algoritmasını sıralı bir şekilde birleştiren hibrit yöntemlerde olduğu gibi, algoritmaları karıştırma eğilimi de vardır. Örnek vermek gerekirse, önce bazı özellikleri kaldırmak için hesaplama açısından daha az maliyetli bir filtre uygulamak ve ardından ince ayar için hesaplama açısından daha maliyetli bir sarmalayıcı kullanılabilir (Remeseiro & Bolon-Canedo, 2019). Literatürde sıklıkla kullanılan özellik seçimi algoritmaları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

1. ***Korelasyona-Tabanlı Özellik Seçimi***, kendileri ilintisiz olan ancak sınıfla yüksek korelasyon gösteren özelliklerin alt kümelerini seçen çok değişkenli bir filtre yöntemidir (Remeseiro & Bolon-Canedo, 2019).

2. ***Tutarlılık Tabanlı Filtre***, özelliklerin alt kümelerini sınıfla tutarlılık derecesine göre seçen ve ardından kabul edilebilir bir veri azaltma oranını belirlemek için bir tutarsızlık kriteri kullanan çok değişkenli bir tekniktir (Remeseiro & Bolon-Canedo, 2019).
3. ***INTERACT***, iki adımda yürütülen bir algoritmadır: ilk önce tüm özelliklerin simetrik belirsizliği hesaplanır ve özellikleri buna göre sıralanır. Ardından yalnızca tutarlılık katkısı önceden belirlenmiş bir eşiği aşanları seçmek için değişkenleri tutarlılık katkılarına göre ayrı ayrı değerlendirilir (Remeseiro & Bolon-Canedo, 2019).
4. ***Bilgi Kazanımı,*** her özellik ve sınıf için ortak bilgileri hesaplayan ve ardından tüm özellikleri sıralayan basit bir tek değişkenli filtredir (Remeseiro & Bolon-Canedo, 2019).
5. ***ReliefF***, en yakın komşuları temel alan popüler bir çok değişkenli filtredir. Örnekleri rastgele seçerek aynı sınıftan en yakın komşuları arayarak çalışır. Seçilen örneğin değerleri doğru değerler ve kayıplarla karşılaştırılır ve ardından her özellik için alaka düzeyi puanı güncellenir. Yararlı bir özellik, aynı sınıftaki örneklere benzer ve diğer sınıflardaki örneklerden farklı değerlere sahip olmalıdır (Remeseiro & Bolon-Canedo, 2019).
6. ***DVM'ler için Özyinelemeli Özellik Eleme***, yinelemeli bir süreçte bir DVM sınıflandırıcısını eğitirken, özellikleri seçen ve DVM çözümündeki ağırlıklara göre en az önemli olanları eleyen gömülü bir yöntemdir (Remeseiro & Bolon-Canedo, 2019).

Özellik Seçimi Algoritmalarının, MÖ-Tabanlı problemleri çözmede başarılı bir ön işleme aracı olduğu kanıtlanmıştır. Bununla birlikte, sayısı giderek artan mevcut seçim yöntemleri arasında seçim yapmak kolay değildir.

5. İnsan Bilgisayar Etkileşiminde Özellik Seçimi Algoritmalarının Kullanım Alanları

5.1. Duygu Tanımada Özellik Seçimi Algoritmaları

Literatürde, DT problemleri İBE alanında çeşitli teknolojiler/algoritmalar kullanılarak ele alınmıştır. Bunlardan biri olan (Zangeneh Soroush vd., 2018) çalışmalarında, uygun elektrotlar yardımıyla farklı duygular ve beyin bölgeleri arasındaki ilişkileri belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu nedenle ilk olarak, yapay dokuyu kaldırmak ve bağımsız bileşenleri çıkarmak için bağımsız bileşen analizi algoritması kullanmışlardır. Daha sonra bilgilendirici kanallar, elde edilen bileşenler için eşikli ortalama aktivite değerine dayalı olarak seçip, tüm duygu

sınıfları arasında ortak olan seçilmiş kanallardan etkili özellikleri çıkarmışlardır. Özellikler, yerel alt küme özellik seçim yöntemi ile azaltılmış ve ardından özellik seçiminin DT performansını artırabileceğini ve Dempster-Shafer teorisinin belirsizliklerle başa çıkabilme yeteneği nedeniyle değiştirilmiş Dempster-Shafer teorisini kullanarak sınıflandırma işlemini gerçekleştirmişlerdir. Önerdikleri yöntemi EEG yoluyla duyguları yaklaşık %91 doğrulukla sınıflandırıp önceki çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. İBE alanındaki en zorlu konulardan biri olan DT sınıflandırmasındaki belirsizlik problemini, belirsizlikle başa çıkabilme yeteneği nedeniyle özellikle DT gibi karmaşık sınıflandırma problemlerinde etkili olan Dempster-Shafer teorisi ile başarılı bir şekilde gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca, önerdikleri yöntemin kullanımının zaman ve kaynak açısından verimli olduğu ve diğer duygu tanıma yöntemlerinden daha iyi bir performans gösterdiğini iddia etmişlerdir.

Yapılan yeni çalışmalarda, literatürde bildirilen tüm öznitelikler kullanılmakta olduğundan özellik kümesi içindeki yüksek korelasyon nedeniyle boyutsallık problemine ve performans düşüşüne yol açmaktadır. Bu nedenle, (Kannadasan vd., 2023) çalışmanın birincil amacı, optimal bir özellik seti kullanarak DT modelinin performansını iyileştirmek olduğunu belirtmişlerdir. Bu bakımdan bağımsız etkili duygu tanıma için en uygun özellik kümesini elde etmek üzere Diferansiyel Evrim Tabanlı Özellik Seçimi (DEÖS) algoritmasını önermişlerdir. DEÖS algoritmasından elde edilen optimal özellik seti, DVM sınıflandırıcısını eğitmek için kullanılır. EEG tabanlı DT veri seti kullanarak önerilen modelin performansını analiz etmişlerdir. Bu modeli, son teknolojiye sahip birkaç özellik seçme ve optimizasyon algoritmasıyla karşılaştırmışlar ve elde ettikleri sonuçlar, sınıflandırma performansı, uygunluk değeri optimizasyonu ve hesaplama süresi açısından analiz etmişlerdir. Bununla birlikte, önerdikleri modelin özneden bağımsız davranışını sağlamak için özne bazında da performansını analiz etmişlerdir. Önerilen DEÖS-DVM DT modeli ile, valans uyarılma, valans, baskınlık ve hoşlanma duygusal durumlarını tespit etmek için sırasıyla %73.60, 74.23, 71.88 ve %71.80 sınıflandırma doğruluğu elde etmişlerdir.

(Yin vd., 2020), EEG genelleştirilebilir özelliklerini belirlemek amacıyla yeni bir bireysel bağımsız DT için Yerel-Sağlam Özellik Seçimi (YSÖS) yöntemi sunmuşlardır. Çalışmada, bireysel farklılıkları hesaba katmadan, birçok farklı katılımcı için duygusal durum tanıma performansını artırmayı amaçlamışlardır. YSÖS çerçevesinde, çıkarılan EEG özellikleri önce olasılık yoğunluklarıyla modellenmiş olup her iki denek arasındaki tüm yoğunluk fonksiyonlarının benzerliği değerlendirilerek, EEG özelliklerinin bireyler arası tutarlılığı açıklanmıştır. Elde edilen tutarlılık, yerel olarak sağlam EEG özelliklerini

belirlemiş; burada her bir özelliğin önemi, duygular arasındaki marj kaybına göre incelemişlerdir. Konuların birden çok alt kümesinden seçilen özellikleri birleştirmek için topluluk halinde öğrenme ilkesini baz alınmış ve bir duygu sınıflandırıcı yöntemi oluşturmuşlardır. Genel oldukça bilinen DEAP ve MAHNOB-HCI veri tabanları ile YSÖS tabanlı sınıflandırıcının bireysel bağımsız sınıflandırma doğruluğu, uyarılma ve değerlik alanları için sırasıyla %65-%68 (DEAP) ve %67-%70 (MAHNOB-HCI) ile elde etmişlerdir. YSÖS 'nin başarısını, mevcut birkaç özellik seçme yöntemi ve DT sistemi ile karşılaştırmış ve kanıtlamışlardır.

Konuşma sinyali işleme, insanlar arasında en yaygın bilgi alışverişi kaynağı olmakla beraber İBE için de önemlidir. Bu alanda, Konuşma Duygu Tanıma (KDT) gibi bir insan davranışı değerlendirme ve DT uygulaması da gelişmektedir. KDT sisteminin verimliliği, özellikle ayırt edici bilgileri içeren üst düzey derin özellikler gibi belirgin özelliklerin öğrenilmesine bağlıdır. (Mustaqeem & Kwon, 2021), çalışmalarında, KDT performansını artırmak için iki akışlı KSA kullanarak en uygun özellik seçimini ele almışlardır. Model iki kanaldan oluşmaktadır. Her kanal, sözlü sinyallerden ipuçlarını çıkarmak için KSA yapısıyla ilişkilendirilmiştir. Birinci kanal, spektral alandan öznitelik çıkarır ve ikinci kanal, uzamsal alandan öznitelikler çıkararak daha sonra birleştirilir ve ayrılmayı ortadan kaldırmak ve son model eğitimi için en uygun özellikleri seçmek üzere Yinelemeli Komşu Bileşen Analizi (YKBA) YKBA'ya gönderilmiştir. Ortak iyileştirme özellikleri, farklı duyguların tahminlerini elde etmek için bir softmax sınıflandırıcı ile tamamen bağlı ağdan geçirilmiş olup EMO-DB, Surrey Görsel-İşitsel İfade Edilen Duygu veri kümes, (SAVEE) ve Ryerson Duygusal Konuşma ve Şarkı Görsel-İşitsel Veritabanı (RAVDESS) adlı üç farklı duygusal konuşma derlemini kullanarak önerilen sistemi eğitmişlerdir. Sırasıyla %95, %82 ve %85 doğruluk değeri elde etmişlerdir. Ayrıca, iki akışlı CNN modelinin kullanımı ve özellik seçimindeki iki aşamalı yaklaşımın konuşma duygu tanıma performansını önemli ölçüde artırdığı görülmüştür.

Özellik çıkarmada çıkarılan tüm özellikler, konuşmacının duygu durumlarını sınıflandırmak için uygun olmamasıyla birlikte alakasız ve gereksiz özelliklerin varlığı, yanlış ve istenmeyen duygu sınıflandırma performansına sebebiyet vererek anlamsız kalıplar üretebilmektedir. Bu sebeple (Shahin vd., 2023), Gri Kurt Optimizasyon (GKO) algoritması ve KYK sınıflandırıcısına dayalı akıllı bir öznitelik seçim yöntemi (GKO-KYK) önermişlerdir. Duygu sınıflandırması, Arapça Emirlik Aksanlı Konuşma Veri Tabanı (AEAKVT), RAVDESS ve SAVEE dahil olmak üzere üç farklı veri tabanında gerçekleştirilir. Her bir veri setinden özellikleri çıkarmak için birleştirilmiş veya tek bir özellik çıkarma

yöntemi uygulanır. Önerilen yöntem, Yarasa Algoritması (YA), Guguklu AramA (GAA), Beyaz Köpek Balığı Optimizasyon (BKO) ve Aritmetik Optimizasyon Algoritması (AOA) gibi klasik yöntemlere kıyasla KDT sistemi için daha iyi sınıflandırma performansı sağlamıştır. AEAKVT, RAVDESS ve SAVEE veri kümelerine göre sırasıyla %88,95, %80,48 ve %83,54 doğruluk değeri elde etmişlerdir.

(Anuragi vd., 2022) çalışmalarında, Fourier-Bessel Serisi Genişleme Tabanlı Ampirik Dalgacık Dönüşümü (FBSG-ADD) yöntemi kullanılarak EEG sinyallerine dayalı otomatik özneler arası duygu tanıma çerçevesi önermişlerdir. Her kanaldan gelen EEG sinyallerini dört alt bant sinyaline ayrıştırmak için kullanmışlardır. Ön lobdan, her bir alt bant sinyalinden entropi ve enerji özelliklerinin çıkarıldığı on kanal manuel olarak seçilmiş, konu değişkenliği, 80 boyutunda düzgünleştirilmiş özellik vektörünü elde etmek için her kanalda ortalama hareketli bir filtre yöntemi kullanarak azaltmışlardır. Komşu Bileşen Analizi (KBA), Kabartma-F ve mRMR gibi üç özellik seçme tekniklerini optimal özellik vektörü elde etmek için kullanmışlardır. YSA, iki işlevli KYK ve topluluk torbalı ağaç sınıflandırıcılar gibi makine öğrenmesi modelleri elde edilen öznitelik vektörleri ile eğitmişlerdir. Sonuçları, SJTU duygu EEG veri seti (SEED) ve Fizyolojik Sinyaller kullanılarak duygu analizi için DEAP veri seti olarak adlandırılan, iki veri tabanından elde etmişlerdir. Modellerin eğitimi ve testi, 10 katlı çapraz doğrulama ve Bir Deneği Çapraz Doğrulama (BDÇD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. FBSG-ADD ve KBA özellik seçimi yaklaşımına dayanan önerilen çerçeve, diğer son teknoloji duygu sınıflandırma modellerine kıyasla insan duygularını sınıflandırmak için üstün sonuçlar elde etmişlerdir. Pozitif, Nötr, Negatif duygu sınıflandırmasında %95,7 doğruluk sonucu elde etmişlerdir.

(Asghar vd., 2021), pahalı hesaplamalardan kaçınarak duygusal sınıflandırma için hibrit sinir ağlarına dayalı yeni bir özellik seçme yöntemi önermişlerdir. EEG sinyallerinin düşük zamansal sınırları ve doğrusal olmayan doğası nedeniyle duyguları EEG sinyalleri aracılığıyla sınıflandırmak zor olduğu için özellik çıkarımı için Etkili Ağ'ın (Efficient Network-ENet) yanı sıra hiyerarşik bir Yarı Atlamalı Katmanlı Geçitli Birim (YAKGB) önermişlerdir. Daha hızlı işleme için, Tekrarlayan Sinir Ağlarında (TSA) Geçitli Tekrarlayan Birimler (GTB) için bir yarı atlama katmanı tanıtmışlardır. Girilen katman, ağ eğitimi sırasında ıraksak faktörü otomatik olarak atlar. Önceden işlenmiş EEG sinyalleri, derin özellik çıkarımı için hibrit YAKGB-ENet modeline gönderilir. Hesaplama maliyetinin üstesinden gelmek için, Görselleştirilmiş Karakteristik Çantası (GKÇ) adı verilen optimal bir fonksiyon azaltma yöntemi kullanmışlardır. Önerilen YAKGB-ENet

yöntemi ve GKÇ, Destek Vektör Ağları (DVA), Naif Bayes (NB) ve KYK kullanılarak sıralama yapılırken duyguların sıralanmasının performansını iyileştirmişlerdir. Sonuçlar, oldukça bilinen DEAP ve SEED veri kümelerinde sırasıyla %82,6 ve %94,7 doğruluk değeri elde etmişlerdir.

(Hua vd., 2021)çalışmalarında, duygusal varyasyonlara istikrarlı bir şekilde duyarlı olan genelleştirilebilir özellikleri belirlemek için transfer öğrenme ilkesi altında yeni bir özellik seçme yöntemi, Çok-Yönlü Özellik birleştirme ve Dinamik Özellik Seçimi (ÇÖ-DÖS) önermişlerdir. ÇÖ-DÖS çerçevesinde, DT sisteminin doğruluğunu artırmak için yerel geometrik bilgi özellik seçimi, alan uyarlamasına dayalı manifold öğrenme ve dinamik özellik seçiminin avantajlarını kullanmışlardır. Üç genel veri kümesine, DEAP, MAHNOB-HCI ve SEED'e dayalı olarak, ÇÖ-DÖS'nin performansı, iki tür EEG özelliği altında bir özneyi dışarıda bırakma paradigmasına göre doğrulanmıştır. Her duygusal boyutun üç duygusal sınıfını tanımlayarak, ÇÖ-DÖS tabanlı DT sınıflandırıcısının doğruluğu, uyarılma ve değerlik duygusal boyutları için sırasıyla %50-%48 ve %46-%50 olarak elde etmişlerdir. SEED veri kümesinde için değerlik boyutu için %40'a ulaşmıştır.

DÖ-Tabanlı veya MÖ-Tabanlı algoritmalara Özellik Seçimi yöntemlerinin dahil edildiği yukarıdaki çalışmalar ve İBE akıllı sisteminde benimsenen çoğu teknoloji kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. Bunlara göre Özellik Seçimi Algoritmalarının çalışmaları iyileştirme etkisi Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo – 2. Özellik Seçimi yönteminin İBE sistemlerindeki teknolojik gelişim durumu.

Yazar ve Yılı	Araştırma Alanı	Araştırma Yöntemleri	En İyi Sonuçlar	Analiz
(Zangeneh Soroush vd., 2018)	EEG sinyalleriyle DT	Değiştirilmiş Dempster-Shafer Teorisi	%91 Doğruluk	Duygu Sınıflandırma
(Yin vd., 2020),	EEG sinyalleriyle DT	YSÖS	%70 Doğruluk	Duygu Sınıflandırma
(Mustaqeem & Kwon, 2021),	KDT	CNN ve YKBA	%95 Doğruluk	Duygu Tanıma
(Asghar vd., 2021)	MÖ-Tabanlı Algoritmalar ve Nİ	YAKGB-ENet	%94,7 Doğruluk	Duygu Sınıflandırma
(Anuragi vd., 2022)	EEG sinyalleriyle DT	FBSG-ADD	%95,7 Doğruluk	Duygu Sınıflandırma
(Kannadasan vd., 2023)	EEG sinyalleriyle DT	DEÖS-DVM	%74.23 Doğruluk	Duygu Sınıflandırma

(Shahin vd., 2023)	KDT	GKO-KYK	%88,95 Doğruluk	Duygu Sınıflandırma
(Hua vd., 2021)	EEG sinyalleriyle DT	ÇÖ-DÖS	%50 Doğruluk	Duygu Tanıma

Tablo 2'ye göre araştırmacılar son beş yılda özellik çıkarma algoritmalarının güçlü öğrenme yeteneğinden faydalanarak konuşma tanıma, duygu tanıma, nesnelerin interneti gibi çeşitli alanlarda dikkate değer başarılar elde etmişlerdir. Mevcut MÖ-Tabanlı ve DÖ-Tabanlı yöntemler ile, özellik çıkarma algoritmalarını birlikte çalışarak mevcut algoritmaların başarılarını artırmış olup İBE alanında kullanımını genişletmişlerdir. Böylelikle çeşitli araştırma alanlarında İBE'nin yüksek doğruluk etkisini kanıtlamışlardır.

Kaynakça

Aheleroff, S., Polzer, J., Huang, H., Zhu, Z., Tomzik, D., Lu, Y., … Xu, X. (2020). Smart manufacturing based on Digital Twin technologies. *Industry 4.0,* 77-122. https://doi.org/10.1201/9781351132992-3

Akhtar, M. S., Ekbal, A., & Cambria, E. (2020). How Intense Are You? Predicting Intensities of Emotions and Sentiments using Stacked Ensemble [Application Notes]. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, *15*(1), 64-75. https://doi.org/10.1109/MCI.2019.2954667

Al-Hammadi, M., Muhammad, G., Abdul, W., Alsulaiman, M., Bencherif, M. A., Alrayes, T. S., … Mekhtiche, M. A. (t.y.). *Deep Learning-Based Approach for Sign Language Gesture Recognition With Efficient Hand Gesture Representation*. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3032140

Alzoubi, O., D'Mello, S. K., & Calvo, R. A. (2012). Detecting naturalistic expressions of nonbasic affect using physiological signals. *IEEE Transactions on Affective Computing*, *3*(3), 298-310. https://doi.org/10.1109/T-AFFC.2012.4

Angin, P., Hossein Anisi, M., Göksel, F., Gürsoy, C., & Büyükgülcü, A. (t.y.). *AgriLoRa: A Digital Twin Framework for Smart Agriculture*. https://doi.org/10.22667/JOWUA.2020.12.31.077

Ansari, A. S., Jawarneh, M., Ritonga, M., Jamwal, P., Mohammadi, M. S., Veluri, R. K., … Shah, M. A. (2022). Improved Support Vector Machine and Image Processing Enabled Methodology for Detection and Classification of Grape Leaf Disease. *Journal of Food Quality*, *2022*. https://doi.org/10.1155/2022/9502475

Anuragi, A., Singh Sisodia, D., & Bilas Pachori, R. (2022). EEG-based cross-subject emotion recognition using Fourier-Bessel series expansion based empirical wavelet

transform and NCA feature selection method. *Information Sciences*, *610*, 508-524. https://doi.org/10.1016/J.INS.2022.07.121

Asghar, M. A., Khan, M. J., Shahid, H., Shorfuzzaman, M., Xiong, N. N., & Mehmood, R. M. (2021). Semi-skipping layered gated unit and efficient network: Hybrid deep feature selection method for edge computing in EEG-based emotion classification. *IEEE Access*, *9*, 13378-13389. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3051808

Askland, K. D., Garnaat, S., Sibrava, N. J., Boisseau, C. L., Strong, D., Mancebo, M., … Eisen, J. (2015). Prediction of remission in obsessive compulsive disorder using a novel machine learning strategy. *International Journal of Methods in Psychiatric Research*, *24*(2), 156-169. https://doi.org/10.1002/MPR.1463

Basiri, M. E., Nemati, S., Abdar, M., Cambria, E., & Acharya, U. R. (2021). ABCDM: An Attention-based Bidirectional CNN-RNN Deep Model for sentiment analysis. *Future Generation Computer Systems*, *115*, 279-294. https://doi.org/10.1016/J.FUTURE.2020.08.005

Bhavan, A., Chauhan, P., & Ratn Shah, R. (2019). *Bagged support vector machines for emotion recognition from speech ☆. 184*, 104886. https://doi.org/10.1016/j.knosys

Brachman, R. J., Dietterich, T. G., Campbell, C., & Ying, Y. (t.y.). *C M & Mor gan Cl aypool Publishers & SYNTHESIS LECTURES ON ARTIF ICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE LEARNING Learning with Support Vector Machines*.

Cambria, E., Li, Y., Xing, F. Z., Poria, S., & Kwok, K. (2020). SenticNet 6: Ensemble Application of Symbolic and Subsymbolic AI for Sentiment Analysis. *International Conference on Information and Knowledge Management, Proceedings*, 105-114. https://doi.org/10.1145/3340531.3412003

Cervantes, J., Garcia-Lamont, F., Rodríguez-Mazahua, L., & Lopez, A. (2020). A comprehensive survey on support vector machine classification: Applications, challenges and trends. *Neurocomputing*, *408*, 189-215. https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.10.118

Chen, T., Ju, S., Ren, F., Fan, M., & Gu, Y. (2020). EEG emotion recognition model based on the LIBSVM classifier. *Measurement*, *164*, 108047. https://doi.org/10.1016/J.MEASUREMENT.2020.108047

Christie, I. C., & Friedman, B. H. (2004). Autonomic specificity of discrete emotion and dimensions of affective space: A multivariate approach. *International Journal of Psychophysiology*, *51*(2), 143-153. https://doi.org/10.1016/J.IJPSYCHO.2003.08.002

(Computer Science, Technology and Applications) Vasile-florian Pais - Speech Recognition Technology and Applications-Nova Science Publishers (2022). (t.y.).

Cortes, C., Vapnik, V., & Saitta, L. (1995). Support-vector networks. *Machine Learning 1995 20:3*, *20*(3), 273-297. https://doi.org/10.1007/BF00994018

Egger, M., Ley, M., & Hanke, S. (2019). Emotion Recognition from Physiological Signal Analysis: A Review. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, *343*, 35-55. https://doi.org/10.1016/J.ENTCS.2019.04.009

Escalera, S., Guyon, I., & Athitsos, V. (Ed.). (2017). *Gesture Recognition*. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57021-1

Guo, L., Lu, Z., & Yao, L. (2021). Human-Machine Interaction Sensing Technology Based on Hand Gesture Recognition: A Review. *IEEE TRANSACTIONS ON HUMAN-MACHINE SYSTEMS*, *51*(4). https://doi.org/10.1109/THMS.2021.3086003

Guyon, I., & Elisseefl, A. (2006). An introduction to feature extraction. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, *207*, 1-25. https://doi.org/10.1007/978-3-540-35488-8_1/COVER

Hassan, M. M., Alam, M. G. R., Uddin, M. Z., Huda, S., Almogren, A., & Fortino, G. (2019). Human emotion recognition using deep belief network architecture. *Information Fusion*, *51*, 10-18. https://doi.org/10.1016/J.INFFUS.2018.10.009

Hassan, M. M., Huda, S., Yearwood, J., Jelinek, H. F., & Almogren, A. (2018). Multistage fusion approaches based on a generative model and multivariate exponentially weighted moving average for diagnosis of cardiovascular autonomic nerve dysfunction. *Information Fusion*, *41*, 105-118. https://doi.org/10.1016/J.INFFUS.2017.08.004

Hoexter, M. Q., Miguel, E. C., Diniz, J. B., Shavitt, R. G., Busatto, G. F., & Sato, J. R. (2013). Predicting obsessive-compulsive disorder severity combining neuroimaging and machine learning methods. *Journal of Affective Disorders*, *150*(3), 1213-1216. https://doi.org/10.1016/J.JAD.2013.05.041

Hua, Y., Zhong, X., Zhang, B., Yin, Z., & Zhang, J. (2021). Manifold Feature Fusion with Dynamical Feature Selection for Cross-Subject Emotion Recognition. *Brain Sciences 2021, Vol. 11, Page 1392*, *11*(11), 1392. https://doi.org/10.3390/BRAINSCI11111392

Ismail, A., Abdlerazek, S., & El-Henawy, I. M. (2020). Development of smart healthcare system based on speech recognition using support vector machine and dynamic time warping. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(6). https://doi.org/10.3390/su12062403

Ji, M., Zhang, L., & Wu, Q. (2020). Automatic grape leaf diseases identification via UnitedModel based on multiple convolutional neural networks. *Information Processing in Agriculture*, *7*(3), 418-426. https://doi.org/10.1016/J.INPA.2019.10.003

Jiang, D., Li, G., Sun, Y., Kong, J., Tao, B., & Chen, D. (2022). Grip strength forecast and rehabilitative guidance based on adaptive neural fuzzy inference system using

sEMG. *Personal and Ubiquitous Computing*, *26*(4), 1215-1224. https://doi.org/10.1007/S00779-019-01268-3/FIGURES/14

Kanjo, E., Younis, E. M. G., & Sherkat, N. (2018). Towards unravelling the relationship between on-body, environmental and emotion data using sensor information fusion approach. *Information Fusion*, *40*, 18-31. https://doi.org/10.1016/J.INFFUS.2017.05.005

Kannadasan, K., Veerasingam, S., Shameedha Begum, B., & Ramasubramanian, N. (2023). An EEG-based subject-independent emotion recognition model using a differential-evolution-based feature selection algorithm. *Knowledge and Information Systems*, *65*(1), 341-377. https://doi.org/10.1007/s10115-022-01762-w

Kaur, P., Pannu, H. S., & Malhi, A. K. (2019). Plant disease recognition using fractional-order Zernike moments and SVM classifier. *Neural Computing and Applications*, *31*(12), 8749-8768. https://doi.org/10.1007/S00521-018-3939-6

Kausar, S., & Javed, M. Y. (2011). A survey on Sign Language recognition. *Proceedings - 2011 9th International Conference on Frontiers of Information Technology, FIT 2011*, 95-98. https://doi.org/10.1109/FIT.2011.25

Khaire, U. M., & Dhanalakshmi, R. (2022). Stability of feature selection algorithm: A review. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, *34*(4), 1060-1073. https://doi.org/10.1016/J.JKSUCI.2019.06.012

Koelstra, S., Mühl, C., Soleymani, M., Lee, J. S., Yazdani, A., Ebrahimi, T., … Patras, I. (2012). DEAP: A database for emotion analysis; Using physiological signals. *IEEE Transactions on Affective Computing*, *3*(1), 18-31. https://doi.org/10.1109/T-AFFC.2011.15

Lenhard, F., Sauer, S., Andersson, E., Månsson, K. N. T., Mataix-Cols, D., Rück, C., & Serlachius, E. (2018). Prediction of outcome in internet-delivered cognitive behaviour therapy for paediatric obsessive-compulsive disorder: A machine learning approach. *International Journal of Methods in Psychiatric Research*, *27*(1). https://doi.org/10.1002/MPR.1576

Li, C., Li, G., Jiang, G., Chen, D., & Liu, H. (2020). Surface EMG data aggregation processing for intelligent prosthetic action recognition. *Neural Computing and Applications*, *32*(22), 16795-16806. https://doi.org/10.1007/s00521-018-3909-z

Li, Q., Shin, S. B., Hong, C. P., & Kim, S. D. (2020). On-body wearable device localization with a fast and memory efficient SVM-kNN using GPUs. *Pattern Recognition Letters*, *139*, 128-138. https://doi.org/10.1016/J.PATREC.2017.10.005

Li, X., Cao, J., Liu, Z., & Luo, X. (2020). Sustainable Business Model Based on Digital Twin Platform Network: The Inspiration from Haier's Case Study in China.

Sustainability 2020, Vol. 12, Page 936, *12*(3), 936. https://doi.org/10.3390/SU12030936

Liang, W. jie, Zhang, H., Zhang, G. feng, & Cao, H. xin. (2019). Rice Blast Disease Recognition Using a Deep Convolutional Neural Network. *Scientific Reports*, *9*(1). https://doi.org/10.1038/S41598-019-38966-0

Liu, C., Conn, K., Sarkar, N., & Stone, W. (2008). Physiology-based affect recognition for computer-assisted intervention of children with Autism Spectrum Disorder. *International Journal of Human Computer Studies*, *66*(9), 662-677. https://doi.org/10.1016/J.IJHSC.2008.04.003

Liu, H., Motoda, H., Basu, S., Davidson, I., Wagstaff, K. L., Zhang, Z., … Wai-Chee Fu, A. (2012). Spectral Feature Selection for Data Mining. *Spectral Feature Selection for Data Mining*, 1-199. https://doi.org/10.1201/B11426

Liu, Y., Zhang, L., Yang, Y., Zhou, L., Ren, L., Wang, F., … Deen, M. J. (2019). A Novel Cloud-Based Framework for the Elderly Healthcare Services Using Digital Twin. *IEEE Access*, *7*, 49088-49101. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2909828

Martini, N., Menicucci, D., Sebastiani, L., Bedini, R., Pingitore, A., Vanello, N., … Gemignani, A. (2012). The dynamics of EEG gamma responses to unpleasant visual stimuli: From local activity to functional connectivity. *NeuroImage*, *60*(2), 922-932. https://doi.org/10.1016/J.NEUROIMAGE.2012.01.060

Mert, A., & Akan, A. (2018). Emotion recognition based on time–frequency distribution of EEG signals using multivariate synchrosqueezing transform. *Digital Signal Processing: A Review Journal*, *81*, 106-115. https://doi.org/10.1016/J.DSP.2018.07.003

Moin, A., Farhan Aadil, ·, Ali, Z., & Kang, D. (t.y.). *Emotion recognition framework using multiple modalities for an effective human-computer interaction*. https://doi.org/10.1007/s11227-022-05026-w

Munezero, M., Montero, C. S., Sutinen, E., & Pajunen, J. (2014). Are they different? affect, feeling, emotion, sentiment, and opinion detection in text. *IEEE Transactions on Affective Computing*, *5*(2), 101-111. https://doi.org/10.1109/TAFFC.2014.2317187

Mustaqeem, & Kwon, S. (2021). Optimal feature selection based speech emotion recognition using two-stream deep convolutional neural network. *International Journal of Intelligent Systems*, *36*(9), 5116-5135. https://doi.org/10.1002/INT.22505

Ohn-Bar, E., & Trivedi, M. M. (2014). Hand gesture recognition in real time for automotive interfaces: A multimodal vision-based approach and evaluations. *IEEE*

Transactions on Intelligent Transportation Systems, *15*(6), 2368-2377. https://doi.org/10.1109/TITS.2014.2337331

Pal, S., Mukhopadhyay, S., & Suryadevara, N. (2021). Development and Progress in Sensors and Technologies for Human Emotion Recognition. *Sensors 2021, Vol. 21, Page 5554*, *21*(16), 5554. https://doi.org/10.3390/S21165554

Pan, Y. H., Qu, T., Wu, N. Q., Khalgui, M., & Huang, G. Q. (2021). Digital Twin Based Real-time Production Logistics Synchronization System in a Multi-level Computing Architecture. *Journal of Manufacturing Systems*, *58*, 246-260. https://doi.org/10.1016/J.JMSY.2020.10.015

Peng, W., Hong, X., Zhao, G., & Cambria, E. (2021). Adaptive Modality Distillation for Separable Multimodal Sentiment Analysis. *IEEE Intelligent Systems*, *36*(3), 82-89. https://doi.org/10.1109/MIS.2021.3057757

Picard, R. W., Vyzas, E., & Healey, J. (2001). Toward machine emotional intelligence: Analysis of affective physiological state. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, *23*(10), 1175-1191. https://doi.org/10.1109/34.954607

Purushothaman, G., & Vikas, R. (2018). Identification of a feature selection based pattern recognition scheme for finger movement recognition from multichannel EMG signals. *Australasian Physical and Engineering Sciences in Medicine*, *41*(2), 549-559. https://doi.org/10.1007/S13246-018-0646-7/FIGURES/7

Qi, J., Jiang, G., Li, G., Sun, Y., & Tao, B. (2019). Intelligent Human-Computer Interaction Based on Surface EMG Gesture Recognition. *IEEE Access*, *7*, 61378-61387. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2914728

Quitadamo, L. R., Cavrini, F., Sbernini, L., Riillo, F., Bianchi, L., Seri, S., & Saggio, G. (2017a, Şubat 1). Support vector machines to detect physiological patterns for EEG and EMG-based human-computer interaction: A review. *Journal of Neural Engineering*, C. 14. Institute of Physics Publishing. https://doi.org/10.1088/1741-2552/14/1/011001

Quitadamo, L. R., Cavrini, F., Sbernini, L., Riillo, F., Bianchi, L., Seri, S., & Saggio, G. (2017b, Şubat 1). Support vector machines to detect physiological patterns for EEG and EMG-based human-computer interaction: A review. *Journal of Neural Engineering*, C. 14. Institute of Physics Publishing. https://doi.org/10.1088/1741-2552/14/1/011001

Raghuvanshi, A., Singh, U. K., Sajja, G. S., Pallathadka, H., Asenso, E., Kamal, M., … Phasinam, K. (2022). Intrusion Detection Using Machine Learning for Risk Mitigation in IoT-Enabled Smart Irrigation in Smart Farming. *Journal of Food Quality*, *2022*. https://doi.org/10.1155/2022/3955514

Ramesh, L., Radhika, S., & Jothi, S. (2023). Hybrid support vector machine and K-nearest neighbor-based software testing for educational assistant. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, *35*(1). https://doi.org/10.1002/cpe.7433

Remeseiro, B., & Bolon-Canedo, V. (2019). A review of feature selection methods in medical applications. *Computers in Biology and Medicine*, *112*, 103375. https://doi.org/10.1016/J.COMPBIOMED.2019.103375

Russell, S. J. (Stuart J. (2020). Artificial intelligence : a modern approach / Stuart J. Russell and Peter Norvig ; contributing writers: Ming-Wei Chang [and 8 others]. *Artificial intelligence : a modern approach*, 1-1115.

Sailunaz, K., & Alhajj, R. (2019). Emotion and sentiment analysis from Twitter text. *Journal of Computational Science*, *36*, 101003. https://doi.org/10.1016/J.JOCS.2019.05.009

Salomoni, G., Grassi, M., Mosini, P., Riva, P., Cavedini, P., & Bellodi, L. (2009). Artificial neural network model for the prediction of obsessive-compulsive disorder treatment response. *Journal of Clinical Psychopharmacology*, *29*(4), 343-349. https://doi.org/10.1097/JCP.0B013E3181ABA68F

Shahin, I., Alomari, O. A., Nassif, A. B., Afyouni, I., Hashem, I. A., & Elnagar, A. (2023). An efficient feature selection method for arabic and english speech emotion recognition using Grey Wolf Optimizer. *Applied Acoustics*, *205*, 109279. https://doi.org/10.1016/J.APACOUST.2023.109279

Shrivastava, A., Tripathy, A. K., & Dalal, P. K. (2019). A SVM-based classification approach for obsessive compulsive disorder by oxidative stress biomarkers. *Journal of Computational Science*, *36*. https://doi.org/10.1016/J.JOCS.2019.07.010

Simão, M., Mendes, N., Gibaru, O., & Neto, P. (t.y.). *A Review on Electromyography Decoding and Pattern Recognition for Human-Machine Interaction*. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2906584

Sukawattanavijit, C., Chen, J., & Zhang, H. (2017). GA-SVM Algorithm for Improving Land-Cover Classification Using SAR and Optical Remote Sensing Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, *14*(3), 284-288. https://doi.org/10.1109/LGRS.2016.2628406

Sun, Y., Xu, C., Li, G., Xu, W., Kong, J., Jiang, D., … Chen, D. (2020). Intelligent human computer interaction based on non redundant EMG signal. *Alexandria Engineering Journal*, *59*(3), 1149-1157. https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.01.015

Teja Chavali, S., Tej Kandavalli, C., Sugash, T. M., & Subramani, R. (2023). Smart Facial Emotion Recognition With Gender and Age Factor Estimation. *Procedia Computer Science*, *218*, 113-123. https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2022.12.407

Toledo-Pérez, D. C., Rodríguez-Reséndiz, J., Gómez-Loenzo, R. A., & Jauregui-Correa, J. C. (2019, Ekim 1). Support Vector Machine-based EMG signal classification techniques: A review. *Applied Sciences (Switzerland)*, C. 9. MDPI AG. https://doi.org/10.3390/app9204402

Wan, Z., Dong, Y., Yu, Z., Lv, H., & Lv, Z. (2021). Semi-Supervised Support Vector Machine for Digital Twins Based Brain Image Fusion. *Frontiers in Neuroscience*, *15*, 802. https://doi.org/10.3389/FNINS.2021.705323/BIBTEX

Wang, X. W., Nie, D., & Lu, B. L. (2014). Emotional state classification from EEG data using machine learning approach. *Neurocomputing*, *129*, 94-106. https://doi.org/10.1016/J.NEUCOM.2013.06.046

Wu, C. H., Chang, H. C., Lee, P. L., Li, K. S., Sie, J. J., Sun, C. W., … Shyu, K. K. (2011). Frequency recognition in an SSVEP-based brain computer interface using empirical mode decomposition and refined generalized zero-crossing. *Journal of Neuroscience Methods*, *196*(1), 170-181. https://doi.org/10.1016/J.JNEUMETH.2010.12.014

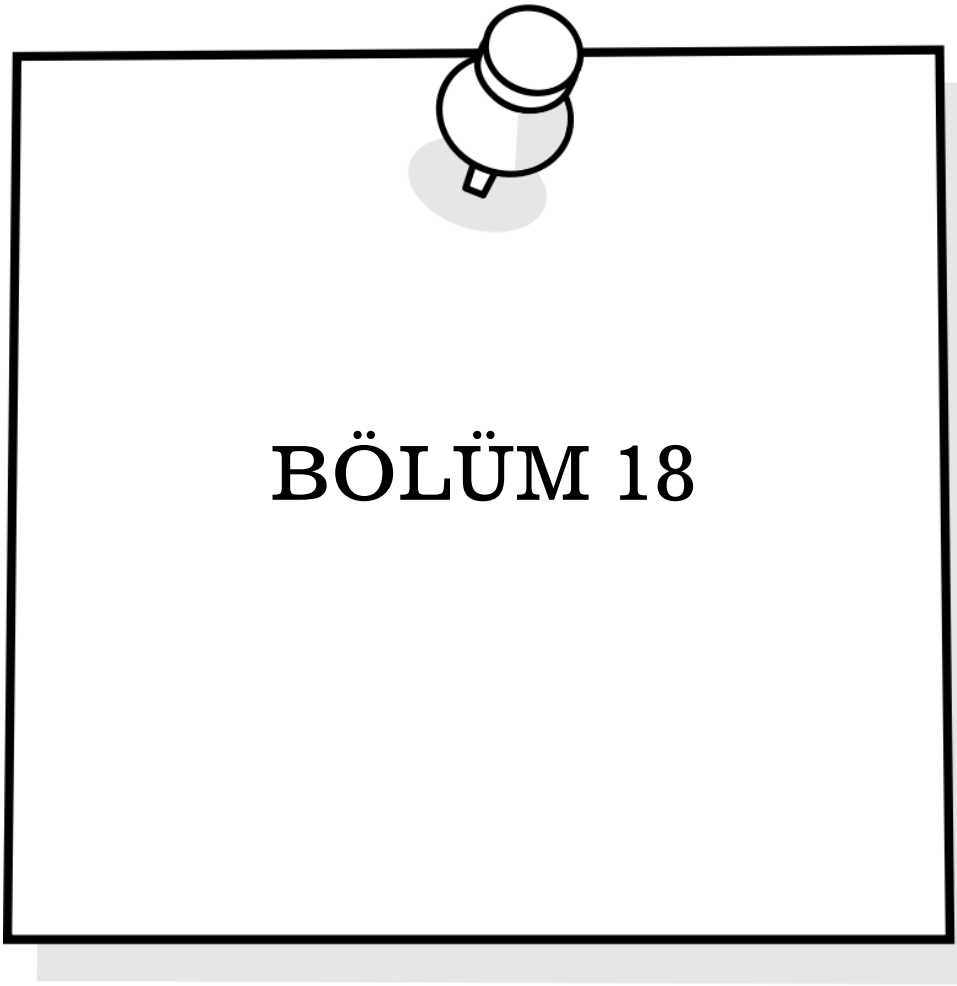
Yin, Z., Liu, L., Chen, J., Zhao, B., & Wang, Y. (2020). Locally robust EEG feature selection for individual-independent emotion recognition. *Expert Systems with Applications*, *162*, 113768. https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2020.113768

Zangeneh Soroush, M., Maghooli, K., Setarehdan, S. K., & Nasrabadi, A. M. (2018). A novel approach to emotion recognition using local subset feature selection and modified Dempster-Shafer theory. *Behavioral and Brain Functions*, *14*(1). https://doi.org/10.1186/s12993-018-0149-4

Zhang, H., Zhang, D., Wang, Z., Xi, G., Mao, R., Ma, Y., … Luan, H. (2023). Ultrastretchable, Self-Healing Conductive Hydrogel-Based Triboelectric Nanogenerators for Human-Computer Interaction. *ACS Applied Materials and Interfaces*, *15*(4), 5128-5138. https://doi.org/10.1021/acsami.2c17904

Zhao, M., Adib, F., & Katabi, D. (2016). Emotion recognition using wireless signals. *Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM*, *0*(1), 95-108. https://doi.org/10.1145/2973750.2973762

ISBN: 978-625-6971-84-4



BÖLÜM 18

ISBN: 978-625-6971-84-4

POLİMER MATRİSLİ BİYOKOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE İŞLENEBİLİRLİĞİ

Arş.Gör. Fatma Zehra KÖSE[1]

Öğr.Gör. Gökçe KOÇ[2]

Arş.Gör. Rezzan YARDIMCI[3]

Dr.Öğr.Üy. Şakir ALTINSOY[4]

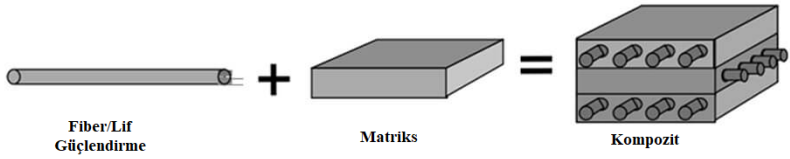
1.GİRİŞ

Malzeme bilimi ve teknolojilerinin gelişerek, yeni ve ileri malzemelerinin kullanım alanlarının hızla genişlediği 21. yüzyılda, kompozit malzemelerin öneminin hızla artmasına sebep olmuştur. Kompozit malzemeler mekanik ve fiziksel özelliklerinden dolayı yaşadığımız binalarda, medikal, tarım, uçak ve uzay, otomobil ve savunma sanayisinde çok yönlü malzeme olarak ihtiyaçlara ve sorunlara çözüm üretmektedir. Bu malzemeler sürtünme ve aşınmaya maruz kalan parçaların üretiminde olduğu gibi hafif olması gereken parçaların imalatında da kullanılmaktadır. Bu malzemelerin üretiminin zor olması, maliyetlerinin yüksek olması ve işlenmesinin güç olması gibi sebepler kullanımını sınırlamaktadır (Şahin, 2006).

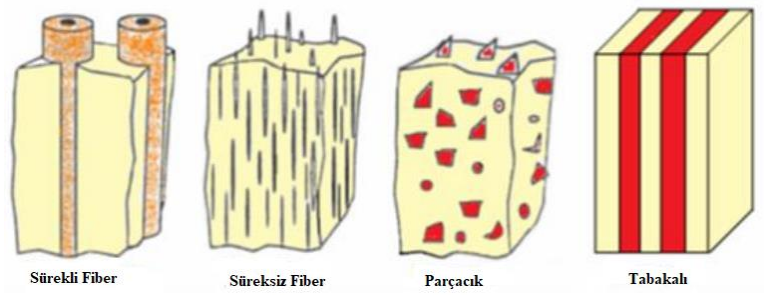
Kompozit yapıları sürekli matris (yapıştırma sorumluluğu) ve süreksiz takviye (güçlendirme sorumluluğu) olmak üzere iki fazdan oluşur. Kompozitler, bileşenlerinin tek başına karşılayamayacağı yüksek sıcaklık performansı, sertlik, korozyon direnci, kuvvet, ağırlık, iletkenlik, sertlik gibi özellikleri malzemeye

[1] İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü ORCID: 0000-0001-5841-7288
[2] İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü ORCID: 0009-0000-0534-3940
[3] İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü ORCID: 0000-0002-7709-8718
[4] İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü ORCID: 0000-0002-1893

kazandırırlar. Şekil 1'de kompozit yapısı gösterilmiştir. Yeni gelişen bir malzemeyi kompozit malzeme olarak tanımlamak için insan eliyle yapılmış olması, herhangi tek bir malzeme ile elden edilmeyen mekanik özellikleri gerçekleştirmesi, en az iki veya daha fazla mekaniksel ve fiziksel özelliği ayrı olan malzemelerin bir araya getirilmesi gerekmektedir. Elde edilen oluşumun farklı ara yüzeye sahip olması ve optimum özellikler elde etmek için birinci malzemenin ikinci malzeme içinde homojen olarak dağılması oldukça önemli kriterlerdir. Bu özelliklere sahip malzemeleri üç gruba ayırabiliriz: birinci grup elyaf takviyeli (sürekli, kesikli ve rastgele düzlemselli) kompozit malzemeler, ikinci grup parçacık takviyeli (büyük parçacıklarla dayanımı artırılmış ve dispersiyonla dayanımı artırılmış) kompozit malzemeler ve üçüncü grup ise tabakalı kompozit malzemelerdir. Bu üç çeşit takviye elemanlı kompozit; polimer, seramik veya metal matriks içerisinde yer alabilmektedir. İkinci faz veya takviye elemanı net özellik sağlayabilmesi için matriksten daha sert olmalıdır. Şekil 2'de kompozit malzeme türleri gösterilmiştir.



Şekil 1: Kompozit malzeme yapısı



Şekil 2: Kompozit malzeme türleri (Dieringa & Kainer, 2012)

Biyokompozitler, kompozit tanımında da bahsedildiği gibi iki veya daha fazla farklı bileşenden oluşmaktadır. Biyokompozitler, biyolojik olarak parçalanabilen bir matrisin (genellikle bir polimer), doğal liflerin veya biyolojik olarak parçalanabilen takviyelerin bir kombinasyonu ile yapılan kompozit malzemelerdir. Biyokompozitler, çevre dostu ve sürdürülebilir doğaları nedeniyle medikal alanında giderek kullanımı artmaktadır (Gandhi vd., 2020;

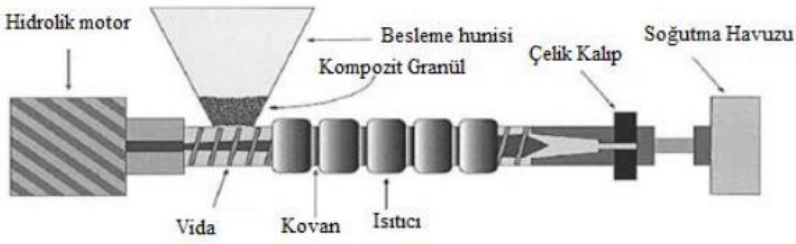
Rao vd., 1998). Biyokompozit malzemelerde bulunan matriks malzemesi biyolojik olarak parçalanabilen bir polimerdir. Biyobozunur polimerler, bitkiler ve mikroorganizmalar gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilebilen ve zaman içinde çevresel koşullara maruz kaldıklarında doğal bileşiklere parçalanma özelliğine sahiptirler. Biyokompozitlerde yaygın olarak Polilaktik Asit (PLA), Polihidroksiyalkanoatlar (PHA), Polibütilen Süksinat (PBS) ve Poli (kaprolakton) (PCL) polimerler kullanılır. Polimer matrisli biyokompozitler (PMK) içinde bulunan doğal lifleri sayesinde yüksek mukavemet-ağırlık oranı, yenilenebilirlik, düşük maliyet ve biyolojik olarak parçalanabilirlik gibi avantajlara sahiplerdir. Doğal liflerin seçimi, spesifik uygulamaya ve gerekli mekanik özelliklere bağlıdır. PMK malzemeleri Biyokompozitler, matris ve takviye malzemelerinin kombinasyonuna bağlı olarak termal özellikler, hafiflik, yüksek mekanik dayanım, biyouyumluluk ve biyobozunabilirlik gibi geniş özellik yelpazesi sunmaktadır. (Bayraktar & Turgut, 2013; Zini & Scandola, 2011). PMK parçalar çeşitli yöntemlerle üretilebilmektedir. Üretilecek parçanın kalitesine, istenilen özelliklere, miktarına ve maliyetine göre en uygun yöntem seçilebilir. Biyo-esaslı polimer ve takviyelendiricilerin kullanıldığı yeşil kompozitlerde çözücü döküm, ekstrüzyon, enjeksiyon kalıplama, basınçla kalıplama presleme gibi üretim yöntemleri kullanılmaktadır (Zini & Scandola, 2011).

2. Polimer Matrisli Biyokompozitlerin Üretim Yöntemleri

2.1. Ekstrüzyon Yöntemi

Literatürde birçok farklı polimer matrisler ve katkı içeren kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan yöntem, ekstrüzyondur.

Polimer bazlı malzemelerin elde edilmesi ve işlenmesi işlemleri birbirini takip etmesiyle polimer işleme endüstrisinde de artan bir hareketlilik görülmektedir. Polimer Matrisli Biyokompozitler birçok üretim yöntemi ile üretilebilmektedir. Bu yöntemler arasından ekstrüzyon yönteminin polimer işleme sanayisinin gelişiminde önemli bir yeri bulunmaktadır. Ekstrüzyon işlemi basınç altında eritilmiş malzemenin bir başlık vasıtasıyla akacak hale getirilip şekillendirilmesidir. Ekstrüder cihazı, katı halde bulunan polimeri eriyik formunu verdikten sonra yüksek viskozitedeki eriyik malzemeyi pompalayarak, belirli bir basınçla çıkış noktasına gönderir. Şekil 3‘te bir ekstruderin kısımları olan; besleme hunisi, sonsuz vida, kovan ve kafa gösterilmektedir.



Şekil 3: Ekstruderin bölümleri (Dalu, 2017)

Ekstrüzyon makinesi, toz veya granül olarak bulunabilen olan polimeri, besleme hunisinden, ısıtma işlemi yapan silindire (kovan) gönderir. Bu kısımda bulunan sonsuz vida yardımı ile erimiş polimer bir sonraki adım için gönderilirken ilerleme esnasında polimer silindir duvarından aldığı sıcaklık ve kaymanın (viskozitenin) oluşturduğu iç sürtünmelerden dolayı ısınır, yumuşar ve erime olayı gerçekleşir. Polimer silindirin uç kısımlarında depolanarak, kırma plakasına geçmesiyle ve malzemenin kesitini belirlemek üzere görevli kalıba gelerek kalıp boşluğuna dolup son şeklini oluşmaktadır (Akkurt, 2004). Bu yöntem için polimer işlenmesinde iki tür ekstrüzyon kullanılabilmektedir. İşlem esnasında besleme seçimi polimer malzemenin eriyik hali ise eriyik ekstrüzyonu yöntemi diye ayırabiliriz. Aynı işlemlerde malzemenin elde edilmesi amacıyla katı polimerden eriyik hale getirilmesi için plastik ekstrüzyon veya plastikleştirici ekstrüzyon olarak ayırabiliriz (Demiryürek, 2004). Katı formdaki polimerler toz veya granül halde bulunup ve işlenebilir. Üretim esnasında polimerlerin kolay şekil verilip işlenmesinde antioksidan ve plastikleştirici madde gibi yardımcı kullanılmak istenirse besleme haznesinden ekstrüdere ilave edilebilir. Ekstrüzyon yöntemi ile elde edilebilecek malzemenin kalitesini vida tasarımı, aynı zamanda ortamın sıcaklığı vb. çalışma şartları etkileyebilmektedir.

Üretilecek malzemenin bağlı olduğu vidanın da tasarımını etkileyen değişkenler vardır. Birbirini izleyen adımlarda ki kovan ile vida arasında bulunan radyal mesafe, vida adedi ve vida geometrisi, kanal derinlikleri etkilemektedir. Ekstrüder için kullanıldığı parçaya göre; kullanılmış olan vida bir adet ise "tek vidalı ekstrüder", birden fazla vida kullanılmış ise "çok vidalı ekstrüder" olarak isimlendirilir. Bu ikisi karşılaştırıldığında tek vidaya sahip olan sayısına bağlı doğru orantılı bir şekilde bizlere daha uzun eritme ve basınç bölgeleri vermektedir.

Ekstrüder sistemleri, bölge olarak eritme ve basınç olarak ikiye ayrılır. Yöntem dahilinde en çok tercih edilen ekstrüder çift vidalı ekstruderdir. Çift vidalı ekstrüderleri de dönüş yönü ve vidaların birbirine geçirimine göre

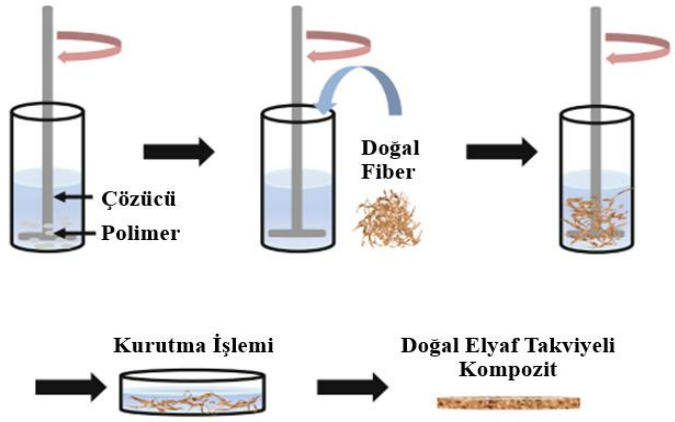
ISBN: 978-625-6971-84-4

ayrılmaktadır (Mark, 2013; Suslick, 2001). İki vida aynı yöne dönüşünü gerçekleştiriyorsa bunlara "aynı yönde dönen çift vidalı ekstrüderler, corotating" denir. Aynı yönde dönen çift vidalı ekstrüderler yüksek vida hızlarında çalışması için oldukça uygundur. Çift vidalar birbirinin zıt yönüne dönüşlerini gerçekleştiriyorsa "ters yönde dönen çift vidalı ekstrüder, counter rotating" denir. Bu yöntem daha ekonomik, çevreci ve seri üretime uygun olduğundan biyopolimer matrisli kompozitlerin üretiminde daha sık tercih edilmektedir.

2.2. Çözücü Döküm Yöntemi

Çözücü döküm, polimer matrisi düşük sıcaklıklarda çözmek için bir çözücü kullanan basit ve esnek bir tekniktir (Raturi vd., 2021). Bu işlem, çözücü olarak su kullanıldığında çözelti dökümü olarak da adlandırılır. Bu yöntem basitliği ve özel olmayan ekipmanın kullanılması nedeniyle yıllar boyunca biyokompozit üretiminde popüler olmuştur.

Genel olarak, Çözüm döküm yöntemi şekilde de gösterildiği üzere, çözdürülmüş polimer matrisinin ve dolgu maddesinin mekanik karıştırma yoluyla sürekli çalkalama altında karıştırılması, ardından döküm ve solvent buharlaştırma veya kurutma adımlarını içeren bir üretim sürecidir. İlk adım polimer çözeltisinin hazırlanmasını içerir: polimerin (herhangi bir biçimde) uygun bir çözücü içinde çözme işleminde yaygın olarak alkol, su veya herhangi bir organik çözücü kullanılır. Filmin oluşumunu artırmak ve özelliklerini iyileştirmek için genellikle çözünmüş polimer çözeltisi ısıtılır veya pH ayarlanır. Polimer solüsyonu daha sonra bir kalıba veya ısıtılmış bir tambura veya düz bir yüzeye dökülerek solvent çıkarılırken bir film matrisi üretilir.



Şekil 4: Polimer kompozit üretmek için çözelti döküm işlemi (Raturi vd., 2021).

2.3. Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi

Enjeksiyon kalıplama, kalıplanmak üzere polimer ve polimer kompozit üretimi için sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. Enjeksiyon kalıplama yönteminde kullanılacak malzemeye şekil verilebilmesi, kalıplama makinesinin özellikleri, kalıp tasarımı ve proses koşulları parça üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Literatürde PLA kaynaklı yeşil kompozit elde edilmesinde çalışmaların çoğunda enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanıldığı görülmüştür.

Enjeksiyon kalıplama yöntemi üretme konusunda serilik ve kolaylık sağlamasından dolayı tercih edilmektedir. Sistemi kurulduğunda, aynı enerji ile iş parçası başına düşen maliyeti de düşürmesi avantajlarından biridir. Üretim yöntemlerine kıyasla tasarımı açısından beklenmedik sonuçlar elde etmeyecek şekilde tek bir şeklin kalıbı kullanılması ve kaynağın eriyik olarak ısısının korunması ile seri üretim oldukça verimlidir. Plastik, kullanılacağı parçaya göre termoplastiklerin işlenmesi de mühendisler ve üretim yapacak kişiler tarafından sıklıkla kullanılmaktadır.

Günümüzde hayatlarımızı kolaylaştırmak üzere pek çok üretim yapılmasına karşılık sanayi ve endüstriyel alandaki kullanımı da yaygındır. Yöntemin geneline bakıldığında kullanan kişiye işlem ayarlarında malzemelerin optimizasyonunda, cismin hatlarında ve mekanik yapısındaki fonksiyonelliği sunmasıdır. Ürüne spesifik özellikler katması ve kalitesini artırmak gibi olumlu yanları vardır (Zhao vd., 2020).

Cihazın geneline bakıldığında incelenmesini kolaylaştırmak için 4 ana kısma ayrılır:

Cihazı dışarıdan bir kişinin kontrol edip komutlar doğrultusunda hareket ettirebileceği “Kontrol Ünitesi” polimerin cihaza girişinin sağlanıp eriyik haline gelebilmesi için sıcaklığın erilerek korunduğu kısımdır.

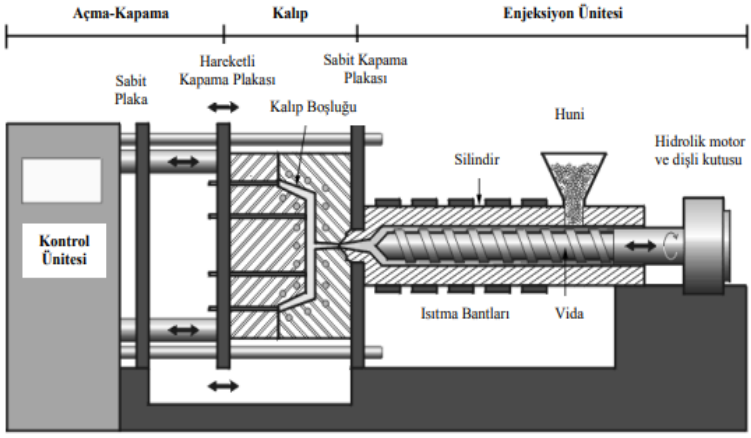
Polimer malzeme granül veya toz gibi farklı haldeki kaynakların cihaza girişinin huni ile sağlandıktan sonra bir sonraki aşamaya iletmek üzere ölçme ve sıkıştırma sağlayan vidalı milin bulunduğu “Enjeksiyon Ünitesi” olarak adlandırılan kısımdır. Şekil 5’te vidalı enjeksiyon makinesi gösterilmiştir.

En son malzemenin geometrisini, boyut ve görünümü sağlayan, eriyiğin içine dolup soğuması beklenilen ve birbirine karşılık gelen iki yüzden oluşan kısım “Kalıp” olarak adlandırılır.

Enjeksiyon kalıplama makinesinin çalışma prensibini adımlara bölmek hem mekanizmayı anlamak hem de daha sağlıklı bir üretim için önemlidir. Bu yöntemdeki adımlar aşağıdaki gibi uygulanmaktadır.

ISBN: 978-625-6971-84-4

1. Plastikleştirme
2. Kalıbın kapanması
3. Kalıbın doldurulması
4. Ütüleme işlemi
5. Tutulma
6. Soğutma işlemi
7. Kalıptan Çıkarma (Ogorodnyk ve Martinsen 2018)



Şekil 5. Vidalı enjeksiyon makinesi (Köse, 2006)

Farklı yapılardaki termoplastikler, şekildeki vidalı enjeksiyon makinesindeki gibi huni girişi ile silindirine iletilmek üzere sisteme dahil edilir (Köse, 2006). Tüm cihazların çalışma prensibinde olduğu gibi çeşitli ayarlara sahiptir ve plastiğin cinsine göre sıcaklık ayarı yapılmasına izin verir. Uygulanan sıcaklığın etkisi ile yumuşamış/erimiş haldeki yapı hidrolik pistonla veya helezon vidalı mil sayesinde silindirin diğer ucuna doğru itilir. Eriyik kalıp boşluğuna aktarılır ve içeriye dolarak mevcut kalıp şeklini alır ve soğutulması ile üretim gerçekleşir. Bu prensiple kullanılmakta olan iki makine vardır. Birisi Pistonlu enjeksiyon diğeri ise vidalı enjeksiyon makinesidir.

Makinenin şematik çiziminde de gösterildiği gibi iş parçaları şöyledir;

Hazne: Kullanılacak hammaddenin beslenerek ısıtılarak diğer kısma iletilene kadar bekletildiği haznedir. Besleme işlemi yerçekimi sayesinde kendiliğinden gerçekleşmektedir.

Vidalı Mil: Beslenmiş termoplastiğin kalıba gönderilmesi için itilmesini sağlayan parçasıdır.

Başlık: Eriyik haldeki malzemeyi kalıp içerisine aktarılmasını sağlayan ve sıcaklığın azalmaması için belirli sıcaklıkta kalan kısımdır.

Enjeksiyon Kalıbı: Oluşturulmak istenen şeklin verildiği ve eriyiğin içerisine dolarak soğutulduğu kısımdır. Birden soğumaması adına ısıtıcısı ile yavaş yavaş soğuması sağlanır. Son adımdaki açılma-kapanma işlemi enjeksiyon kısmı ile yapılır.

Kontrol Paneli: Enjeksiyon işleminin yönetildiği, hareketlendirildiği, hız ve basınç ayarlarının oynanabildiği kısımdır.

Elektrik Motoru: Vidanın dönme hareketini kazandıran parçadır.

Isıtıcılar: Plastik hammaddeyi eritmekle sorumlu parçadır.

Enjeksiyon kalıplama makinesi çalışma prensibi anlatılmıştır. Bu yöntemle elde edilmiş ürün ve çalışmalara bakıldığında avantajlarını sıralayabiliriz:

- Maliyetin daha ulaşılabilir olması
- Otomasyon ve kontrol sağlanabilmesi
- Hızlı ve seri üretim olanağı
- Renk, geometri ve yüzey gibi çeşitli olanak sunması
- Malzemenin en verimli şekilde kullanılması
- Aynı görünüşte farklı içerik ve malzemelerle üretim

Kalıplama yöntemleri arasında iş parçası ve iş modeli oluşturulması için üretim parametre en uygun olanının kullanıcının tercih seçeneği sunması diğer yöntemlerden ayırmaktadır (Ogorodnyk & Martinsen, 2018). Yapay zeka ile makinenin optimizasyon ve ar-ge için yapay zeka ile geliştirilebileceğine yönelik araştırmalar da mevcuttur.

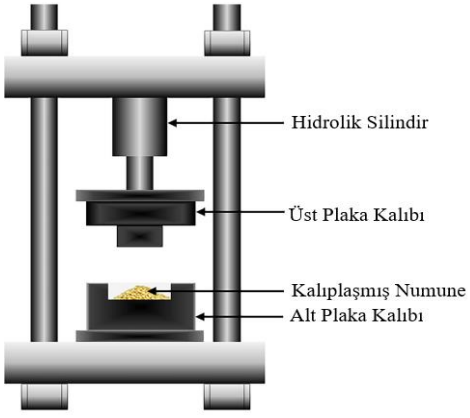
2.4. Basınçla Kalıplama Yöntemi

Biyokompozit malzemelerin üretim süreci ve fabrikasyonu malzemenin kullanım performansını ve özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Basınçla kalıplama yöntemi, büyük ve karmaşık parçalara sahip kompozit malzemelerin üretilmesinde kullanılan standart bir tekniktir (Agung vd., 2018; Holbery & Houston, 2006; Hung vd., 2002; Trauth & Weidenmann, 2018).

Basınçlı kalıplama işlemi, enjeksiyon kalıplama işlemine göre düşük maliyetli olup üretim sonrasında minimum malzeme atığı gibi avantajlar sunmaktadır. Aynı zamanda teknik farklılıklardan dolayı basınçlı kalıplama yönteminin üretim hızı enjeksiyon kalıplama işlemine göre nispeten yüksektir (Advani & Sozer, 2002; Rubio-López vd., 2015; Taketa vd., 2008; Zal vd., 2017).

Liu ve arkadaşları, basınçla kalıplama işlemi ile üretilen numunelerin, enjeksiyon kalıplama ile üretilen numunelerden daha üstün mekanik özelliklere sahip olduğunu göstermiştir (Liu vd., 2007). Tungjitpornkull ve Sombatsompop ise Liu ve arkadaşlarının bulgularına benzer argümanlara işaret ederek, basınçla kalıplama işlemi ile üretilen numunelerden, enjeksiyon kalıplama yöntemlerinden elde edilen numunelere nazaran daha yüksek çekme modülü elde etmişlerdir (Tungjitpornkull & Sombatsompop, 2009). Daha sonra Ku ve arkadaşları, basınçla kalıplama işleminden elde edilen numunelerinin daha yüksek özgül yoğunluğa sahip olduğunu tespit etmişlerdir (Ku vd., 2011). Yüksek özgül yoğunluğa sahip kompozit malzemelerin matris yapılarında çok daha az boşluk olduğunu ve numunenin daha sert bir yapıya sahip olduğunu tespit etmişleridir. Ayrıca, Zampaloni ve arkadaşları, kompozit malzeme türleri içerisinde doğal elyaf takviyeli polimer kompozitlerin üretimi için optimum üretim yönteminin sıkıştırma kalıplama yoluyla olduğu sonucuna varmışlardır (Zampaloni vd., 2007).

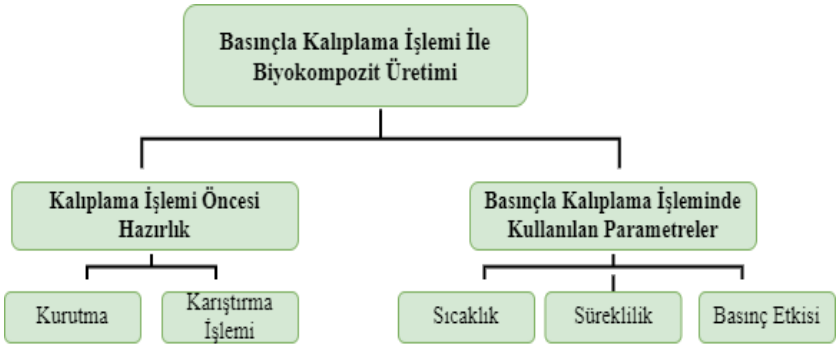
Basınçla kalıplama işlemi Şekil 6'da gösterildiği gibi farklı teknikler ile gerçekleştirilmekte olup kompozit malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır. Basınçla kalıplama işlemi, ısıtma ya da soğutma etkisi ile uygulanabilen bir işlem olup, verilmek istenilen şekle sahip kalıplar kullanılarak gerçekleştirilen bir işlemdir. Kalıp olarak pregrep ve granül formada şekiller kullanılmaktadır.



Şekil 6: Basınçla kalıplama işlemi (Jaafar, 2019)

Basınçla kalıplama işlemi sırasında yüksek basınç kullanımı, matris ve takviye malzemesi arasındaki bağı güçlendirdiği için oldukça önemlidir. Malzeme yapısına bağlı olarak iki plaka yüzeyinde de sıcaklık kullanılmakta olup bu teknikle numunenin şekil almasına ve şeklini korumasına yardımcı olmaktadır (Kim vd., 2019; Yilmaz vd., 2012).

Basınçlı kalıplama işlemindeki basınç kullanımı kompozit malzemenin matris yapısına bağlı değişmektedir. Doğal fiber kompozitlerin basınçla kalıplanmasında kullanılan basınç 2 ila 69 MPa arasında değişmektedir. Şekil 7 ve Şekil 8'de sırasıyla; basınçla kalıplama işlem prosesi ve basınçla kalıplama işlemi etken faktörleri gösterilmiştir.



Şekil 7: Basınçla kalıplama işlem prosesi.

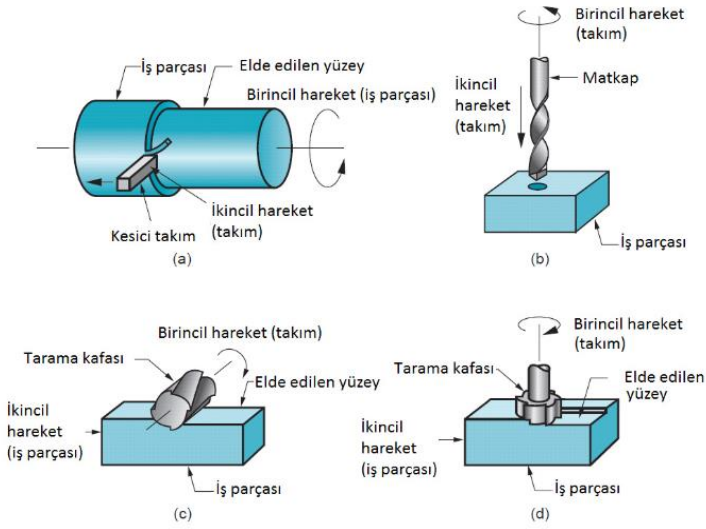


Şekil 8: Basınçla Kalıplama İşlemi Etken Faktörleri.

ISBN: 978-625-6971-84-4

3. Polimer Matrisli Biyokompozitlerin İşlenebilirliği

Mühendislik uygulamalarında kullanılan metallere kıyasla, PMK'ler, düşük termal genleşme, sertlik, yüksek mekanik dayanım, hafiflik ve yüksek sönümleme gibi birçok özellikleri bir arada bulundurmaktadırlar (Bayraktar & Turgut, 2013). İşlenebilirlik, keskin kesici uçlar kullanılarak iş parçası yüzeyinden kayma deformasyonu ile talaş kaldırma işlemidir. Şekil 9'da geleneksel işleme yöntemleri gösterilmiştir. İşlenen malzemenin mekanik özellikleri, mikroyapısı ve kimyasal bileşimi işlenebilirliği önemli derecede belirleyen faktörlerdir (Çelik & Kiliçkap, 2018). Takım aşınması-ömrü, kesme kuvveti-gücü, talaş formu ve yüzey kalitesi işlenebilirliğin belirlenmesinde kullanılan ana unsurları arasındadır.(Arrazola vd., 2009; Katta & Chaitanya, 2017; Niknam vd., 2014). Biyokompozitler söz konusu olduğunda, işlenebilirlik, bu malzemelerin çeşitli uygulamalarda, özellikle biyomedikal alanında kullanılmasının fizibilitesinin belirlenmesinde çok önemli bir rol oynar. Dolayısıyla PMK'lerin işlenmesinde makul yüzey kalitesinin sağlanması; talaş kaldırma işlemi devam ederken iş ile takım arasında kayma mesafesinin azalması, kesme kuvvetlerinin azaltılması, takım aşınmasının ve maliyetinin düşük olması gibi durumların gerçekleşmesi istenmektedir(Şahin, 2006). Parçacık takviyeli kompozitlerin yaygın olarak tercih edilmemesinin en baştan gelen nedenlerinden biri işlenebilirliğinin zor olmasıdır. Bu tür malzemelerin işleme kabiliyeti geleneksel malzemelerden tamamen farklıdır. Elyaf takviyeli kompozitlerin talaşlı şekillendirilebilirliği, kompozit malzeme içerisinde bulunan elyafın tipine ve özelliklerine bağlıdır. Bu malzemelerin sahip olduğu mekanik ve termal özellikler, şekillendirilebilirlik üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Jahanmir vd., 2000).



Şekil 9: Geleneksel imalat yöntemleri: (a) tornalama, (b) matkap ile delik delme, (c) yanal frezeleme ve (d) yüzey frezeleme (Groover, 2021)

Biyokompozitlerin işlenebilirliğini bazı faktörler etkilemektedir. Bu faktörler aşağıdaki gibidir (Jahanmir vd., 2000):

- Matris ve takviye malzemelerinin spesifik kombinasyonu,
- Liflerin uygun şekilde hizalanması, malzemenin mukavemetini ve sertliğini artırabilir, ancak işleme sırasında kesme kuvvetlerini ve yüzey kalitesini de etkileyebilir,
- Takviye liflerinin uzunluğu ve içeriği, biyokompozitlerin mekanik özelliklerini etkiler. Daha uzun lifler genellikle daha iyi gerilme mukavemetine neden olur, ancak takım aşınmasına yol açar,
- Kesme parametreleri ve kesme ortamları malzemenin sürtünme derecesini ve dolayısıyla işlenebilirliğini etkiler.

4. Polimer Matrisli Biyokompozitlerin Biyouyumluluğu

Bütünü oluşturan veya o amaçla bir araya getirilecek her madde için malzeme terimi kullanılır. Sağlık ve teknolojinin gelişmesiyle sıklıkla adı duyulan duyduğumuz ve çalışmaların ivmelenerek arttığı biyomedikal uygulamalarında insan ile temas ederek veya vücut içerisinde kullanılmak üzere olanları "biyomalzeme" olarak adlandırılır. Biyomalzemelerin ilk izlerine M.Ö.900 yıllarından olduğu tespit edilen tahtadan takma ayak, el, çeşitli göz vb. yapılara rastlanmıştır. O zamanlardan beri kullanım alanları hasarlı yapı yerine, iyileşmeyi

destekleme, özelliklerini geliştirmek, tedavi, kozmetik ve estetik kaygı olmak üzeredir. Örneğin; protez, ameliyat ipliği, vida ve plakalar, kalp pili, diyaliz, lens, kateter, drenaj, endoskopi, deri implantasyonu, serumlar, elektrotlar, diş teli biyomalzemeler arasındadır. Günümüze kadar geçen süreci kaba bir şekilde sınıflandırıldığında ilk sınıf yapısal, ikinci sınıf implantların vücutla bütünleşmesi ve bozulabilmesi, üçüncü sınıf doku mühendisliği kapsamında ayrılabilir.

Mertz, gün geçtikçe değeri ve önemi artan biyouyumlu terimini, mühendisler ve bilim dünyasındaki araştırmacıların da çalışmalarının temeline oturmuştur (Mertz, 2013). Geçmişten bugüne amacı; insan vücudundaki dokunun gerçekleştirmesi gereken işlevi tamamen veya kısmen gerçekleştiremeyerek sistemdeki bütünlüğü bozması sonucu yerine aynı işlevi yapılabilecek doğal veya yapay kaynaklarla laboratuvar ortamında hazırlanan yapı ile değiştirilmesidir. Oldukça eski bir geçmişe sahip olan biyomalzeme için en sık ve genel olan tanımı; hastalanmış veya bozulmuş yapıların yapay ortamda elde edilmesiyle yapının iyileştirilmesi ve desteklenmesini sağlayan malzemelerdir.

Kullanılan malzemelerin doğal haline benzerliği ve çalışmasında konak yapıdan olumsuz bir dönüt istenmez. İdeal bir malzeme için dayanıklı, rahat/ergonomik, uzun ömürlü, zararsız olması istenir (Mozafari, 2020). Bu kapsamda vücuda sonradan eklenecek yapay organ, implant vb., sistemle uyumlu çalışıp bir bütün oluşturabilmesi için birleşeceği dokuların malzemeyi kabul ederek canlılık faaliyetlerini devam ettirilmelidir (Williams, 2008). En iyi sonuçların alınmasında bütünlüğünü koruması, alerjik olmaması, kanserojen olmaması, toksik olmaması, steril kalmalı, biyouyumlu olmalı, kullanım ömrü uzun olması gibi taşıması gereken özellikler vardır. Bunlardan biyouyumluluk tanımı oldukça öneme sahip ve çeşitli sonuçlara sebebiyet verebilecek bir özelliktir.

Biyouyumluluk; Malzemenin vücuttaki yerleştirileceği doku, sıvı gibi değişen özellikteki ortam değişebilmekte olup iki farklı parçanın kimyasal, fiziksel ve fizikokimyasal gibi reaksiyonlar göstermesi durumunda ortama verebileceği olası zararlı tepkileri göstermemesidir. İşlevleri doğrultusunda yerleştirilen malzemenin yüzeyine karşılık gelen ortam (doku) yüzeyi ile bütünleşmesi için temas söz konusudur (Hilborn & Bjursten, 2007). Konak organizma tepkisi (Host Responses): Kullanılan olan malzemeye karşı canlı organizmaların gösterebileceği sistemik ve lokal tepkidir. Tepkilere örnek olarak; hemoliz, Tromboz, enfeksiyon, enflamasyon, karsinojen, alerjik reaksiyonları verilir.

Tıbbi cihazlar ve sağlık alanında kullanılacak biyomalzemelerin güvenilirliği için biyouyumluluk testleri oldukça önemlidir. Biyomedikal uygulamalarda da uygulanan biyouyumluluk testlerine; sitotoksitite (in vitro), irritasyon, sensitizasyon gibi örnekler verilebilir.

Bahsedilen bilgiler ışığında biyouyumluluk, pek çok alanda uygulaması olması bu terimin çok önemli olduğunun kanıtıdır. Biyomalzemelerin işlevi, özellikleri ve yapıları anlaşılması kullanılacağı alanı direkt etkilemekte olup bu malzemelerin biyouyumlu karakteristiğinin olması etkinliği açısından olmazsa olmazdır.

5. Polimer Matrisli Biyokompozitlerin Bozunabilirliği

Kompozit malzemelerin iyileştirilmiş yapısı ve yüksek direnç değerleri sayesinde kullanım alanı oldukça geniştir. Kompozit malzemelerde en yaygın kullanılan matrisler olarak Polistiren (PS), Polikaprolaktan (PCL), Polietilen (PE), Polilaktik asit (PLA), Polipropilen (PP) ve Polivinil alkol (PVA) sayılmaktadır. Takviye malzemesi olarak ise lignoselüzik malzemeler gibi malzemeler kullanılmaktadır.

Günümüzde polimerik malzemelerin kullanım alanı oldukça geniş olması, her geçen gün malzemelerin iyileştirilmesine yönelik çalışmaların artmasına sebebiyet vermektedir. Son gerçekleştirilen çalışmalarla birlikte biyobozunur polimerlerin önemi vurgulanmış ve kullanımı artmıştır. Kompozit malzemelerin polimer yapısı enzimatik reaksiyonlar ile etkileşime girerek su, metan ve inorganik bileşiklere dönüşüyorsa eğer o malzeme biyobozunur malzemedir. Bu malzemelere örnek olarak Polivinil alkol (PVA) biyouyumlu yapısı ve hidrofilik yapısıyla örnek verilebilir.

Biyobozunur polimerler arasında Polilaktik asit (PLA) önemli bir yere sahiptir. Yapısal özelliklerinin yanında, mekanik uygunluğu, biyouyumluluğu ve matris yapısı ile gaz geçirgenliği birçok farklı alanda kullanılmasını sağlamıştır. Sahip olduğu düşük tokluğu, işlenebilirliği sayesinde ayarlanmakta ve farklı sektörlerde kullanılmasını sağlamaktadır.

Biyobozunur maddeler, kısacası doğada kaybolan plastikler; protein, selüloz ve nişasta gibi polimerlerden üretilmektedir. Doğada kayboldukları için doğayı kirletmemesi ile atık problemini ortadan kaldırmaya yardımcı olduğu için sıklıkla kullanılmaktadır (Surengil vd., 2011). Biyobozunur polimerler bir diğer kullanım alanı ise aktif maddelerin muhafazası ve aynı zamanda taşınmasıdır.

Sonuç

Günümüzde metal dışı malzemeler içerisinde olan polimerik malzemeler giderek artan bir ilgiye sahiptir. Çünkü polimerik malzemelerin uygun maliyeti bir çok alanda tercih edilmesini sağlamaktadır. Polimer matrisli kompozitler ise kompozit uygulamalarında en çok kullanılan kompozit türüdür. Bunun en önemli sebebi üretim aşamasının kolay olması ve doğada bolca bulunmasıdır. Polimerik ve polimer matrisli malzemeler birçok avantajlı özelliğe sahiptir. Bu özellikler arasında kırılma veya çatlama dayanıklılığı, gerilme kuvveti, sıkılığı yüksektir, delinmeye, aşınmaya ve korozyona karşı dirençliliği bulunmaktadır. Polimer matrisli kompozitlerin otomobil, havacılık, denizcilik ve tıp uygulamalarında çok sayıda kullanımı bulmaktadır. Polimer matris kompozitler cerrahi ekipmanlarda, implantlarda ve diş protezlerinde kullanılmaktadır. Kompozitlerin üretim yöntemi birçok ürünün tasarımı ve sonucu için önemlidir. Seçilecek üretim yöntemi; takviye malzemesine (elyaf), matris malzemeye (reçine), parça şekline, istenen mekanik ve fiziksel özelliklere bağlı olarak değişim göstermektedir. Seçilecek üretim yöntemi elde edilmek istenen ideal özelliklerdeki malzemeleri sunması açısından dikkatle ve uygun olanın seçilmesi kritiktir. Bu kararın verilmesinde kaynak malzemenin (kompozit, polimerik) özellikleri ile üretim yöntemlerinin parametre ve çalışma prensiplerinin de iyi tanınması gerekmektedir. Literatürde polimer matrisli biyokompozitlerin üretim yöntemleri ve işlenebilirlikleri ile ilgili çalışmalarının kısıtlı olması bu konuyu bilimsel alanda çalışmak için cazip kılmaktadır. Literatürde mevcut bulunan çalışmaların ışığında, çalışmamızın ilgili konuya açıklık getirilmesini ve ilgili alanda çalışma yürütecek araştırmacılara yol gösterici bir kaynak olmasını hedeflemekteyiz.

KAYNAKLAR

Advani, S. G., & Sozer, E. M. (2002). *Process modeling in composites manufacturing*. CRC press.

Agung, E. H., Hamdan, M. H. M., Siregar, J. P., Bachtiar, D., Tezara, C., & Jamiluddin, J. (2018). Water absorption behaviour and mechanical performance of pineapple leaf fibre reinforced polylactic acid composites. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, *15*(4), 5760-5774.

Akkurt, M. (2004). *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, Birsen Yayın Evi*.

Arrazola, P.-J., Garay, A., Iriarte, L.-M., Armendia, M., Marya, S., & Le Maître, F. (2009). Machinability of titanium alloys (Ti6Al4V and Ti555.3). *Journal of*

Materials Processing Technology, *209*(5), 2223-2230. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.06.020

Bayraktar, Ş., & Turgut, Y. (2013). Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemelerin Talaşlı Şekillendirilebilirliği. *Uluslararası Plastik & Kauçuk Teknolojileri Sempozyumu ve Ürün Sergisi, Ankara-Türkiye*, 9-18.

Çelik, Y. H., & Kiliçkap, E. (2018). Titanyum alaşımlarından Ti-6Al-4V'nın işlenmesinde karşılaşılan zorluklar: Derleme. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, *6*(1), 163-175.

Dalu, M. (2017). *Investigation n properties of wood plastic composite made of treated wood flour with tanalith and polylactic acid (PLA)*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Demiryürek, O. (2004). *Sentetik lif üretiminde kullanılan ekstrüderler ve ekstrüder-pompa sisteminin tasarım esasları*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana.

Dieringa, H., & Kainer, K. U. (2012). Magnesium Matrix Composites: State-of the-art and what's the future. *Advanced Materials Research*, *410*, 275-278.

Gandhi, U., Goris, S., Osswald, T. A., & Song, Y.-Y. (2020). *Discontinuous fiber-reinforced composites: Fundamentals and applications*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.

Hilborn, J., & Bjursten, L. M. (2007). A new and evolving paradigm for biocompatibility. *Journal of Tissue Engineering and Regenerative Medicine*, *1*(2), 110-119. https://doi.org/10.1002/term.4

Holbery, J., & Houston, D. (2006). Natural-fiber-reinforced polymer composites in automotive applications. *Jom*, *58*, 80-86.

Hung, C., Chen, R.-H., & Lin, C.-R. (2002). The characterisation and finite-element analysis of a polymer under hot pressing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *20*, 230-235.

Jahanmir, S., Ramulu, M., & Koshy, P. (2000). *Machining of ceramics and composites*.

Katta, S., & Chaitanya, G. (2017). Key improvements in machining of Ti6al4v alloy: A review. *AIP conference proceedings*, *1859*(1), 020048.

Jaafar, J., Siregar, J. P., Tezara, C., Hamdan, M. H. M., & Rihayat, T. (2019). A review of important considerations in the compression molding process of short natural fiber composites. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 105, 3437-3450.

Kim, D.-J., Yu, M.-H., Lim, J., Nam, B., & Kim, H.-S. (2019). Prediction of the mechanical behavior of fiber-reinforced composite structure considering its shear

angle distribution generated during thermo-compression molding process. *Composite Structures*, *220*, 441-450.

Ogorodnyk, O., & Martinsen, K. (2018). Monitoring and control for thermoplastics injection molding a review. *Procedia Cirp*, *67*, 380-385.

Köse, E. (2006). *Plastik enjeksiyonda proses ve kalıp kaynaklı sorunların giderilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Ku, H., Wang, H., Pattarachaiyakoop, N., & Trada, M. (2011). A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites. *Composites Part B: Engineering*, *42*(4), 856-873.

Liu, W., Drzal, L. T., Mohanty, A. K., & Misra, M. (2007). Influence of processing methods and fiber length on physical properties of kenaf fiber reinforced soy based biocomposites. *Composites Part B: Engineering*, *38*(3), 352-359.

Mark, H. F. (2013). *Encyclopedia of polymer science and technology, concise*. John Wiley & Sons.

Groover, M. P. (2015). Modern imalatın prensipleri. Nobel Yayıncılık.

Mertz, L. (2013). What Is Biocompatibility?: A New Definition Based on the Latest Technology. *IEEE Pulse*, *4*(4), 14-15. https://doi.org/10.1109/MPUL.2013.2262138

Mozafari, M. (2020). *Handbook of Biomaterials Biocompatibility*. Woodhead Publishing.

Niknam, S. A., Khettabi, R., & Songmene, V. (2014). Machinability and machining of titanium alloys: A review. *Machining of titanium alloys*, 1-30.

Ogorodnyk, O., & Martinsen, K. (2018). Monitoring and Control for Thermoplastics Injection Molding A Review. *Procedia CIRP*, *67*, 380-385. https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.229

Rao, M., Hooke, C. J., Kukureka, S. N., Liao, P., & Chen, Y. K. (1998). The effect of PTFE on the friction and wear behavior of polymers in rolling-sliding contact. *Polymer engineering & science*, *38*(12), 1946-1958.

Raturi, G., Shree, S., Sharma, A., Panesar, P. S., & Goswami, S. (2021). Recent approaches for enhanced production of microbial polyhydroxybutyrate: Preparation of biocomposites and applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, *182*, 1650-1669.

Rubio-López, A., Olmedo, A., Díaz-Álvarez, A., & Santiuste, C. (2015). Manufacture of compression moulded PLA based biocomposites: A parametric study. *Composite Structures*, *131*, 995-1000.

Surengil, G., Kılınç, B., Ege, Ü., Su, Ü., Fakültesi, S., Ürünleri, A., Ve, İ., Bölümü, Bornova, İzmir, Kilinc, B., Su, E., Fakültesi, Ü., Ürünleri, S., Ve, A., Bölümü, İ., & Bornova, İ.-T. (2011). Gıda -ambalaj sektöründe nanoteknolojik uygulamalar ve su ürünleri açısından önemi. *Journal of Fisheriessciences.com*. https://doi.org/10.3153/jfscom.2011036

Suslick, K. S. (2001). Encyclopedia of physical science and technology. *Sonoluminescence and sonochemistry, 3rd edn. Elsevier Science Ltd, Massachusetts*, 1-20.

Şahin, Y. (2006). Kompozit Malzemelere Giriş, Seçkin Yayıncılık San. Ve Tic. *Aş, Ankara, Ekim*.

Taketa, I., Okabe, T., & Kitano, A. (2008). A new compression-molding approach using unidirectionally arrayed chopped strands. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, *39*(12), 1884-1890.

Trauth, A., & Weidenmann, K. A. (2018). Continuous-discontinuous sheet moulding compounds–effect of hybridisation on mechanical material properties. *Composite Structures*, *202*, 1087-1098.

Tungjitpornkull, S., & Sombatsompop, N. (2009). Processing technique and fiber orientation angle affecting the mechanical properties of E-glass fiber reinforced wood/PVC composites. *Journal of Materials Processing Technology*, *209*(6), 3079-3088.

Williams, D. F. (2008). On the mechanisms of biocompatibility—ScienceDirect. *Biomaterials*, *29*(20), 2941-2953.

Yilmaz, N. D., Michielsen, S., Banks-Lee, P., & Powell, N. B. (2012). Effects of material and treatment parameters on noise-control performance of compressed three-layered multifiber needle-punched nonwovens. *Journal of Applied Polymer Science*, *123*(4), 2095-2106. https://doi.org/10.1002/app.34712

Zal, V., Naeini, H. M., Bahramian, A. R., & Sinke, J. (2017). Investigation of the effect of temperature and layup on the press forming of polyvinyl chloride-based composite laminates and fiber metal laminates. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *89*, 207-217.

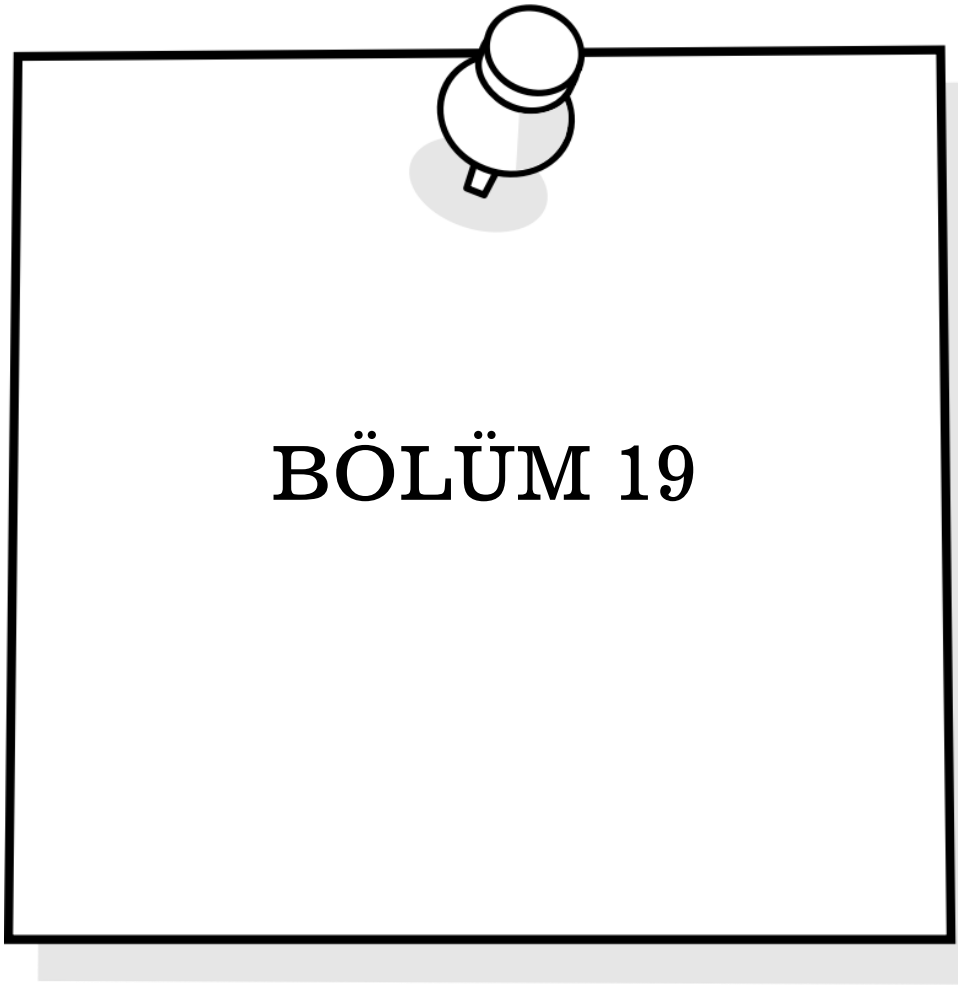
Zampaloni, M., Pourboghrat, F., Yankovich, S. A., Rodgers, B. N., Moore, J., Drzal, L. T., Mohanty, A. K., & Misra, M. (2007). Kenaf natural fiber reinforced polypropylene composites: A discussion on manufacturing problems and solutions. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, *38*(6), 1569-1580.

Zhao, P., Zhang, J., Dong, Z., Huang, J., Zhou, H., Fu, J., & Sheng Turng, L. (2020). Intelligent Injection Molding on Sensing, Optimization, and Control. *Advances in Polymer Technology*. https://www.hindawi.com/journals/apt/2020/7023616/

ISBN: 978-625-6971-84-4

Zini, E., & Scandola, M. (2011). Green composites: An overview. *Polymer composites*, *32*(12), 1905-1915.

k ürünün tasarımı ve sonucu için önemlidir. Seçilecek üretim yöntemi; takviye malzemesine (elyaf), matris malzemeye (reçine), parça şekline, istenen mekanik ve fiziksel özelliklere bağlı olarak değişim göstermektedir.



BÖLÜM 19

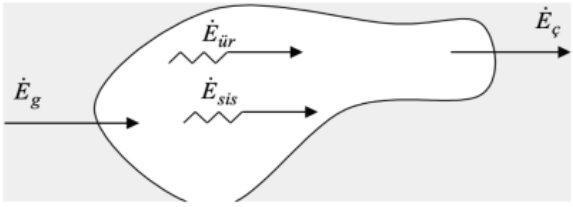
ISBN: 978-625-6971-84-4

ENERJİ ANALİZİ VE MODELLEME YÖNTEMLERİ

Öğr. Gör. Abdulsamed GÜNEŞ[1]

Üniversitelerin yerleşim bölgeleri ve kampüslerde enerji analizlerinin yapılmasına engel olacak önemli zorluklar vardır. Bu alanlarda çok sayıda ve farklı tipolojilerde sistemler, yapılar ve tesisler mevcuttur. Bu tesis ve yapılar kayıtlı ya da kayıtsız da olabilmektedirler. Bu yapılardaki faaliyetler (Ar-Ge, kütüphane, aydınlatma, akıllı cihazlar, ulaşım hizmetleri, enerji üretim sistemleri) çok değişken yüklerde ve belli bir periyotta çalışmadığı için enerji analizini yapmayı zorlaştırmaktadır.

Enerji analiz yapılırken temel olarak Termodinamiğin 1. Kanunu kullanılır. Bu kanun uygulanırken "Enerjinin Korunumu" prensibi kullanılarak geometrik sınırları belirlenmiş sistemler için enerji dengesi denklemleri oluşturulmaktadır. Şekil 1'de gösterilen sınırları belli bir sistemdeki enerji dengesi; sisteme giren, sistemden çıkan ve sistemde üretilen enerji dikkate alınarak temel enerji analizi için istenen veriler hesaplanmaya başlanmış olur.



Şekil 1. Enerji Dengesi

[1] Fırat Üniversitesi, ORCID: 0000-0002-8652-3720

$\acute{E}_g$= Sisteme Giren Enerji

$\acute{E}_ç$= Sistemden Çıkan Enerji

$\acute{E}_{ür}$= Sistemde Üretilen Enerji

$\acute{E}_{sis}$= Sistemdeki Enerji

Belli bir andaki t zamanı için enerji korunumu;

Anlık sistem enerjisi = (Giren E.) – (Çıkan E.) + (Üretilen E.)

$$\acute{E}_{sis}=\frac{dEsis}{dt} = \acute{E}_g - \acute{E}_ç + \acute{E}_{ür} \quad (1)$$

Belirli bir zaman periyodundaki enerji korunumu ise

Sistemdeki Enerji Değişimi=(Giren E.)–(Çıkan E.)+(Üretilen E.)

$$\Delta E_{st} = E_g - E_ç + E_{ür} \quad (2)$$

şeklinde verilebilir.

Sistemlere enerji analizi yapılırken kapalı sınırlara sahip ve kütle giriş-çıkışı olmayan örnekteki tekil sistemler için (1) ve (2) denklemdeki gibi genel formlarda ifade edilmesi standart bir uygulamadır. Fakat çok fazla sayıda enerji tüketen sistemden (tesisler, yapılar, laboratuvarlar, aydınlatma birimleri vs.) ve depolama sistemlerinden oluşan üniversite kampüslerinde, bütün sistemin tamamını kapsayan bir enerji depolama sistemi genellikle yoktur. Bunun en temel sebepleri maliyet ve enerji arzını karşılayamama ihtimalidir. Bu sebeple sistemin enerjisi veya sistem enerjisinde değişim miktarı denklemden çıkarılarak enerji dengesi için toplam enerji arzı ile kayıplarda dahil olmak üzere toplam enerji tüketimi arasındaki denge kurulmuş olacaktır.

Bir enerji tesisindeki enerji yönetimi yapılırken enerji girişleri, enerji kayıpları, enerji tüketimleri miktarları, enerji depolama sistemleri ve sistem içi enerji üretimleri göz önüne alınarak Termodinamiğin 1. Kanunun uygulanması durumunda entegre bir tesisin teorik enerji dengesi aşağıda verilen denklem ile kurulur.

ISBN: 978-625-6971-84-4

Toplam Enerji Arzı	=	Tesisteki Toplam Enerji Tüketimi (Kayıplar dahil)

Tesis Dışından Tedarik Edilen Enerji + Tesis İçerisinde Üretilen Enerji + Tesiste Depolanan Enerji	=	Tesiste Tüketilen Faydalı Enerji + Tesisteki Kayıp Enerji Miktarı

Enerji dengesi kurulumda ayrıca faydalı enerji miktarını ve bu enerjiyi kullanım oranını belirten buna ek olarak verimliliği de ölçen bir gösterge olması gerekmektedir. Bu kavramın ifadesi Termodinamiğin II. Kanunu gereğinde aşağıdaki gibi belirlenir.

Toplam Enerji Arzı	≥	Tesisteki Toplam Enerji Tüketimi (Tüm kayıplar dahil)

Bu kavram bir eşitsizliktir. Dolayısıyla enerji kullanımında/dönüşümündeki teorik verimlilik ifadesi (3) numaralı aşağıdaki denklem vasıtasıyla hesaplanır.

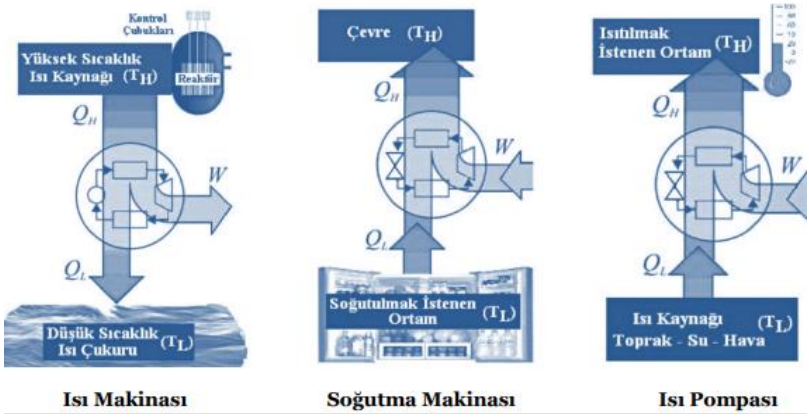
$$\text{Verim}=(\text{Faydalı Enerji Çıktısı})/(\text{Toplam Enerji Girdisi}) \leq 1 \quad (3)$$

Enerji Yönetimi

Enerji analizi yapılırken kullanılan denklem ve eşitsizliklerin uygulamada direkt karşılığının bulunabilmesi; kampüs içerisindeki enerji girdi, çıktılarının, kayıplar ve enerji üretimlerinin takip edilip analizlerinin yapılmasıyla mümkündür. Günümüzde bu analizlerin yapılması amacıyla kullanılan gelişmiş enerji izleme ve yönetim sistemi ile mümkün olabilmekte ve bu sayede kampüslerdeki enerji bilançosu anlık olarak izlenip, enerji arz talep dengesi

hatasıza yakın bir derecede yönetilmesine imkan sağlamaktadır. Bu yönetim platformları sayesinde; kapsamlı analizler yapabilme, analitik sonuçlar çıkarma, bulut sistemlerinde ve serverlarda çalışabilme, yenilenebilir enerji sistemlerini izleyebilmesi ve yönetebilmesi, aydınlatma, HVAC vb. diğer otomasyon sistemleriyle entegre edilebilmesi, "ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi" ile uyumlu raporlamalar yapması, kablolu-kablosuz sensörlerle çalışabilmesi gibi avantajlara sahiptir. Bu yönetim sistemleri aynı zamanda, enerji kullanan sistem ve cihazların birbiri ile haberleşmesi (bulut, server ve IoT) sayesinde; enerji tasarrufu, sistemi uzaktan kontrol etme, yönetme ve maliyetleri düşürme imkanı da sağlamaktadır. Enerji piyasasındaki yeni gelişmelerin, düzenlemelerin enerji maliyetleri üzerindeki etkileri, kampüslerdeki enerji arz-talep dengesi üzerindeki risklerin önceden planlanmasına da katkı sağlayarak verimliliğin artmasına imkan vermektedir.

Enerji analizlerinde konunun tam olarak anlaşılması için örnek verilmesi gereken cihaz ve makinalar olarak ısı makinası, soğutma makinası ve ısı pompası il olarak akla gelmektedir. Bu makine ve cihazların analizleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 2. Isı Makinesi, Soğutma Makinesi ve Isı Pompası Çalışma Prensipleri (Cengel, 2011)

Isı makinaları, ısı enerjisi ile mekanik enerji üretebilen cihaz ya da çevrim makinalarıdır. Mekanik enerjinin üretilmesi için ısının yüksek sıcaklıktaki bir kaynaktan alınarak düşük sıcaklıktaki bir kaynağa transferi edilmesi gerekmektedir. Sistemden elde edilen faydalı enerji çıktısı olarak mekanik iş W, bu işi elde etmek için sisteme verilen toplam enerji Q_H olarak belirtilirse sistemin verimi (4) numaralı denklemde verilmiştir.

$$W/Q_H \leq 1 \quad (4)$$

şeklinde gösterilebilir. Soğutma makinalarında ise; soğutulmak istenen bölgedeki düşük sıcaklıktaki kaynaktan ısıyı çekerek yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağına aktarmak için dışarıdan bir mekanik enerji girişine ihtiyaç vardır. Soğutma makinalarında sisteme dışarıdan mekanik enerji girişi olduğundan; verim değerinden ziyade etkinlik katsayısı veya performans katsayısı olarak Türkçeye çevrilen COP (Coefficient of Performance) terimi kullanılmaktadır. Bu tanımlamada faydalı enerji çıktısı soğutma makinası aracılığıyla ortamdan çekilen (5) numaralı denklemde Q_L ısısı, bu etkiyi elde etmek için sisteme sağlanan mekanik enerji W olduğundan;

$$Q_L / W \geq 1 \quad (5)$$

olarak ifade edilir. Isı pompaları çevrimi ise, soğutma makinaları ile aynı prensipte çalışmasına rağmen, bu çevrimdeki amaç düşük sıcaklıktaki kaynaktan çekilen ısıya ek olarak sisteme giren iş toplamı kadar bir enerjiyle yüksek sıcaklıkta bir ortamın oluşmasını sağlamak yani ısıtma temin etmektir. (6) numaralı denklemde verilen ısı pompalarında etkinlik katsayısı tanımı kullanılır ve asıl amaç yüksek sıcaklıktaki ortamı ısıtmak olduğundan;

$$Q_H / W \geq 1 \quad (6)$$

şeklinde ifade edilir.

Enerji Analiz Araçları

Enerji analizi, bir sistemdeki enerji giriş ve çıkışlarının belirlenmesi ve bu sistemi bu veriler aracılığı ile yorumlama amacı ile yapılır. Sisteme giren toplam enerjinin yüzdelik dilim olarak ne kadarının istenen hedefler için harcandığı ve yüzde kaçının da kayıp olarak tespit edildiği hakkında sayısal veriler sunmaktadır. Enerji analiz işlemi sisteme giren ve çıkan enerji miktarının tespit edilmesi ve tespit edilen bu değerler ile bu veriler arasında bir denklem kurulması esasına dayanır. Sistemlere enerji analizi uygulanırken her aşamada termodinamiğin birinci yasasının esasları göz önüne alınarak yapılır. Enerji analizine başlarken sisteme giren ve çıkan enerji yerleri belirlenir. Ardından bu bölgelerden giriş-çıkış yapan enerjinin hesaplaması yapılır. Bu işlemin temel amacı pratikte kullanılan enerji kapasitesinin hesaplanmasıdır. Bu işlemler iki adımda gerçekleştirilir.

• **Birinci Adım:** Siteme enerji girişinin nereden olduğu ve bu giren enerjinin büyüklüğünün hesabı yapılarak tespit edilir. Amaç enerji verimliliğini arttırmak ve enerji sarfiyatını kısmak olduğuna göre öncelikle hangi noktadan ne kadar

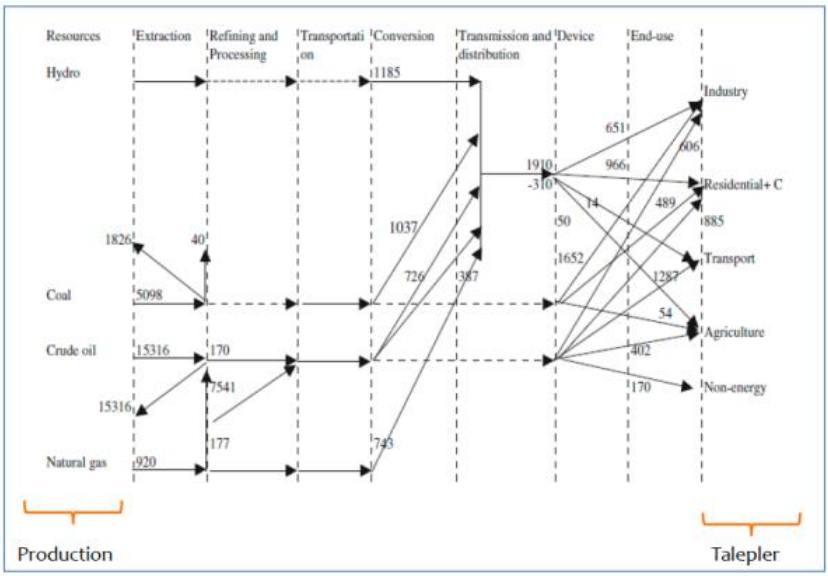
enerji girişinin olduğunun tespiti gerekmektedir. Enerji tüketimini azaltmak için sisteme enerjinin girdiği noktalarını belirlemek ve belirlenen bu bölgelerdeki enerjinin büyüklüğünü tespit etmek mühimdir

• **İkinci Adım:** Belirlenen enerjinin sistemden çıkış yaptığı bu bölgelerden sistemden çıkan enerji büyüklüğünün hesaplama işlemi yapılır. Enerji verimliliği yapabilmemiz için enerjinin sistemden çıkış yaptığı bölgelerdeki büyüklüklerinde hesaplanması gereklidir. Eğer enerji tüketim noktaları ve miktarları tespit edilmes ise tasarruf yapma durumu da olmayabilir. Enerji analizi işlemlerinin neticesinde enerjinin sisteme giriş ve çıkış yapması ile enerji miktarlarını şematik olarak gösteren diyagramlar hazırlanır. Bu işlem için kullanılan genellikle iki tip diyagram mevcuttur. Referans Enerji Sistemleri (RES) Akış Diyagramı ve Sankey Enerji Akış Diyagramı.

Referans Enerji Sistemleri (RES) Akış Diyagramı

Bir enerji sisteminin işlemlerini ve ilişkilerini göstermek için bir ağ formu kullanarak enerji akışını kaynaktan itibaren enerji dönüşümlerini de gösterime dahil edecek şekilde son tüketimlere kadar görme, yorumlama ve takip etme şansı veren diyagram türüdür. Genel bir tesis içerisinde mevcut olan tüm bilgileri içerir ve her noktadaki enerji dönüşümü ile tüketim cihazlarının verimlilik tespitini de yapar. Bu tür akış diyagramlarında optimizasyon ya da diğer teknolojiler kullanarak enerji sisteminin analitik çalışmalarının yapılması, sektörel enerji dengelerinin incelenmesi ve son tüketim cihazlarının analizi de mümkündür. Ülke bazında tüm enerji sistemini görselleştirme ve kapsamlı bir şekilde analiz etme amacıyla da kullanılmakta olup, bu konuda Türkiye enerji dengesine yönelik bir çalışma Şekil 3'de gösterilmiştir. (YEVDES Akademik Ders Notları, 2021)

ISBN: 978-625-6971-84-4



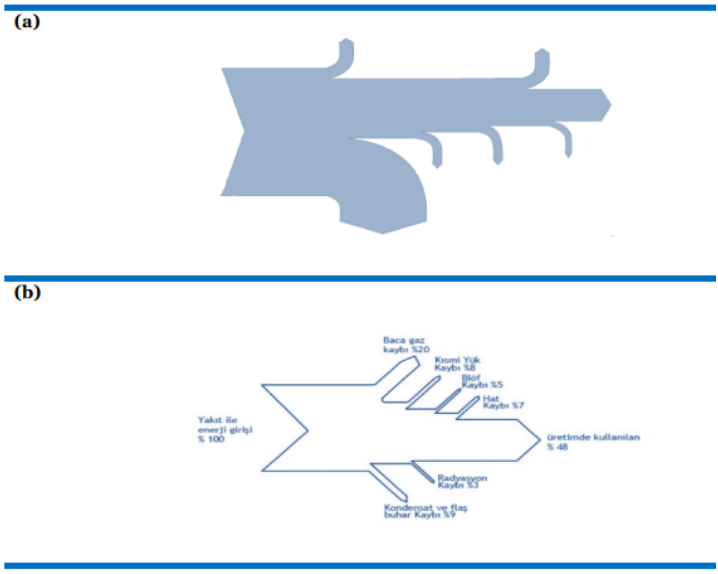
Şekil 3. Referans Enerji Sistemleri (RES) Akış Diyagramı Örneği

Sankey Enerji Akış Diyagramı

Referans enerji sistemleri akış diyagramlarına göre daha anlaşılabilir bir diyagram tekniği olan Sankey diyagramları daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Sankey diyagramları, ismini İrlandalı Kaptan Matthew Henry Phineas Riall Sankey (1853-1921)'den sonra almıştır. Sankey, 1898'da çıkardığı çalışmasında buhar türbinlerinin verimini hesaplamak için enerji akışının hacimle orantılı olan gösterimlerini hesaplayan ilk bilim adamıydı. İlk yapılan siyah-beyaz diyagramlarla tek tip bir akış resmedilirken, farklı tiplerdeki akışlar için farklı renkleri kullanmıştır. Sankey'in kullandığı diyagramları hakkında, literatürde farklı açıklamalar yapılmış olup, yapılan çalışmaların bir kısmı aşağıda verilmiştir.(Wikipedia 2023)

- Sankey diyagramı ok boyutlarının genişliğinin akış büyüklükleri ile doğru orantılı olarak resmedildiği akış diyagramıdır. Bunlar, iş süreçlerinin birbirleri ile ilişkili olan enerji veya madde transferlerini göstermek için kullanılır.
- Sankey'in yapmış olduğu diyagramlar ok boyutlarının genişliğinin akış miktarıyla doğru orantılı olduğu ve akışların her noktadan ayrıldığı ve izlenebildiği akış diyagramlarıdır.

- Sankey diyagramları, bir prosesteki madde ve enerji dağılımlarını ve kayıplarını hızlı bir şekilde canlandırmaya yardımcı olan dikkat çekici diyagramlardır. Diyagramda kullanılan çizgilerin genişliği, madde veya enerji miktarıyla doğru orantılıdır.
- Sankey diyagramında enerji denkliği analizleri hesaplandıktan sonra ısıtıcı, kazan vb. sistemlerdeki enerji geçişlerini ve kayıplarını gösterebilmek için kullanılan çok açıklayıcı diyagramlardır. Enerji yöneticileri önem sırası şeklinde iyileştirmeleri bulmaya odaklanabilsin diye, bu diyagramla, değişik çıkanlar ve kayıplar görsel olarak gösterilir. (Schmidt 2008)
- Şekil 4'te örnek olarak bir jenerik ve enerji analizine uygun Sankey diyagramı ile sanayide bir uygulamaya yönelik gösterimler verilmiştir.



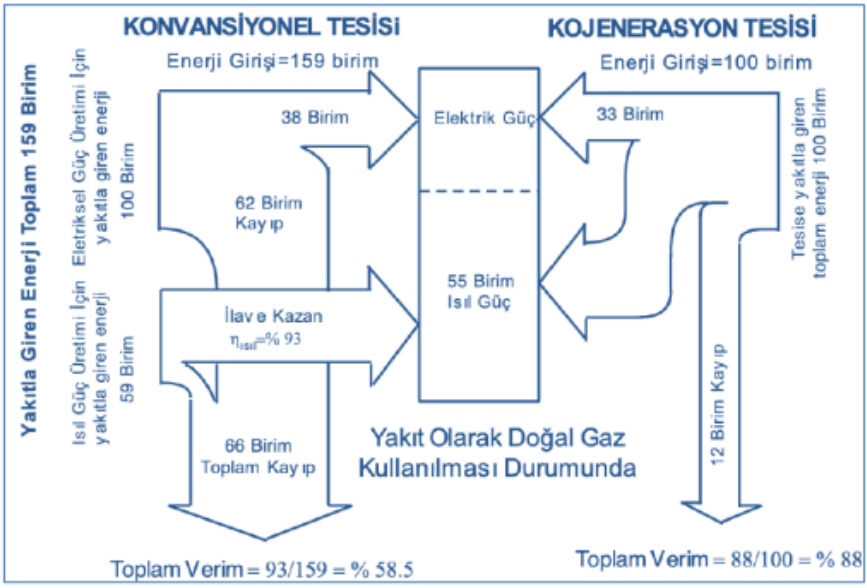
Şekil 4.* (a) *Jenerik Sankey diyagramı,* (b) *Sanayide Kullanılan Bir Buhar Kazanının Enerji Analizine Yönelik Sankey Diyagramı

Sankey diyagramının fayda ve kullanışlılığını vurgulamak amacıyla sunulan Şekil 4(b)'ye baktığımızda 100 birim giren enerjinin 48 birimi üretimde kullanılmakta diğerleri ise kayıp enerji olarak çevreye atılmaktadır. Kaybolan enerjinin büyüklüğüne baktığımızda giren enerjinin %20'ye yakını bacadan atılmakta, %9'luk ir kısmı buhar kaybı olarak ortaya çıkmaktadır. Ardından %8'lik kaybı kısmi yük kaybı %7'si ise hat kaybı olarak tespit edilmiştir. Giren

ISBN: 978-625-6971-84-4

enerjini %5'lik bir kısmı blöf kaybı, %9'u kondensat ve flaş buhar kaybı %3'ü ise radyasyon kaybı olarak belirtilmiştir.

Bu sistemdeki %48 olarak belirtilen ve üretimde kullanılan buhar yüzdesi sistemin verimliliğini de göstermektedir. Diğer noktalarda azaltılan her kayıp üretimde kullanılan buhar miktarının artışını sağlayarak verimliliği de arttıracaktır.(Söğüt 2009) Sankey diyagramları sınırları fiziksel veya sanal olarak sınırlandırılmış tüm sistemlerin ve kontrol hacimlerinin enerji analizinde kullanılabilir. Gerçekte çok karmaşık ve büyük ölçekli ortamların enerji analizlerini görselleştirmede ve kolayca anlaşılmasında önemli bir rol oynarlar.

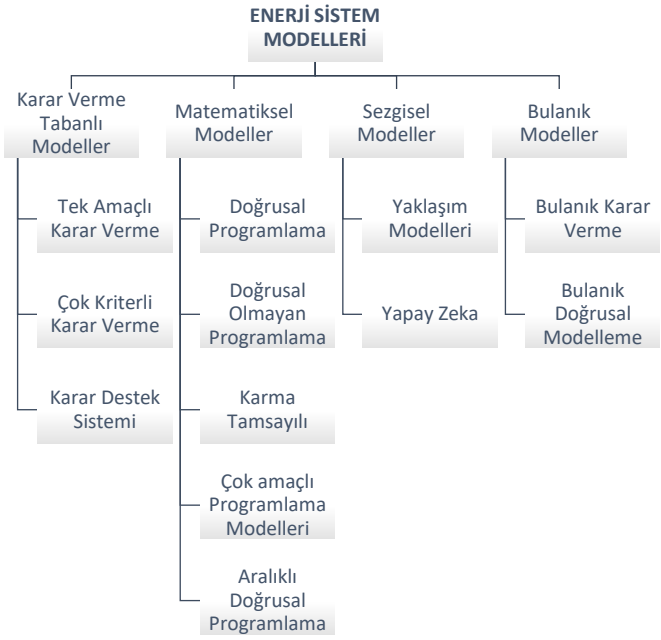


Şekil 5. Kojenerasyon Sisteminin Enerji Üretimindeki Avantajını Göstermede Sankey Diyagramının Kullanılması.

Enerji Modelleme Araçları

Enerji kaynakları temel olarak kaynağının ve sistemin bağlı olduğu bölgelerin iklim şartlarına bağlıdır bu sebeple sitemin tasarım ve projelendirme aşamasında optimizasyon yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Enerji planlama, üretim ve dağıtım sektörleri disiplinler arası alana sahiptir. Enerji sistemlerindeki birbirinden farklı mühendislik uygulamalarının sisteme entegre edilmesi için tüm sistemlerin ayrı ayrı optimizasyon şartlarının sağlanarak sonradan bütün bir sistem halinde tekrar optimize edilmesi sağlanarak kurulumunun yapılması gerekmektedir. (Talbi 2009)Enerji sistemleri kompleks ve çok fazla değişkenin bulunduğu sistemlerdir. Çok sayıda değişken ve parametre içerdiğinden teknik karmaşıklığı yüksek ve çözümü zor uygulamalardır. Enerji uygulamalarının hemen hemen hepsinde oluşan problemlerin birçok sorun ve hedef aynı zamanda iyileştirmeye çalışıldığından şartların optimize edilmesi çok önemlidir. Enerjide optimizasyon çalışmaları son yıllarda çok fazla sayıda yapılmaktadır ve önemi de bu şekilde anlaşılmaktadır. Enerji verimlilik oranını yükseltme, enerji yatırımları ve planlama işlemleri, enerji santrallerinin kurulum yerlerinin seçimi, en uygun alternatif enerji çeşidinin seçimi, enerji santrallerinin projelendirilmesi ve inşası, enerji kaynağının güvenirliği gibi problemler literatürde enerjinin optimizasyon işlemleri kapsamında incelenmektedir. Dünya genelinde enerji talebinin çok hızlı oranlarda artışı, düşük maliyetlerle enerji kaynaklarının uzun dönemli fizibilite işlemlerinin yapılması ve projelendirilmesi işlemlerinde optimizasyon çalışmalarına olan ihtiyacı arttırmaktadır. (Iqbal vd. 2014)Enerji sistemlerinin modellemesi ve optimizasyonuna yönelik standart bir şartname bulunmamakla birlikte çoğunlukla kullanılan bir sınıflandırma şeması örneği Şekil 6'da verilmiştir.

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 6. Enerji Sistem Modelleme ve Optimizasyon Yöntemlerinin Sınıflandırılmasına Bir Örnek (Ervural ve Evren 2016)

Şekil 6'da verilen yöntemlerin tümünde kullanılan enerji kaynağının çeşidi kadar, modelleme ve optimizasyon işlemleri için gerekli olan başlangıç şartı verileri, kısıtlamalar, hesaplanacak ya da optimize edilecek verilerin belirlenmesi gereklidir. Bu işleme örnek olacak şekilde yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili modelleme ve optimizasyon çalışmalarına yönelik önerilen parametre seti Tablo 1'de gösterilmiştir. (YE: Yenilenebilir Enerji Kaynağı)

GİRDİLER	ÇÖZÜMÜ ARAŞTIRILAN KONULAR
YEK Birimi Tip ve Sayısı	Üretilen Enerji miktarı
Arazi Miktarı	Üretim Kapasitesi ve Miktarı
Hava Koşulları	Toplam Yatırım
YEK Birim Teknolojisi	YEK Ömrü
Operasyon Çeşidi	İşlem ve Bakım Maliyeti
Çalışma Süresi	YEK Güvenirliği
Verimlilik	Beklenen Kazanç
İşletme ve Bakım Maliyeti	Tahmin Edilen Arazi Kullanımı
Hava Şartları	YEK Birimlerinin En İyi Karışımı
YEK Birimlerinin Coğrafi Yerleşimleri	YEK Açılımı ve Yerleşimi
Özel Girdilerle İlgili YEK	YEK İle İlgili Özel Değişkenler
KISITLAR	**AMAÇLAR**
Çevresel ve Atmosfer Kısıtları	Minimizasyon
Talep ve Yük Yönetim Kısıtları	Sistemin Maliyeti
Ekonomik Kısıtlar	Birim Başına Üretilen Enerji Maliyeti
Enerji Depolama Miktarı	Arazi Alanı Büyüklüğü
Şarj Kısıtları	Yatırım
Karbondioksit n Kısıtları	Toplam Bakım Maliyeti
Sosyal Düzenleme Kısıtları	Gürültü ve Kirlilik Emisyonu
Güç Kaybı Olasılık Kısıtı	Enerji Tedariki Kayıp Olasılığı
Bileşenlerin Yaşam Ömrü Kısıtı	Maksimizasyon
YEK Güç Oran Kısıtı	Termal Verimlilik
Dağıtım Hatlarında Maksimum Güç Akış Limiti	Toplam Güç Üretimi
YEK Kaynakları İçin Gereken Arazi Büyüklüğü	Sistem Güvenirliği
Üretim Birimleri	Kazanç
Enerji Kısıt Maliyeti	Yaşam Süresi
YEK İle İlgili Özel Kısıtlar	Toplam Gelir Miktarı
	YEK İle İlgili Özel Amaçlar

Tablo 1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Modellemesi ve Optimizasyonuna Yönelik Yaygın Kullanılan Girdiler, Kısıtlar ve Amaçlar (Banos vd. 2011)

Yukarıda verilen tabloda belirtildiği gibi enerji modelleme ve optimizasyonunda çok fazla sayıda amacı, parametresi ve kısıtlma seçeneği içeren problemlerin analizini yapacak olan algoritma oluşturulması yerinde bu işlemleri özellikle ticari ve endüstriyel uygulamalar için yeterli doğrulukta ve çok hızlı olarak yapabilen hazır ve kapsamlı yazılımlar mevcuttur. Değişkenlerin ve değişken sayılarının çokluğu ve kullanım amaçlarındaki çeşitlilik ve farklılık sebebiyle bahsedilen yazılımların tamamına bu bölümümüzde yer vermek mümkün değildir. Örnek olarak vermek gerekirse sadece solar sistemler konusunda tasarım ve hesaplama amaçlı kullanılan yazılımların listesi bile oldukça fazladır. System Advisor Model, RETScreen, HOMER Legacy, PV-GIS,

PVWatts, PVSOL, DIAFEM, Easy-PV, Solarius-PV, PV Designer Solmetric, PVscout, PVSYST, SolarPRO, Plan4Solar PV, PV F-Chart, Polysun, Easy Solar, HELIOS 3D, Solergo, PV-Design Pro, HelioScope, PolySun, SOLARPLUS, SolarDesignTool, AuroraSolar, Solargis-PvPlanner, EasySolar, SolarModel gibi yazılımlar sadece solar sistemler için kullanılan programlardır. En sık kullanılan programlar ve kısa açıklamaları aşağıda verilmiştir.

1. Energy Plus

Enerji sektörünün en önde gelen yazılımlarından olup DOE tarafından desteklenmektedir. Bu yazılımın kullanımı yaygınlaştıkça DOE-2 ve BLAST yazılımlarının optimize edilmesi ile yazılım standartlarına daha uygun bir program haline gelmiştir.

Bağlantı linki: https://energyplus.net

2. RETScreen

Özellikle yenilenebilir enerji projelerinin analiz işlemlerinde yaygın olarak kullanılan bir yazılım programıdır. Kullanıcılar tarafından belirtilen yazılımsal eksiklikleri olduğuna dair bildirimler mevcuttur. Bu şartlara rağmen uluslararası alanda yaygın olarak kullanılan kullanılmaktadır. RETScreen kullanıcılarını öncelikle Excel programını kullanmaya zorlamakta ve bu şekilde sınırlandırmaktadır. Ayrıca programın kurulumda yaşanan sorunlardan Excel makrolarına ve dinamik kütüphanelerine bağımlılık yaratması yazılım geliştirme işlemlerinin devam edeceğini göstermektedir.

Bağlantı linki: https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465

3. PVGIS

Avrupa Birliği Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi (Ispra, İtalya) tarafından geliştirilmiş ve Coğrafik Bilgi Sistemi verilerini kullanan web tabanlı bir yazılım programıdır. Şebekeye bağımlı (On-Grid) ve şebekeden bağımsız olan (Off-Grid) fotovoltaik sistemlerin performans analizine ek olarak kurulum yapılacak olan bölgeye ait tüm güneş enerjisi verilerine ve hatta tüm meteorolojik verilere ulaşılmasına imkan veren kullanımı oldukça basit olan bir yazılım programıdır.

Bağlantı linki: https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis

4. SolarDesignTool.com

Fotovoltaik panel tasarımının ve konfigürasyonu alanında en verimli programlarından biri olan online web sitesidir. SolarDesign ile şebekeye bağlı

güneş enerji sistemleri ve inverterler çok çeşitli olarak şeklinde tasarlanabilmekte ve solar panel pazarında bulunan farklı farklı fotovoltaik panellerin performansları kıyaslanmasına imkan vermektedir.

Bağlantı linki: https://get.solardesigntool.com/

5. HOMER

Şebekeye bağımlı (On-Grid) ve şebekeden bağımsız olan (Off-Grid)güneş enerji güç sistemlerini bağımsız, uzaktan veya dağıtık olarak tasarlayıp, tasarımı değerlendirme işleminide yapan bir yazılım programıdır.

Bağlantı linki: https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html

6. PVsyst

Fotovoltaik güneş enerjisi uygulamalarına yönelik tasarım, modelleme ve ekonomik analiz yapma imkanı sunan bir yazılım programıdır. Alandaki mühendis ve araştırmacılar tarafından yoğun kullanılmaktadır. Tasarım yapılan yöreye ait meteorolojik verilerin seçilebildiği ya da transfer edilebildiği yazılım ile saatlik, aylık ve yıllık hesaplamalar da yapılabilmektedir.

Bağlantı linki: https://www.pvsyst.com/

7. TRNYS

Zamana bağlı değişken sistemlerin davranışını simüle etmek için kullanılan son derece esnek, grafik tabanlı bir yazılım programıdır. Gerçekleştirilecek simülasyonların büyük çoğunluğu termal ve elektrik enerjisi sistemlerinin performansını değerlendirme amaçlı olmakla birlikte dinamik sistem analiz seçeneği de oldukça verimlidir.

Bağlantı linki: http://www.trnsys.com/

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında Avrupa Birliği tarafından finanse edilen Belediyeler ve Üniversiteler için Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Teknik Destek Projesi (YEVDES) kapsamında alınan eğitimlerinde edinilen bilgiler için T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, proje yürütücüleri ve emeği geçen herkese teşekkür ederim.

ISBN: 978-625-6971-84-4

KAYNAKÇA

Wikipedia. 2023. “Sankey Diagram”. Wikipedia.

Cengel, Y. A., Boles, M. A., & Kanoğlu, M. (2011). Thermodynamics: an engineering approach (Vol. 5, p. 445). New York: McGraw-hill.

Baños, R., F. Manzano-Agugliaro, F. G. Montoya, C. Gil, A. Alcayde, ve J. Gómez. 2011. “Optimization Methods Applied to Renewable and Sustainable Energy: A Review”. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15(4):1753-66. doi: 10.1016/j.rser.2010.12.008.

Ervural, BiLal, Ramazan Evren, ve Beyzanur CayiR Ervural. 2016. “Enerjide Optimizasyon Uygulamaları: Bir Literatür Araştırması”. Ege Akademik Bakis (Ege Academic Review) 16(OZEL). doi: 10.21121/eab.2016OZEL24419.

Iqbal, M., M. Azam, M. Naeem, A. S. Khwaja, ve A. Anpalagan. 2014. “Optimization Classification, Algorithms and Tools for Renewable Energy: A Review”. Renewable and Sustainable Energy Reviews 39:640-54. doi: 10.1016/j.rser.2014.07.120.

www.yevdes.org/AkademikPersonelEğitimNotları.pdf

Schmidt, Mario. 2008. “The Sankey Diagram in Energy and Material Flow Management”. Journal of Industrial Ecology 12:82-94. doi: 10.1111/j.1530-9290.2008.00004.x.

Söğüt, Ziya. 2009. “Binalarda Enerji Taraması ve Örnek Uygulama”. Savunma Bilimleri Dergisi 8(2):127-43. doi: 10.17134/sbd.68699.

Talbi, El-Ghazali. 2009. Metaheuristics: From Design to Implementation. 1. bs. Wiley.



BÖLÜM 20

ISBN: 978-625-6971-84-4

GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN TASARLANMASI

Öğr. Gör.Taner DİNDAR[1]

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet DURSUN[2]

1. GİRİŞ

Dünyada iklim değişikliklerinin olumsuz etkileri artmaya devam etmektedir. Bunun birçok nedeni olduğu bilinmektedir. Bu olumsuz durum birçok sektörü etkilemektedir. Tarım, hayvancılık, enerji ve daha birçok sektör bunlardan bazılarıdır. Yapılan bilimsel çalışmalarla birlikte yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak küresel ısınma ile mücadele edilebileceği belirtilmektedir. [1,2] Fosil yakıtlar günümüzde çok fazla kullanılmakta olup yeni teşvikler ile yenilenebilir enerjiye geçişler hızlanmaktadır. Yenilenebilir enerjideki maliyetlerin azalması ilerleyen yıllarda kullanım oranını artıracağı ve buna bağlı olarak da sera gazı emisyonlarının da azalacağı tahmin edilmektedir. Yenilenebilir enerji olarak güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji ve biyokütle enerji ile üretimi Türkiye'de artmaktadır[3]. Ülkeler temiz enerji kullanımını artırmak için yenilenebilir enerji ile ilgili büyük adımlar atmaktadır. Bütün bunlara rağmen fosil yakıtlardan enerji üretimi günümüzde %80 üzerindedir.[4]

Yenilenebilir enerji olarak değerlendirildiğinde güneş enerjisi potansiyeli bakımından Türkiye büyük bir avantaja sahiptir. Güneş potansiyelini en verimli hale getirmek ve güneş enerjisinden faydalanmak için günümüzde çalışmalar sürdürülmektedir. Güneş potansiyelinden elde edilen enerjinin, ilk maliyetinin azaltılması, panel verimlerinin artırılması ve şebekede daha verimli kullanılması durumlarında gelecekte daha fazla faydalanılacağı tahmin edilmektedir. Güneş enerjisinden elektrik ve ısı elde etmek için düzlemsel veya vakumlu güneş kollektörleri, kondenser ve fotovoltaik sistemler kullanılmaktadır[5]. Bölümümüzde güneş panellerinin çalışması, çeşitleri, bağlantıları, güneş panelleri ile sistem tasarımı hakkında detaylı bilgi verilecektir.

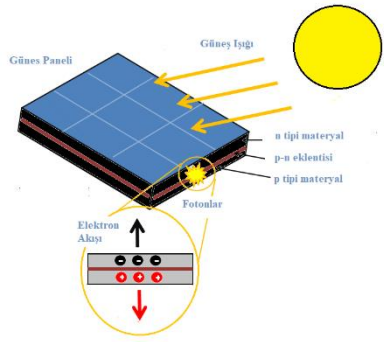
[1] Ankara Üniversitesi, Nallıhan Meslek Yüksek Okulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, ORCID: 0000-0002-4112-2114

[2] Necmettin Erbakan Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık Elektrik ve Elektroniği Bölümü, ORCID: 0000-0002-0558-6309

2. GÜNEŞ PANELLERİNİN ÇALIŞMASI

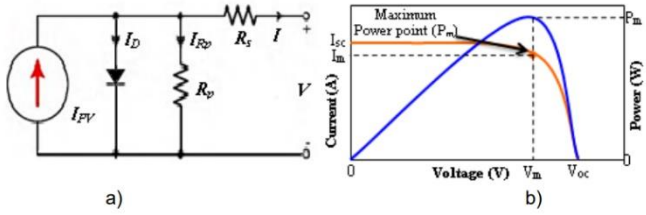
Güneş panelleri güneş ışığı parçacıkları veya fotonları, elektronları atomlardan kurtarıp, tekrardan harekete geçirerek elektrik üretmek için kullanılmaktadır. Bu elektron akış süreci fotovoltaik etki dediğimiz süreci oluşturmaktadır. Fotovoltaik etkiyi basamaklar halinde ifade etmemiz gerekirse;

1. Güneş ışığı güneş pillerine çarpar ve hücrelerdeki elektronlara enerji verir. Böylelikle elektronları harekete geçirir.
2. Hareket halinde olan elektronlar panelin katmanları arasında bir elektrik akımı oluşturur.
3. Panellerde bulunan metal plakalar elektronlar arasında akışı tutarak elektrik üretmeye başlar.



Şekil 1. Fotovoltaik sistemin gösterilmesi

Şekil 1'de verilen güneş panelinde elektronların akışının n ve p tipi materyaller arasında olduğu görülmektedir. Solar, kablolar sayesinde üretilen doğru akım invertere iletilir. İnverter ile doğru akım, alternatif akıma dönüştürülür böylelikle şebekede kullanılabilir hale gelir.



Şekil 2. Fotovoltaik hücre **a)**Elektrik devre modeli **b)**IPV eğrisi[6]

Şekil 2'de fotovoltaik hücrenin elektriksel modeli ve akım-gerilim-güç eğri grafiği verilmiştir. Burada elektrik üretiminin maksimum hangi bölgede olacağı

görülmektedir. Fotovoltaik hücre ile elektrik üretiminin fazla olması birçok parametreye bağlıdır. Elde edilen verimin zamanla düştüğü göz önüne alındığında iyi bir seçim yapılması gerekmektedir.

3. GÜNEŞ PANELLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Güneş panelleri iki farklı hücre tipi bulunmaktadır. Polikristal solar hücre yapılı ve Monokristal solor hücre yapılı. Günümüzde maliyet gibi önemli faktör değerlendirildiğinde Polikristal solar hücre yapılı olan paneller daha çok tercih edilmektedir.

3.1. Polikristal Solar Hücre Panelleri

Çok kristalli yapıya sahip olduğu bilinmektedir. Her ücresindeki kristal sayısı çok fazla olduğundan elektronlar hareket etmesi bakımından sınırlı olmaktadır. Şekil 3'de polikristal solor hücre paneli görünmektedir. Özellikleri bakımından değerlendirildiğinde;

- Fiyat bakımından daha uygundur.
- Verimleri zamanla düşebilmektedir.
- Amortisman süresi daha kısadır.
- Panelin slikon saflık oranı düşüktür. Slikon saflık oranı verimi etkileyen parametrelerden birisidir.

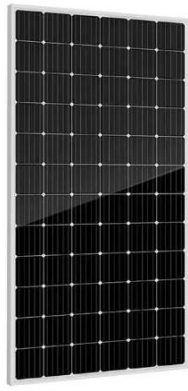


Şekil 3. Polikristal solor hücre paneli

3.2. Monokristal solar hücre panelleri

Monokristal solar hücre panelleri maliyet açısından bakıldığında santral tasarlarken tercih edilmeyebilmektedir. Şekil 4'de monokristal solor hücresi görülmektedir.

- Yüksek verimliliğe sahiptir.
- Alan miktarına göre daha fazla güç üretmektedirler.
- Uzun ömre sahiptir.
- Ilık havalarda daha verimli çalışabilmektedir.
- Fiyatı bakımından pahalıdır.



Şekil 4. Monokristal solor hücre paneli

4. GÜNEŞ PANELLERİNİN BAĞLANTILARININ YAPILMASI

Güneş panellerinin bağlantısı seri, paralel veya karışık halde yapılmaktadır. Bu bağlantıları yaparken sistemde minimum maliyet elde etmek önemlidir. Bununla birlikte Sistemde artan güce karşılık vermek ve gereksinimleri karşılamak içinde bağlantılar önemlidir. Aksi durumda ilk kurulumda maliyet azaltılır fakat sonraki güç gereksinimleri karşılanamayabilir. Bağlantı yapılırken dikkat edilmesi gerekenler;

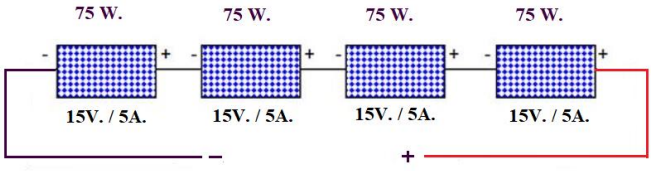
- Güneş paneli sisteminin türü; şebekeye bağımlı veya bağımsız
- Kullanılmak istenilen güç değerleri
- Akü, invertör ve şarj regülatörü bileşenlerin değerleri

Sistemde elde etmek istediğiniz akım değerinin büyük olması istenilirse paralel bağlanması gerekmektedir. Eğer sistemde gerilim değerinin büyük olması istenilirse seri bağlanması gerekmektedir. Bazı sistemlerde seri-paralel bağlantı gerekli olabilir. Bu durumda istenilen aslında güç değerinin büyük olmasıdır.

ISBN: 978-625-6971-84-4

4.1. Güneş Panellerinin Seri Bağlantısı

Seri bağlantı bir güneş panelinin terminalinin eksi ucunun diğer panelin artı ucuna bağlanması durumudur. Çıkış akımına bakıldığında bir panelin akımı ile toplam akım aynı değerdedir. Gerilim değerine bakıldığında da güneş panellerinin üstüne düşen gerilimlerin her birinin toplanması ile birlikte toplam gerilim oluşmaktadır.



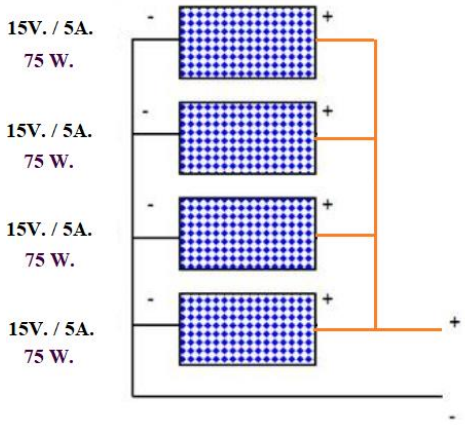
Şekil 5. Aynı güçteki panellerin seri bağlantısı

Şekil 5'de seri bağlı panellerin gücünü hesaplamak gerekirse;

Toplamda 4 panelimiz var her biri 15 V. olduğundan 60 V. toplam gerilim değerimizdir. Seri bağlandığı için toplam akım değerimiz 5 A.'dir. Toplam güç değerimiz P= 60 V. * 5 A. = 300 W. olarak hesaplanmıştır. Güneş panellerinden birinin akım ve gerilim değeri farklı olduğunda yine aynı şekilde hesaplamalar yapılmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken farklı bir panel olduğunda akım ve gerilimin farklı şekilde hesaplanması gerekmektedir. Bunlarla birlikte bir güneş panelinin veriminin ortam sıcaklığına ve güneşden yararlanma potansiyeline bağlı olduğunu da unutmamak gerekir[7].

4.2. Güneş panellerinin paralel bağlantısı

Güneş panellerinin paralel bağlantısını kullanılması şebekeden bağımsız sistemlerde daha çok tercih edilen durumlardandır. Toplam çıkış gerilimi paralel bağlantıda bir panelin gerilimi ile aynıdır. Toplam çıkış akımı ise her panelden geçen akımların toplam değeridir.



Şekil 6. Aynı güçteki panellerin paralel bağlantısı

Şekil 6'de seri bağlı panellerin gücünü hesaplamak gerekirse;

Toplamda 4 panelimiz vardır, toplam akım değerimiz 20 A.'dir. Paralel bağlandığı için gerilim değeri 15 V.'dur. Toplam güç değerini hesaplamak gerekirse P= 20 A. *15 V. = 300 W. olarak hesaplanmıştır.

Güneş panellerini seri veya paralel olarak bağlantı yapılırken aynı değerlerde panel kullanmak önemlidir. Fakat farklı değerde güneş panelleri de kullanılacaksa farklı markaların aynı akımın seri panellerine bağlanılması kayıpları en aza indirebilmektedir.

5. İNVERTÖR

Güneş panellerinde oluşan doğru akımı alternatif akıma dönüştüren bir cihazdır. Fotovoltaik sistemin önemli bileşenidir. İnvertörde önemli olan güvenli çalışması ve maksimum güç noktası takibini yapmasıdır. Güneş santrallerinde invertörün doğru seçimi santrallerin verimini etkilemektedir. Bununla birlikte amortisman süresini de kısaltmaktadır.

Fotovoltaik invertörün verimliliğindeki önemsiz dediğimiz küçük de olsa bir yüzde farkı maliyet de fark oluşturabilmektedir. Programlarda analiz yapılırken invertörün doğru seçilip seçilmediğini rahatlıkla görülmektedir. Tablo 1'de invertörlerin verimliliği ve Pazar payı gösterilmiştir. Verimlilikteki her %1'lik fark için invertörün maliyetinin yaklaşık %10 değişmesidir[8].

ISBN: 978-625-6971-84-4

Tablo 1. 2020 yılında invertörlerin verimliliği ve Pazar payı [9]

İnvertör	Güç	Verimliliği	Pazar payı (Tahmini)
Dizi İnvertörleri	150 kWp'ye kadar	%98'e kadar (DC/AC)	64.4%
Merkezi İnvertör	80 kWp'den fazla	%98.5'e kadar (DC/AC)	33.7%
Mikro İnvertörler	Modül Gücü Aralığı	90% - 97% (DC/AC)	1.4%
Güç Optimize Edici	Modül Gücü Aralığı	%99.5'e kadar (DC/DC)	5.1%

6. AKÜ

Aküler üretilen enerjiyi depolamak için kullanılmaktadır. Kuru, AGM ve GEL olarak üç tür akü kullanılmaktadır. Güneş panellerinden elde edilen enerjiyi daha çok kuru tip aküler ile depolanmaktadır. Akülerin kapasitesi amper-saat olarak gösterilmektedir. Verimleri yüzde 90 civarında olup ömürlerini uzun tutmak için kapasitesi yüzde 50 'nin altına düştüğünde şarj edilmesi gerekir[10].

7. AKÜ ŞARJ REGÜLATÖRÜ

Panellerden gelen akımı düzenleyerek aküye iletilmesini sağlamaktadır. Diğer görevi de akünün tam dolmasını engeller. Regülatör düzenleyici olduğundan panellerden gelen maksimum akım dikkat edilerek seçilmesi önemlidir.

8. KABLO SEÇİMİ

Güneş panellerinden elektrik elde edilmesi ve elde edilen elektriğin kullanılması kabloların doğru seçimleri ile ilgili olmakla birlikte sistemin maliyetini de yansımaktadır. Kablo kesitini hesaplamak için formül (1) kullanılmaktadır.

$$A = 0.0175 * 2 * L * P / (f_k * U^2) \quad \textbf{(1)}$$

A=İletken kesiti

f_k (%)=İletken Kaybı

0,0175 = Bakır için spesifik direnç [Ohm × mm² / m]

L[m] = Kablo uzunluğu

P[W] = Kablo tarafından alınması gereken güç

U[V] = Sistem Voltajı

Tablo 2. Solar panel sistemlerinde kablo seçimi[11]

Kablo Uzunluğu [m]	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-9
Amper [A]	Kablo Kesiti [mm²]							
0-20	2,5	6	6	6	10	10	10	10
21-36	6	6	10	10	20	20	20	35
37-50	6	6	10	10	20	20	20	35
51-65	10	10	20	35	35	35	35	35
66-85	20	20	35	35	35	35	35	35
86-105	20	20	35	35	35	35	35	35
106-125	35	35	35	35	35	35	35	35
125-150	35	35	35	35	35	35	35	35
151-200	35	35	50	50	50	50	50	50

Tablo 2'de standart olan kablo uzunluğu ve değerleri verilmiştir. Kablo kesitini hesapladıktan sonra tablodan amper değerine bakılıp sistemde kullanılması daha uygun olmaktadır.

9. SİSTEMDE KULLANILAN MALZEMELER

Güneş panellerinin şebekeden bağımlı veya şebekeden bağımsız olarak bir maliyet hesabı yapılmaktadır. Bu hesaplamalar yapılırken güneşden yararlanma süresi, ışınım ve diğer faktörler etkili olmakla beraber bölümümüzde sadece kullanılacak malzemelerin listesi bulunmaktadır. Sistemde çalıştıracağımız cihazları ekleme ya da çıkartma gibi durumlar olabilmektedir. Bu yüzden burada sadece güç tüketimi ve kullanılacak malzeme üzerinde durulmuştur.

Öncelikle sistemimizde çalıştıracaklarımız;

- Buzdolabı 24 saat süre ile çalışacak olup günlük ortalama 1250 W. elektrik tüketimi olmaktadır.
- Derin dondurucu 24 saat süre ile çalışacak olup günlük ortalama 700 W. elektrik tüketimi olmaktadır.
- Dizüstü bilgisayar 5 saat süre ile çalışacak olup günlük ortalama 600 W. elektrik tüketimi olmaktadır.
- Çamaşır makinesi günde 1 kere çalışması durumunda ortalama saatlik 800 W. elektrik tüketimi olmaktadır.
- Bulaşık makinesi günde 1 kere çalışması durumunda ortalama saatlik 850 W. elektrik tüketimi olmaktadır.
- Klima (9000 BTU) 4 saat çalışması durumunda ortalama saatlik 2 kW. elektrik tüketimi olmaktadır.

ISBN: 978-625-6971-84-4

- Led TV 10 saat çalışması durumunda ortalama saatlik 75 W. elektrik tüketimi olmaktadır.
- Ampul ortalama 3 kW. elektrik tüketimi olmaktadır.

Bunlarla birlikte küçük ev eşyaları da sisteme eklenebilir. Bu sistemi tasarlamak için malzemeler listesinde olması gerekenler;

- 550 W.'lık monokristal güneş panelleri 8 adet kullanılabilir.
- 100 Amper 12 Volt'luk Jel akü 8 adet kullanılabilir.
- 5000 Watt'lık / 48 Volt'luk akıllı invertör 1 adet kullanılabilir.

Şebekeden bağımsız bir sistem olarak tasarlanmıştır. Şebekeye bağımlı olarak da yapılabilir o zamanda öz tüketim hesaplanması gerekmektedir. Şekil 7'de şebekeden bağımsız bir sistemin malzemeleri gösterilmiştir.



Şekil 7. Şebekeden bağımsız sistemin malzemeleri

10. SONUÇ

Güneş enerjisi kullanılarak yenilenebilir enerji elde etmek için gerekli olan sistemi tanımak amacıyla bu bölüm yazılmıştır. Yarı iletken teknolojisinin gelişmesi panel verimlerinin iyileştirme çalışmaları devam etmekte olduğundan gelecek yıllarda güneş enerjisinden yararlanma potansiyeli daha da artarak devam edecektir. Güneş enerjisi fosil yakıtların yerini alması temiz bir enerjiye sahip olunması bakımından Dünya'da önemli bir yere sahip olmuştur. Bir sistem tasarlarken yapılması gerekenlerin başında sistemdeki cihazların ve malzemelerin nasıl çalıştığını, nasıl bağlanacağını ve hangisinin kullanılmasının sisteme fayda sağlayacağının bilinmesi gerekmektedir. Sistemde maliyet ve verim açısından iyi olanı seçmek sistemden tam anlamı ile faydalanmak için önemlidir. Bölümde aynı zamanda evlerde kullandığımız cihazların ortalama tüketim değerleri de verilerek malzemeler hakkında da bilgi verilmiştir.

KAYNAKÇA

[1] Batan M., (2021), "Çeşitli Kuraklık İndisleri ile Batman İlinin Kuraklık Analizi ve Kontur Haritalarının Çıkarılması", Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7(2), 252-265.

[2] Giannakopoulos C., et.al, (2009), "Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 0C global warming", Global and Planetary Change, 68, 209-224.

[3] Park, SC. & Eissel, D.(2010), "Alternative energy policies in Germany with particular reference to solar energy", Journal of Contemporary European Studies,18(3),323-339.

[4] Telli, A., Erat, S. & Demir B.,(2021),"Comparison of energy transition of Turkey and Germany: energy policy, strengths/weaknesses and targets, Clean Technologies and Environmental Policy, 1 23, 413-427.

[5] Kateroğlu, E., (2022),"Endüstri 4.0 ve enerji dönüşümü: Türkiye'de güneş enerjisi teknolojilerinden elektrik üretimi potansiyelinin değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ankara, Türkiye

[6] Gündoğdu, A. and Çelikel, R., 2020, ANN-Based M PPT Algorithm for Photovoltaic Systems, Turkish Journal of Science & Technology.

[7]http://www.caliskansolarenerji.com/blog/167-g%C3%BCnes-panellerinde-baglanti-sekilleri-ve-problemleri.html (Erişim online: 30.08.2023)

[8] Salam, Z. and Ab Rahman, A., "Efficiency for Photovoltaic Inverter: A Technological Review", 2014 IEEE Conference On Energy Conversion (CENCON), IEEE: 175–180 (2014).

[9] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems and ISE with support of PSE Projects GmbH, "Photovoltaics Report", Fraunhofer ISE, Freiburg, 4-46 (2022).

[10] http://www.gunessistemleri.com/ (Erişim online: 30.08.2023)

[11] http://www.normenerji.com.tr/menu_detay.asp?id=9332 (Erişim online: 30.08.2023)

ISBN: 978-625-6971-84-4



BÖLÜM 21

ISBN: 978-625-6971-84-4

YAPAY ZEKÂ VE MAKİNE ÖĞRENİMİ:

İlk Adımlarınız İçin Kılavuz

Ayşe Banu BİRLİK[1]

Hakan TOZAN[2]

Kevser Banu KÖSE[3]

1. Bilgisayar ve Veri Bilimi

Günümüzde tıp alanında "Yapay Zekâ" (Artificial Intelligence – AI) terimi oldukça yaygınlaşmış durumdadır. Fakat, bu terim ve kapsadığı yöntemlerle alakalı bazı yanılgılar ve anlama zorlukları bulunmaktadır. AI, insan zekasını yansıtan ve onu taklit eden geniş bir kavramdır ve net bir tanımı yoktur. Genel AI ise, insanlarla benzer bir bilişe sahip, kendi kendine yeterli bir AI türünü ifade eder. Ne var ki, şu anda böyle bir Genel AI mevcut değildir ve mevcut AI, özel ve belirli bir amaca yönelik yapılardır (Barrett, 2023; Kagiyama, Shrestha, Farjo ve Sengupta, 2019).

Bilgisayar bilimi ve veri biliminden doğan AI, makinelerin akıllı ve bilişsel görevleri yerine getirme yeteneğini içermektedir. Sanayi Devrimi'nin fiziksel görevleri simüle eden makineler çağını başlatması gibi, AI'da bilişsel yetenekleri simüle edebilen makinelerin gelişimine öncülük etmektedir. AI teknikleri ve metodolojileri, aslında tamamen yeni değildir; ancak son on yılda, büyük veri ortaya çıkması, bilgi işlem gücünün evrimi ve derin öğrenme tekniklerinin gelişimi gibi faktörlerle birlikte, AI'nın hızlı bir gelişim süreci yaşanmıştır (Theobald, 2021). Daha önce AI'yı eğitmek için yeterli veriye ulaşma zorluğu, AI gelişimine engel oluşturuyordu. Fakat internetin yaygınlaşması, büyük verilerin erişilebilir hale gelmesini sağlamış ve bu sınırlamayı ortadan

[1] İstinye Üniversitesi, İstanbul Medipol Üniversitesi, Orcid: 0000-0001-5148-3784
[2] American University of the Middle East, Kuwait, Orcid: 0000-0002-0479-6937
[3] İstanbul Medipol Üniversitesi, Orcid: 0000-0002-1766-2778

kaldırmıştır. Ayrıca, internet bağlantılı akıllı cihazların dijital bilgileri depolayarak ve insan etkileşimine gerek duymadan veri aktarımını sağlaması, kullanılabilir veri akışını daha da artırmıştır (Chatterjee, Yazdani, Fernández-Navarro ve Pérez-Rodríguez, 2023). Geleneksel tıp araştırmaları hipotezlerin teyit edilmesi ve sebep-sonuç ilişkileriyle mekanizmaların kavranmasına yoğunlaşırken, AI destekli araştırmaların ana hedefi verileri öngörmek ve veri içerisindeki saklı örüntüleri keşfetmektir. AI çalışmalarının çeşitli veri kaynaklarında incelenmesi, çoğu tıbbi araştırmanın uygun şekilde etiketlenmiş ve tablo biçiminde yapılandırılmış verilerle yapıldığını göstermektedir (Jovel ve Greiner, 2021). AI, bilgisayar bilimi ve veri bilimine kıyasla daha karmaşık olsa da günümüzde popüler olan ve haber değeri taşıyan birçok alt alanı kapsamaktadır. Bu kategoriler içinde arama ve planlama, akıl yürütme ve bilgi gösterimi, algı, doğal dil işleme (NLP) ve elbette makine öğrenimini sayabiliriz. (Zhou, 2021).

	Girdi biliniyor	Çıktı biliniyor	Metodoloji
Veri Madenciliği	✓		Bilinmeyen bir çıktı üretmek için girdileri analiz eder.
Denetimli Öğrenme	✓	✓	Yeni girdi verilerine dayalı olarak gelecekteki çıktıları tahmin etmek için bilinen girdi ve çıktıların kombinasyonlarını analiz eder.
Denetimsiz Öğrenme	✓		Bir çıktı oluşturmak için girdileri analiz eder- algoritmalar veri madenciliğinden farklı olabilir.
Takviyeli Öğrenme		✓	İstenen bir çıktıyı üretmek için çok sayıda girdi değişkenini rastgele dener.

Şekil 1: Girdi ve çıktı değişkenlerinin kullanılabilirliğine dayalı tekniklerin karşılaştırılması

"Bu kitap bölümü, veri bilimi ve makine öğrenimi alanlarında yeni çalışmaya başlayan herkese bu yoldaki ilk adımları için kılavuzluk edecek bir kaynak olmayı hedeflenmektedir."

2. Makine Öğrenimi Nedir ve Neden Kullanmalısınız?

Makine öğrenimi (Machine Learning – ML), bilgisayarları verilerden öğrenebilmeleri için programlama bilimidir (Géron, 2017).

Biraz daha genel bir tanımı:

Makine öğrenimi, bilgisayarlara açıkça programlanmadan öğrenme yeteneği veren çalışma alanıdır.

-Arthur Samuel, 1959

Veri madenciliği (Data Mining – DM) 1980'lerin başından itibaren veri toplama ve veri tabanı yönetimindeki ilerlemelerin ve giderek daha büyük ve karmaşık veri kümelerini anlamlandırmaya yönelik acil ihtiyacın bir sonucu olarak gelişmiştir (Han, Pei ve Tong, 2022). Makine öğrenimi ve veri madenciliği, büyük veri kümelerindeki örüntüleri keşfetmeye ve ortaya çıkarmaya dayanan iki yakından ilişkili disiplindir. Her iki yöntem de çıkarımsal tekniklere, yani sonuçları tahmin etmek için diğer verilere ve olasılıksal akıl yürütmeye dayanır. Aynı zamanda, temel bileşen analizi, regresyon analizi, karar ağaçları ve kümeleme gibi benzer algoritmaları kullanarak verileri analiz ederler (Murty ve Avinash, 2023). ML deneyim yoluyla kendi kendine öğrenme ve kalıpları otomatik olarak tespit etme sürecine odaklanan bir yaklaşımdır. Bu yöntemde, algoritmalar büyük veri setlerine maruz kalarak verilerden öğrenme yaparlar ve deneyimleri sayesinde performanslarını artırırlar. Veri madenciliği ise daha kılavuzlu bir yaklaşım benimser ve gizli içgörüleri çıkarmaya odaklanır. Bu yöntemde, belirli analitik ve istatistiksel yöntemler kullanılarak mevcut verilerdeki ilişkiler, desenler veya eğilimler ortaya çıkarılmaya çalışılır. Her iki yaklaşım da büyük veri analitiğinde önemli bir rol oynar ve birbirlerini tamamlarlar, çünkü hem makine öğrenimi hem de veri madenciliği, veri odaklı kararların ve bilgi çıkarımlarının yapıldığı önemli araçlardır (Theobald, 2021).

Makine Öğrenimi yaklaşımları, aşağıdaki durumlarda tercih edilmektedir (Géron, 2017):

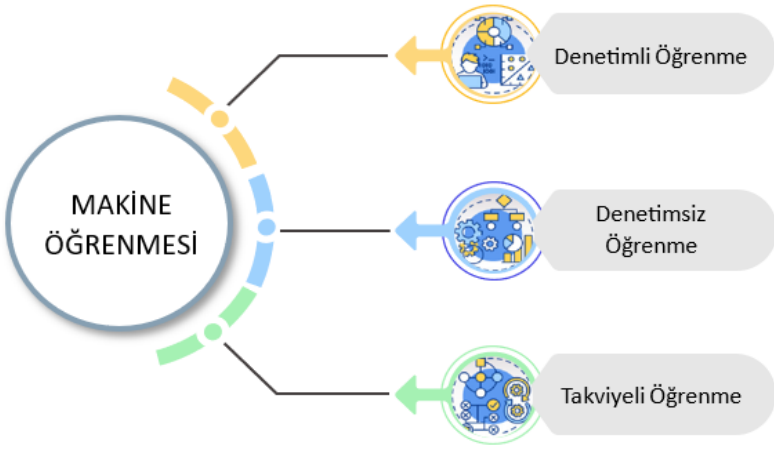
- Elle çok fazla düzenleme veya detaylı kural listesi ihtiyaç duyan çözüm yöntemleri: ML algoritması genellikle bu kodlamayı daha sadeleştirerek daha üstün sonuçlar alabilir.
- Geleneksel yöntemlerle çözümü zor olan karmaşık meseleler: İleri ML teknikleri bu tür sorunlar için bir çözüm sunabilir.
- Sürekli değişen ortamlar: ML sistemleri yeni verilere hızla adapte olabilir.
- Büyük veri kümeleri ve karmaşık meseleler hakkında derinlemesine bilgi kazanma.

DM giriş değişkenlerini kullanarak yeni bir sonucu tahmin etmeye odaklanırken, makine öğrenimi hem giriş değişkenlerini hem de sonuçları incelemeyi içerir. ML girdi ve çıktı değişkenlerinin bilinen kombinasyonlarını karşılaştırarak denetimli öğrenme teknikleri ve çok sayıda girdi değişkenini rastgele deneyerek istenen bir çıktıyı üretmeyi içerir. Ayrıca belirli bir hedef sonucu olmayan giriş değişkenlerini temel alarak tahminlerde bulunan

denetimsiz öğrenme olarak adlandırılan başka bir makine öğrenimi yaklaşımı da mevcuttur. Genellikle yarı denetimli öğrenme adı altında denetimli öğrenme ile birlikte veya ona hazırlık olarak kullanılırken, veri madenciliği ile örtüşse de denetimsiz öğrenme, ilişkilendirme ve dizi analizi gibi standart veri madenciliği yöntemlerinden farklılık gösterir (Greener, Kandathil, Moffat ve Jones, 2022).

2. Makine Öğrenim Yaklaşımları

Makine öğrenme yöntemlerini farklı kategorilere ayırarak anlamak, bu alanda yapılan çalışmaları daha iyi kavramamıza yardımcı olabilir. Makine öğrenme sistemleri genellikle insan gözetimi altında eğitilip eğitilmediklerine göre üç kategoriye ayrılabilir. ML sistemleri, eğitim sırasında aldıkları denetimin türüne göre sınıflandırılabilir.



Şekil 2: Sistemlerin eğitim sırasında aldıkları denetimin türüne göre makine öğrenmesi yaklaşımları

2.1. Denetimli Öğrenme

Denetimli öğrenme sınıflandırma ve regresyon olmak üzere iki temel problem ailesiyle ilgilenir. Algoritmaların verilerden veya temel gerçeklerden öğrenerek sonuçlarla ilgili bilgileri kullanarak bir tahmin modeli geliştirdiği bir öğrenme sürecidir. Sınıflandırmada, kategorik bir değişken hakkında tahminler yapılır; örneğin, kanser türü, hastaların 1 yıllık mortalite durumu gibi. Regresyon ise etiketin sayısal bir değişken olarak tahmin edildiği durumlarda kullanılır; örneğin, enfekte kişi sayısı, bir tedavinin fiyatı, EKG bilgisinden ekokardiyografik erken diyastolik sol ventrikül gevşeme hızı gibi. Ayrıca, nümerik bir değişken sınıflandırılabilir ve sonrasında bir sınıflandırma sorunu olarak değerlendirilebilir (Neapolitan ve Jiang, 2018). Bazı regresyon

yöntemlerinin sınıflandırmada da kullanılabildiğini, aynı şekilde sınıflandırma algoritmalarının regresyonda da kullanılabildiğini hatırlatmakta fayda var. Örnek olarak, Lojistik Regresyon, bir objenin belirli bir sınıfa dahil olma ihtimalini belirten bir sonuç verdiği için sınıflandırmada sıkça tercih edilir (Géron, 2017).

Başlangıçta, veriler iki alt kümeye ayrılır: eğitim için kullanılan daha büyük alt küme ve tahmin ve değerlendirme için kullanılan test alt kümesi. Genellikle ayrı doğrulama ve test veri setleri tercih edilir. Doğrulama veri seti modelin parametrelerini ayarlamak ve özellikleri seçmek amacıyla kullanılır. Test veri seti ise modelin objektif bir şekilde değerlendirilmesi için kullanılır. Bu bağlamda sadece test veri setinden söz ediyoruz. Eğitim esnasında, etiketler modelin öğrenme sürecine dahil edilir, bu sayede model verideki desenleri hedef kolonun spesifik değerleriyle nasıl bağdaştıracağını kavrar. Modelin eğitimi tamamlandığında, test verisiyle değerlendirme yapılabilir ve başarısı çeşitli metriklerle ölçülür. Eğer model, hedef değişkenin değerlerini yüksek bir doğrulukla öngörüyorsa, bu durum modelin iyi bir genelleştirme yaptığı anlamına gelir (Jovel ve Greiner, 2021).

En önemli denetimli öğrenme algoritmalarından bazıları:

- k-En Yakın Komşular (k-NN)
- Doğrusal Regresyon
- Lojistik Regresyon (LR)
- Destek Vektör Makineleri (SVM)
- Rastgele Ormanlar (RF)
- Yapay Sinir Ağları (ANN)

2.2. Denetimsiz Öğrenme (Kümeleme ve Sıralama)

Verileri keşfetmek için kullanılır ve temel gerçekleri gerektirmez. Bu yaklaşım, verilerdeki gizli kalıpları ve ilişkileri bulmaya odaklanır. Denetimsiz öğrenmenin en yaygın görevleri kümeleme ve boyut indirgeme olarak bilinir. Kümeleme, genellikle örnekler arasındaki mesafeye dayalı olarak verileri bileşenlere ayırmayı amaçlar. Ana düşünce, aynı gruptaki veri ögelerinin benzer niteliklere sahip olması ve diğer gruplardaki veri ögelerinden daha ayrıcalıklı olmasıdır. Bu algoritmaların etkinliği ve güvenilirliği analiz edilen veri kümesinin dağılımına bağlıdır; bu da tek bir algoritmanın tüm görevlerde en iyi performansı gösteremeyeceği anlamına gelir. Bazı algoritmaların ölçeklendirilmesi diğerlerine göre daha etkilidir; örneğin, tüm örnekler arasında

ikişerli benzerlik hesaplaması yapan algoritmalar büyük veri setlerinde verimli olmayabilir (Ge, Song, Ding ve Huang, 2017). Bir örneği ifade eden girdi değişkenleri ya da niteliklerinin toplamına o örneğin boyutu denir. Boyut azaltma teknikleri genellikle görselleştirme için kullanılır. Verilerin boyutsallığını (değişken sayısını) azaltarak verileri açıklayan temel değişkenleri korur. Bu görevler, etiketli sonuçlara ihtiyaç duymadan veri kümesinden kalıpları çıkararak fenotipleri tanımlamayı amaçlar (Jovel ve Greiner, 2021; Theobald, 2021).

En önemli denetimsiz öğrenme algoritmalarından bazıları:

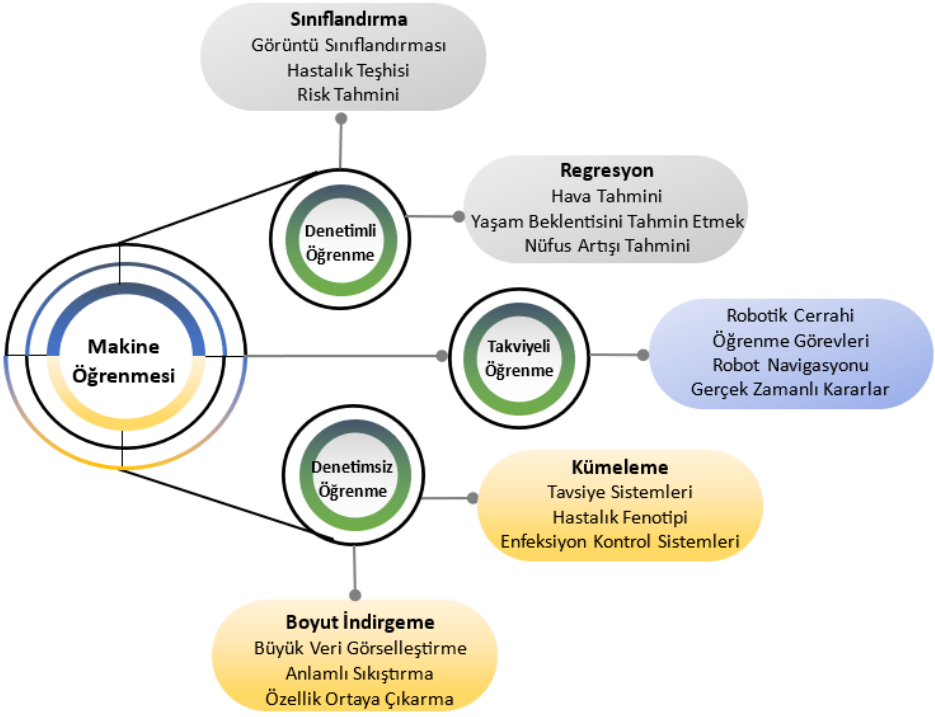
- Kümeleme
  - k-Ortalamalar
  - Hiyerarşik Küme Analizi (HCA)
  - Beklenti Maksimizasyonu

- Boyut İndirgeme
  - Temel Bileşen Analizi (PCA)
  - Çekirdek PCA
  - Yerel Doğrusal Gömme (LLE)

2.3. Takviyeli Öğrenme

Takviyeli öğrenme, bir algoritmanın maksimum ödül kazandıran bir eylemi öğrenmek için eğitildiği bir tekniktir. Genellikle oyun programlarında karar verme sürecinde kullanılır (Kagiyama ve diğerleri, 2019). Bir ajanın çevresiyle etkileşim halinde olduğu ve bu etkileşim sonucunda belirli eylemleri gerçekleştirerek bir görevi başarmayı öğrendiği bir makine öğrenme yaklaşımıdır. Ajan, çevresinden gelen geri bildirimlerle (örneğin, ödüller veya cezalar) eylemlerini optimize etmeyi amaçlar. Sağlık alanındaki potansiyel uygulamalarından biri robotik destekli cerrahidir. Robotik cerrahi, cerrahların hassas ve dikkat gerektiren işlemleri gerçekleştirmelerine yardımcı olan ileri teknolojilere dayalı bir cerrahi türüdür. Robotik cerrahi işlemlerinde yaraların dikilmesi ve doku manipülasyonu hassas hareketler gerektirdiği için bu alanda kullanılması, robotik cerrahi sistemlerinin becerilerini geliştirerek cerrahların performansını artırabilir (Esteva ve diğerleri, 2019).

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 3: Makine öğrenimine genel bakış

3. Test Etme / Doğrulama

Bir modelin yeni durumlar için ne kadar başarılı bir genelleme yapabileceğini anlamanın en güvenilir yöntemi, bu yeni durumlar üzerinde onu test etmektir. Bu amaçla yapılabilecek uygulamalardan biri modeli canlı ortamda uygulamak ve performansını takip etmektir. Ancak daha stratejik bir yaklaşım, veri setinizi iki alt kümeye bölerek, bir eğitim kümesi ve test kümesi oluşturmaktır. İsimlerinden de anlaşılacağı üzere, modeliniz eğitim seti üzerinden eğitilir ve sonrasında test seti ile değerlendirilir. Yeni durumlar için yapılan hata tahminine genelleme hatası ya da örneklem dışı hata adı verilir. Modelinizi test setiyle değerlendirerek bu hatanın bir ölçümünü elde edersiniz. Bu ölçüm, modelinizin daha önce karşılaşmadığı durumlarda nasıl bir performans göstereceği hakkında fikir verir. Eğer eğitim hatası düşük fakat genelleme hatası yüksekse, modelinizin eğitim verisine aşırı şekilde adapte olduğunu söyleyebiliriz. Eğitim hatası, modelinizin eğitim veri kümesi üzerinde ne kadar iyi performans gösterdiğini gösterir. Eğer eğitim hatası düşükse, yani model eğitim veri kümesinde az hata yapıyorsa, bu modelin eğitim verilerine iyi uyum sağladığı anlamına gelir (Hall, 2022; Saxena, Rani, Agarwal ve Sreedharan, 2021).

Ancak, gerçek test, modelin daha önce hiç görmediği yeni veriler üzerinde yapılır. Bu verilere genellikle "test kümesi" adı verilir. Test seti, modelin genel başarımını ölçmek amacıyla kullanılır ve genelleme hatasının tahmin edilmesine katkıda bulunur. Genelleme hatası, modelin test kümesindeki performansına dayalı olarak tahmin edilen modelin yeni veriler üzerinde ne kadar iyi performans göstereceğini gösterir. Eğitim hatası azken genelleme hatası fazla olduğunda, modelin eğitim verisine aşırı adaptasyon gösterdiği sonucuna varılır. Bu durumda model, eğitim verilerindeki gürültü veya örneklem hatası gibi faktörlerle aşırı derecede uyum sağlayarak yeni verilerde başarısız olabilir. Aşırı uyum sorunu, modelin karmaşıklığı ve veri miktarına bağlı olarak ortaya çıkabilir. Bu nedenle, genelleme hatasını düşürmek için bazı yöntemler kullanılır. Bunlar arasında daha fazla eğitim verisi toplamak, modelin karmaşıklığını azaltmak, düzenleme teknikleri uygulamak veya çapraz doğrulama gibi yöntemleri kullanmak bulunur. Amacımız, modelin eğitim verilerine mümkün olduğunca iyi uyum sağlayıp, aynı zamanda genelleme hatasını düşük tutarak, yeni verilerde de başarılı olmasını sağlamaktır (Alpaydın, 2014; Weichert ve diğerleri, 2019).

4. Özellik Mühendisliği

Veri temizleme ve özellik seçimi, makine öğrenimi ve veri bilimi alanlarında temel adımlardır. Bu iki önemli süreç, veri kümelerinin tüketime hazır hale gelmesi için yapılan işlemlerdir. Ancak, veri kümelerini sadece temizlemek ve seçmek yeterli değildir; çünkü bazen verilerin doğrudan kullanılması, modelin başarı düzeyini sınırlayabilir. İşte bu noktada devreye özellik mühendisliği girer. Özellik mühendisliği, veri setlerinin daha bilgi dolu ve modelin hedefine daha uygun hale getirilmesi için yapılan işlemleri ifade eder. Bu süreç, mevcut verileri kullanarak yeni ve daha anlamlı özelliklerin oluşturulmasını içerir. Böylece, modelin verileri daha iyi temsil etmesi ve daha iyi sonuçlar üretmesi sağlanır (García, Luengo ve Herrera, 2015; Saboor ve diğerleri, 2022).

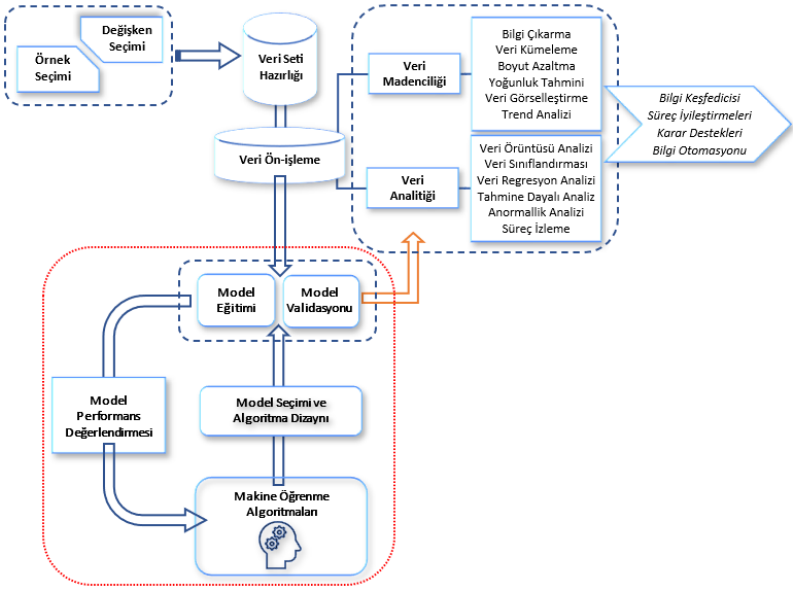
Özellik mühendisliği aşamasında, var olan özelliklerin dönüşümleri yapılabilir, yeni özellikler oluşturulabilir veya bazı özellikler birleştirilebilir. Metin tabanlı veriler sayısal değerlere dönüştürülebilir ve özelliklerin ölçeği değiştirilebilir. Ayrıca, etiketlenmiş verilerin yanı sıra tahmin gücü yüksek olan özellikler de modelin içine dahil edilebilir. Bu bağlamda, veri temizleme ve özellik seçimi ile başlayan veri hazırlama süreci, özellik mühendisliği adımı ile devam eder. Bu sayede, veri setleri modelin hedefine daha uygun hale gelir ve modelin başarı potansiyeli artar (Konar ve diğerleri, 2022).

Veri temizleme süreci, veri uygulayıcıları için en yoğun çaba gerektiren işlemdir. Ancak bu süreç, daha sağlam ve güvenilir modeller elde etmek için

ISBN: 978-625-6971-84-4

kritik öneme sahiptir. Kaliteli verilerle çalışmak, modelin performansını artırmak ve sonuçların güvenilirliğini sağlamak için zorunludur (Chatterjee ve diğerleri, 2023). Özellik seçimi, modelin amacına uygun ve etkili bir şekilde çalışmasını sağlayan değişkenleri seçmekle ilgilenir. Model için en alakalı ve önemli değişkenleri seçmek, modelin başarısını artırır ve aynı zamanda gereksiz değişkenlerin eklenmesinden kaynaklanabilecek sorunları önler. Bu sayede, modelin performansı optimize edilir ve yanlış özelliklerin modele zarar vermesi engellenir.

Bu bölümde, veri temizleme ve özellik seçiminin temel kavramları, yöntemleri ve pratik uygulamaları açık ve profesyonel bir dille anlatılacak. Okuyucular, veri temizleme ve özellik seçimi adımlarını anlamak ve başarılı bir şekilde uygulamak için gerekli bilgileri edinecekler. Ayrıca, gerçek dünya örnekleri ve örnek olaylarla konuların daha iyi anlaşılmasına odaklanacağız.

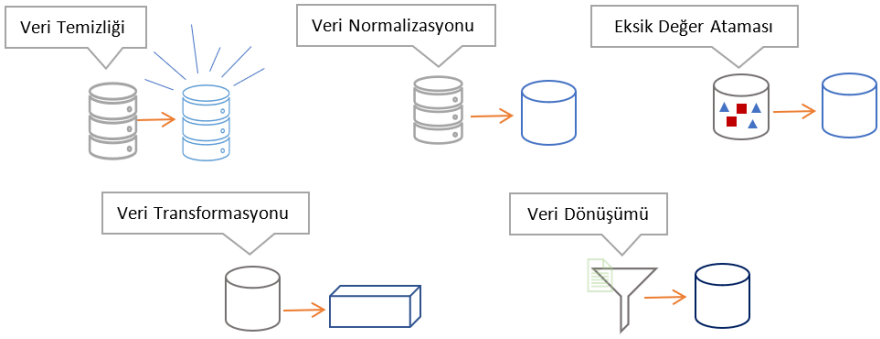


Şekil 4: Veri madenciliği ve analitik metodolojisine genel bakış.

4.1 Veri Ön-işleme

Ön-işleme, gerçek dünya verilerinin kullanılabilir bir formata dönüştürülmesinde kritik bir adımdır. Gerçek dünya verileri genellikle eksik ve belirli davranışlarda gürültülüdür. Bu da demek oluyor ki, veri madenciliği için gerekli olan verilerin çoğu gerçek dünyadan gelir ve eksiklikler ile tutarsızlıklar

içerebilir (örneğin, hatalar ve aykırı değerler) (Razavi-Far, Cheng, Saif ve Ahmadi, 2020). Sonuç olarak, veri kalitesini artırmak ve veri madenciliği görevlerinin doğruluğunu artırmak için ön-işleme prosedürleri zorunlu hale gelir. Bu prosedürler, verileri temizlemeyi, eksik verileri doldurmayı, aykırı değerleri ele almaya çalışmayı ve verileri analiz için hazırlamayı içerir.



Şekil 5: Veri ön-işleme biçimleri

4.1.1. Veri Entegrasyonu

Veri madenciliği, çeşitli kaynaklardan bilgi toplamayı ve bunları tek bir veri kümesinde birleştirmeyi içeren sofistike bir süreçtir. Ancak bu entegrasyon süreci zorlayıcı olabilir ve sonraki veri madenciliği süreçlerinin doğruluğunu ve hızını azaltabilecek fazlalıklar ve tutarsızlıklarla sonuçlanabilir. Veri madenciliğindeki önemli zorluklardan biri, farklı kaynaklardan gelen şema eşleştirmesidir. Bu soruna tipik olarak tutarsız ve yinelenen çiftlerin yanı sıra gereksiz ve ilişkili öznitelikler de eşlik eder. Bu zorluğun üstesinden gelmek için veri madenciliği uzmanları genellikle gerçek dünyadan bir örnek sunmak amacıyla her bir örneği ortak bir yapıda düzenleyen bir veri haritası kullanır (Baxter, Fann, DiMaio ve Lobdell, 2020; García, Ramírez-Gallego, Luengo, Benítez ve Herrera, 2016).

İlişkisel veri tabanlarından veri elde edilirken genellikle düzleştirilir ve tek bir kayıtta toplanır. Bazı veri tabanı sistemleri, kullanıcıların veri tabanı içindeki yardımcı araçlarla doğrudan gezinmelerine olanak tanıyan bir yapı sunar. Veri tabanı içi analiz araçları, verinin dışa aktarılarak bir dosya oluşturma ihtiyacını ortadan kaldırmanın avantajını taşır; ancak, ön işleme teknikleri için her zaman en ideal yöntemleri sunmazlar. Ön işleme, zaman alıcıdır ve veriler doğrudan veri tabanında saklandığında, bu işlemi sürekli olarak yeniden yapmak gerekebilir. Bu nedenle veriler harici bir dosyaya çıkarılırsa, veriler önceden işlenirse ve tamamen belleğe sığarsa işleme ve modelleme daha hızlı olacaktır. Bu şekilde veriler daha verimli bir şekilde analiz edilebilecek ve DM sürecinin sonuçları

daha doğru olacaktır (Benzidia, Makaoui ve Bentahar, 2021; Mirza ve diğerleri, 2019).

Özetle, veri madenciliği, birden çok kaynaktan gelen verilerin dikkatli bir şekilde entegrasyonunu gerektiren karmaşık bir süreçtir. Farklı kaynaklardan şema eşleştirmesi önemli bir zorluk olabilir, ancak bir veri haritası bu sorunun üstesinden gelmeye yardımcı olabilir. Veri tabanı içi araştırma araçları yararlı olsa da veriler harici bir dosyaya çıkarıldığında ve tamamen belleğe sığdığında ön-işleme teknikleri genellikle daha etkilidir.

4.1.2. Veri Temizliği

Bir veri kümesine dahil edilen veriler hatalı olabilir. Entegrasyon, aynı verilerin eksik, yanlış ve standart dışı temsillerini içeren yüksek oranda kirli veriye yol açabilir. Verilerin büyük bir bölümü hatalı veya eksikse DM sürecinin sonucu olarak elde edilen model güvenilmez olabilir. Kirli veriler veri madenciliği algoritmalarını farklı şekilde etkileyebilir, ancak böyle bir etkiyi ölçmek zordur. Bir DM yöntemi uygulanmadan önce, hatalı verilerin düzeltilmesi ya da çıkarılması için veri setinin temizlenmesi gereklidir. Kirli veriler, veri girişi ve güncelleme hataları, veri aktarım hataları ve sistem hataları gibi çeşitli kaynaklardan gelir ve genellikle eksik veya gürültülü veriler olarak görünür (Angelini, Dong, Zhai ve Dixon, 2022).

Eğitim veya test veri setlerindeki yüksek orandaki kirli veriler, özellikle karar ağaçları, ANN'ler ve k-NN algoritması gibi mesafe tabanlı algoritmalar için daha az güvenilir modellere yol açabilir. Uzaklık ölçüleri büyük ölçüde verilerin değerlerine bağlıdır ve kirli verilerin kullanılması hatalı sonuçlara yol açabilir. Fakat, gürültü içeren verileri belirlemek kolay bir görev olmayıp, yanıltıcı tespitler doğru verilere zarar da getirebilir. DM algoritmaları uygulanmadan önce eksik değerlerle ilgilenilir. Kayıp değerlere sahip örnekler göz ardı edilebilir, manuel olarak veya bir sabitle doldurulabilir veya güvenilir ve daha genel sonuçlar elde etmek için veriler üzerinde tahminler kullanan daha ayrıntılı stratejiler kullanılabilir (Razavi-Far ve diğerleri, 2020).

Veri içerisindeki gürültü, çoğunlukla bir değişkenin ölçümündeki rastlantısal hatalar olarak nitelendirilir ve bu, değişkenin değerini etkileyebilir. Aykırı değerlerin tespit edilmesi için dağılım grafikleri gibi temel istatistik ve betimleyici yöntemlerden yararlanılabilir. Çoklu doğrusal regresyon, sayısal olmaları halinde öznitelik değerlerinin eğilimini tahmin edebilir. Ancak literatürde en çok tavsiye edilen yaklaşım, genellikle filtreleme yoluyla gürültünün tespit edilmesi ve arıtılmasıdır (Douzas, Bacao ve Last, 2018).

4.1.3. Veri Normalizasyonu

Bir veri kümesindeki bilgiler, veri madenciliği algoritması için her zaman yeterince uygun olmayabilir. Elde edilen özellikler bazen sadece kendi başlangıç alanlarında anlamlıdır veya mevcut çalışma sistemine uyum sağlamak için şekillendirilmiştir. Çoğu zaman, bu başlangıç özellikleri, doğru tahminleme modelleri oluşturmak için tatmin edici olmayabilir. Dolayısıyla, başlangıç özelliklerini değiştirmek veya modelin tahmin kapasitesini artırmak için daha nitelikli yeni özellikler geliştirmek için belirli adımların uygulanması yaygındır. Bu tür yeni özelliklere genellikle modelleme değişkeni ya da analitik değişken denir. (Little ve Rubin, 2020; Murty ve Avinash, 2023). Bu başlık altında yeni özellikler oluşturmak yerine, başlangıç değerlerinin dağılımını istenilen niteliklere uygun yeni bir değer setine nasıl dönüştürebileceğimize dair dönüşümler üzerinde duracağız.

4.1.3.1. Min-Maks Normalleştirme

Min-Maks yöntemi, verileri normalleştirmek için kullanılan doğrusal bir yöntemdir. Verinin alabileceği en az değere "minimum", mümkün olan en fazla değere ise "maksimum" denir.

Min-maks normalizasyonu, veriyi belirli bir aralığa ölçeklendirmek için kullanılan yaygın bir veri önişleme tekniğidir. Bu teknik, özellikle verideki değerlerin çok farklı aralıklarda olduğu durumlarda faydalıdır. Min-maks normalleştirmenin amacı, tüm x sayısal değerlerini [$yeni - min_A$, $yeni - maks_A$] ile gösterilen belirli bir aralığa düşecek şekilde ölçeklendirmektir. Burada $maks_A$ ve min_A sırasıyla orijinal maksimum ve minimum öznitelik değerleridir. Bu alanda "normalleştirme" genellikle nihai aralığın [0, 1] olduğu, yani $yeni - min_A = 0$ ve $yeni - maks_A = 1$ olduğu özel bir min-maks normalleştirme durumunu ifade eder. Verilerin [-1, 1] aralığına normalleştirilmesi de yaygındır (García ve diğerleri, 2015).

Veri değerinin yeni değeri şu formülle bulunur:

$$x' = \frac{x - x_{min}}{x_{maks} - x_{min}} \tag{5.1}$$

Bu formülde:

- x' değerin yeni normalleştirilmiş değeridir.
- x orijinal veri değeridir.
- x_{min} veri setindeki minimum değerdir.

- x_{maks} veri setindeki maksimum değerdir.

Bu yaklaşım, veri setindeki değerlerin geniş bir aralıkta dağılmadığı durumlarda etkilidir. Eğer çok fazla aykırı değer (outlier) varsa, bu normalizasyon tekniği yerine z-skor normalizasyonu gibi diğer yöntemleri kullanmak daha iyi olabilir.

4.1.3.2. Z-skor Normalizasyonu

Min-maks normalleştirme, özellikle değer aralığı önemli ölçüde değiştiğinde sayısal verileri ölçeklendirmek için popüler bir yöntemdir. Min-maks normalleştirmesi her zaman pratik veya uygulanabilir olmayabilir. Özellikle, A özniteliğine ait en düşük veya en yüksek değerler bilinmediğinde bu tür bir normalleştirmeyi gerçekleştirmek zordur. Bu bilgilere sahip olsak dahi, aykırı değerlerin bulunması, bu değerlerin gruplanması ve dijital doğruluğun sınırlamaları, min-maks normalleştirmesinin doğruluğunu olumsuz etkileyebilir (Barrett, 2023).

Aykırı değerler, bir veri kümesi için tipik değer aralığının çok dışında kalan veri noktalarıdır. Aykırı değerler mevcut olduğunda, normalleştirme sürecini önemli ölçüde etkileyerek güvenilir sonuçlar elde etmeyi zorlaştırabilirler. Aykırı değerler, normalleştirme algoritmasının verileri birkaç kategoride gruplandırmasına neden olabilir ve bu da verileri temsil etmek için mevcut dijital hassasiyeti azaltır. Dijital hassasiyetteki bu azalma bilgi kaybına yol açarak normalleştirme sonuçlarını daha az doğru hale getirebilir (Cheng, Chang ve Huang, 2020).

Özetle, min-maks normalizasyonu sayısal verileri ölçeklendirmek için faydalı bir yöntem olsa da her zaman pratik veya uygulanabilir değildir. A özniteliğinin minimum veya maksimum değerleri bilinmediğinde veya aykırı değerler mevcut olduğunda, verileri normalleştirmek için alternatif yöntemleri göz önünde bulundurmak önemlidir. Bir veri setindeki değerlerin dağılımını standartlaştırmak için kullanılan Z-skor normalizasyonu, verinin ortalamasının 0 ve standart sapmasının 1 olacak şekilde ölçeklendirmektedir (Barrett, 2023; Zhou, 2021).

Z-skor normalizasyon formülü şöyledir:

$$x' = \frac{x - \bar{A}}{s_A} \qquad (5.2)$$

Bu formülde:

x' değerin z-skor normalleştirilmiş değeridir.

x orijinal veri değeridir.

$\bar{A}$ veri setinin ortalamasıdır.

s_A veri setinin standart sapmasıdır.

Z-skor normalizasyonunun avantajı, veri setinin genel dağılımının korunmasıdır. Yani, değerler arasındaki ilişkiler ve dağılım aynı kalırken, ortalamaları ve standart sapmaları standardize edilir. Bu, pek çok makine öğrenimi algoritmasının performansını artırabilir, çünkü birçok algoritma, özellikler arasında benzer ölçeklendirmeyi tercih eder.

4.1.4. Veri Dönüşümü

Veri bilimi ve makine öğreniminde veri dönüşümü, veri setlerinin modeller tarafından daha etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla gerçekleştirilen bir dizi işlemdir. Bu dönüşümler, modelin öğrenme performansını artırabilir, eğitim süresini kısaltabilir ve daha anlamlı özellikler elde edebilir. Veri normalizasyonu ve veri dönüşümü, veri önişleme aşamasında gerçekleştirilen iki farklı işlemdir. Her ikisi de veri setini modelleme veya analiz için daha uygun hale getirme amacını taşır, ancak gerçekleştirdikleri işlevler arasında bazı temel farklar vardır (García ve diğerleri, 2016; Kumar, Sindhu, Prashanthi ve Sulthana, 2020).

- ✓ *Veri Normalizasyonu:*

- Amaç, veriyi belirli bir ölçek veya aralığa getirmektir. Genellikle, veri değerlerinin 0 ile 1 arasında olmasını sağlamak amacıyla yapılır.
- Özellikle lineer modeller, sinir ağları ve k-NN gibi bazı makine öğrenimi algoritmaları için özelliklerin aynı ölçeğe sahip olması önemlidir.
- Min-maks normalleştirme ve z-skor normalleştirme, en sık başvurulan normalleştirme yöntemlerindendir.
- Normalizasyon, özelliklerin dağılımını değiştirmez, sadece ölçeklerini ayarlar.

- ✓ *Veri Dönüşümü:*

- Amaç, veriyi model veya analiz için daha uygun bir formata veya yapıya dönüştürmektir.
- Dönüşüm, özelliklerin dağılımını, tipini veya değerlerini değiştirebilir.

- Örnekler arasında log dönüşümü, one-hot kodlama, binning ve PCA (Ana Bileşen Analizi) bulunmaktadır.
- Dönüşüm, veriyi daha anlamlı hale getirebilir, özellik mühendisliği yoluyla yeni bilgiler ekleyebilir veya özelliklerin boyutunu azaltabilir.

5. Model Seçimi ve Genelleme

Öğrenme süreci tüm olası hipotezlerle başlar ve daha fazla eğitim örneği gördükçe eğitim verisiyle tutarlı olmayan hipotezleri elemek anlamına gelir. Eğitim verisi bir modeli eğitmek için yeterli olmayabilir ve bu durum genelleme yeteneğini etkileyebilir**.** Her farklı eğitim örneği olası hipotezlerin yarısını (yanlış tahmin yapanları) ortadan kaldırır. Öğrenmenin bir yorumlaması şöyledir; tüm potansiyel hipotezleri başlangıçta göz önünde bulundururuz ve artan eğitim verileriyle karşılaştıkça, eğitim verileriyle uyumsuz olan hipotezleri elemekteyiz. Verinin tek başına benzersiz bir çözüm bulmak için yeterli olmadığı durumlar "*kötü konulmuş (ill-posed)"* bir problem örneğidir. Diğer öğrenme uygulamaları, örneğin sınıflandırma ve regresyon, aynı sorunla karşı karşıyadır (Alpaydın, 2014; Kubat, 2017). Artan eğitim örnekleriyle, altta yatan fonksiyonu daha derinlemesine kavrarız ve hipotez setinden daha çeşitli hipotezler oluşturabiliriz. Fakat hala birçok uyumlu hipoteze sahip olabiliriz, çünkü öğrenme belirsiz bir problemdir ve bu sorunu çözmek için sadece verilere dayanmak yeterli olmayabilir. Benzersiz bir çözüm elde etmek için, elimizdeki verilere dayanarak ek varsayımlar yapmalıyız. Bu varsayımlara öğrenme algoritmasının "*tümevarımsal (öğrenme) yanlılığı"* denir. Tümevarımsal yanlılığı ifade etmenin bir yöntemi, bir hipotez kümesi $\mathcal{H}$'yi ele almaktır. Örneğin, elma ve portakal meyveleri arasında renk sınıfını öğrenirken; bir sepet dolusu meyve var ve bu meyveleri renklerine göre sınıflandırmak istiyorsunuz. Eğer kırmızı renkteki meyvelerin çoğunlukla elma olduğunu varsayarsanız, bu bir tümevarımsal yanlılıktır. Ancak bu yanlılık bazen yanıltıcı olabilir; kırmızı renkli bazı portakallar veya diğer meyveler de olabilir. Bir yemek tarifinde belirli malzemelerin kullanılmasını bekliyorsanız, bu da bir tümevarımsal yanlılık olabilir. Örneğin, "İtalyan yemeklerinde genellikle domates ve zeytinyağı vardır" şeklinde bir varsayımınız olabilir. Ancak bu, tüm İtalyan yemeklerinin bu malzemeleri içerdiği anlamına gelmez. Doğrusal regresyonda, doğrusal bir fonksiyon varsaymak ve karesel hatayı en aza indiren doğruyu seçmek yine başka bir tümevarımsal yanlılıktır. Ancak, her hipotez sınıfının belirli bir kapasitesi vardır ve yalnızca belirli işlevleri öğrenebilir (Alpaydın, 2014). Bu tür yanlılıklar bir problemi çözerken ya da bir şeyi sınıflandırırken basit ve etkili çözümlere

ulaşmamıza yardımcı olabilirken her zaman doğru olmayabilirler. Bu nedenle, bu yanlılıkların ne zaman kullanılacağı ve ne zaman kullanılmayacağına dikkat etmek önemlidir.

"Model Seçimi"! Daha geniş kapasiteli bir hipotez kümesi seçerek, öğrenilebilecek fonksiyonların yelpazesi genişletilir. İki dikdörtgenin bir araya gelmesinden oluşan bir hipotez kümesi, daha büyük bir kapasiteye sahip olmasına rağmen, bu hipotezler daha karmaşık yapıya sahiptir. Benzer şekilde regresyonda da polinomun mertebesini artırdıkça hem kapasite hem de karmaşıklık artar. Sorun, doğru dengeyi ne zaman bulacağımızdır. Öğrenme, tümevarımsal yanlılık olmadan gerçekleşemez ve asıl mesele, hangi yanlığın en uygun olduğunu nasıl belirleyeceğimizdir. ML'nin ana hedefinin sadece eğitim verilerine uymak olmadığını, aynı zamanda öğrendiklerini yeni durumlara uygulayabilmek olduğunu aklımızda bulundurmalıyız. Yani, eğitim setinde olmayan yeni bir girdi için doğru sonucu nasıl elde edeceğimizi bilmek istiyoruz. Bir modelin eğitim verisine dayanarak yeni örnekleri ne kadar iyi tahmin edebildiği *"genelleme yeteneği"* olarak adlandırılır.

"Aşırı ve Eksik Öğrenme"! Optimal genelleme yeteneğine ulaşmak için $\mathcal{H}$ hipotez sınıfının kompleksliğini, verideki temel fonksiyonun kompleksliğiyle uyumlu bir şekilde ayarlamalıyız. Hipotez kümesinin $\mathcal{H}$ karmaşıklığının, verilerin altında yatan fonksiyonun karmaşıklığıyla dengede olması gerekir aksi halde model ya verilere yeterince uymayacak ya da verilere aşırı uyum sağlayacaktır. Model, verilerin altında yatan gerçek fonksiyonun karmaşıklığını yakalayamazsa *"eksik uyum"* ortaya çıkar. Örneğin 3. dereceden bir polinomla üretilen verilere doğrusal bir model uygulamak, modelin yetersiz olduğunu gösterebilir. Bu tür durumlarda, modelin karmaşıklığını artırdığınızda eğitim hatası azalır. Ancak eğer $\mathcal{H}$ aşırı karmaşık bir yapıdaysa, mevcut veri bu karmaşıklığı kısıtlamaya yetmeyebilir. Böyle bir senaryoda, dikdörtgen şeklindeki veriye iki dikdörtgenle uymaya çalışmak, uygun olmayan bir hipotez ($h \in \mathcal{H}$) seçilmesine neden olabilir. Benzer şekilde, çok karmaşık bir hipotez sadece temel işlevi değil, aynı zamanda verideki rastgele gürültüyü de kavrayabilir. Bu durum *"aşırı uyum"* olarak bilinir. Bu tür bir senaryoda, ek eğitim verisinin getirisi belirli bir sınırın ötesinde azalabilir. Verilen eğitim veri kümesi ve hipotez seti ($\mathcal{H}$) ile en az eğitim hatası veren bir hipotezi (h) seçebiliriz. Ancak eğer $\mathcal{H}$ iyi seçilmezse, $\mathcal{H}$ içindeki hangi h 'yi seçersek seçelim, iyi bir genelleme elde edemeyiz (Alpaydın, 2014; Hall, 2022; Janiesch, Zschech ve Heinrich, 2021).

ISBN: 978-625-6971-84-4

"Yanlılık/Varyans İkilemi"! Makine öğreniminde modelin genelleme performansını optimize ederek başarısını etkileyen üç ana faktör arasında bir denge bulunmaktadır.

- Hipotez Karmaşıklığı (Model Kapasitesi): Modelimizin ne kadar karmaşık bir fonksiyonu yakalayabileceğini ifade eder. Daha karmaşık bir model, eğitim verisindeki ince ayrıntıları ve yapıları daha iyi yakalayabilir, ancak aynı zamanda veri gürültüsüne de aşırı uyum sağlayabilir.
- Eğitim Verisinin Miktarı: Daha fazla eğitim verisi genellikle modelin daha iyi genelleme yapmasına yardımcı olabilir çünkü model, farklı durumları ve varyasyonları gözlemleyerek daha sağlam bir öğrenme deneyimi yaşar.
- Genelleme Hatası: Bu, modelin eğitim verisi dışında kalan yeni verilere ne kadar iyi performans gösterdiğini ifade eder. Düşük bir genelleme hatası, modelin yeni verilere iyi uydurduğu anlamına gelir.

Yanlılık, farklı eğitim setleri için modelin ortalama hatasının bir göstergesidir: Tahmin edilen değerlerin ortalaması ile tahmin etmeye çalıştığımız gerçek ortalama arasındaki tutarsızlıktır. Varyans, modelin farklı eğitim setlerine ne kadar duyarlı olduğunu gösterir. Yüksek bir varyans, modelin eğitim verisindeki küçük değişikliklere aşırı duyarlı olduğunu, yani aşırı uyum yaşandığını gösterir. Model karmaşıklığı arttıkça yanlılık azalırken, varyans artar. Bu, modelin eğitim verisine daha yakın sonuçlar vermesi ama aynı zamanda eğitim verisindeki gürültüyü veya anlamsız varyasyonları da öğrenmesi anlamına gelir. Optimal bir modelde *hem yanlılığı hem de varyansı dengede* tutarak toplam hata minimuma indirilmelidir (Hall, 2022; Los ve diğerleri, 2020).

"Doğrulama Seti"! Bir modelin ne kadar iyi genelleme yaptığını anlamak için, eğitim seti dışında kalan verilere erişimimiz olmalıdır. Pratikte, elimizdeki veri kümesini iki bölüme ayırarak bu süreci taklit ederiz. Bu iki bölüm *"eğitim seti"* ve *"doğrulama seti"* olarak isimlendirilir. Eğitim seti, modelin bilgi edinimi için kullanılır, yani model bu veriler üzerinde eğitilir. Doğrulama setiyse, modelin yeni verilere ne kadar iyi adapte olduğunu değerlendirmek amacıyla kullanılır. Eğer birden fazla model veya hipotez sınıfı arasında seçim yapmamız gerekiyorsa, her bir model veya hipotez sınıfı için en uygun modeli eğitim setine uydururuz. Daha sonra, bu modelleri doğrulama setinde test ederiz. En iyi genelleme performansını gösteren model, en iyi "tümevarımsal yanlılığa" sahip olan modeldir. Modelin gerçekteki performansını ölçmek için eğitim veri setinin dışında kalan bir doğrulama seti kullanmak modelin yeni, önceden görülmemiş

verilere ne kadar iyi uydurduğu hakkında bir fikir edinmemizi sağlayacaktır (Badillo ve diğerleri, 2020).

"Çapraz Doğrulama"! Yeterince büyük eğitim ve doğrulama setleri varsayıldığında, doğrulama setinde en doğru olan hipotez en iyisidir (en iyi tümevarım yanlılığına sahip olan). Bu sürece *"çapraz doğrulama"* denir. Veri kümesi farklı alt kümeler (katlar) olarak ayrılır ve her katın sırayla test olarak kullanıldığı, diğerlerinin ise eğitim için kullanıldığı bir dizi deney yapılır. Örnek olarak, farklı derecelerde bir dizi aday polinomun doğru sırasını bulma süreci verilmektedir. Farklı derecelerdeki polinomlar, farklı hipotez sınıflarına karşılık gelmektedir. Her bir derece için, eğitim setinde katsayıları buluruz, ardından bu polinomların doğrulama setindeki hatalarını hesaplarız. En az doğrulama hatasına sahip olan polinom, en iyi polinom olarak seçilir (Murty ve Avinash, 2023).

"Test Seti"! Hayatımızdan bir benzetme yapacak olursak, bir ders alırken eğitmenin bir konuyu öğretirken sınıfta çözdüğü örnek problemler eğitim setini oluşturur; sınav soruları doğrulama setidir ve daha sonraki profesyonel hayatımızda çözdüğümüz problemler "*test setidir"*. Eğitim/doğrulama ayrımını tekrar tekrar kullanmak sürdürülebilir değildir, çünkü bu bölünme bir kez kullanıldığında, doğrulama seti etkili bir şekilde eğitim verisinin bir parçası haline gelir. Bu durum, her yıl aynı sınav sorularını kullanan bir öğretmenin durumuna benzer. Zeki bir öğrenci, derslerle uğraşmak yerine sadece bu soruların cevaplarını ezberlemeye odaklanacaktır. Kullandığımız eğitim verilerinin her zaman rastgele bir örneklem olduğunu unutmamız önemlidir (Alpaydın, 2014).

"Sonuç Olarak"! Modelimizin performansını değerlendirmek için doğrulama setini kritik bir araç olarak kullandıktan sonra modelin beklenen hatasını nihai olarak raporlarken doğrulama hatasına başvurmak yanıltıcı olabilir. Bunun yerine eğitim ve doğrulama süreçlerinde hiçbir şekilde etkisi olmamış olan test setini kullanarak modelin genel başarısını ölçmeliyiz. Tekrarlı kullanımlarda, aynı eğitim ve doğrulama setinin sürekli olarak kullanılması aşırı uyum riskini artırabilir ve bu nedenle bu pratiğin kaçınılması önerilir. Doğrulama seti bir kere kullanıldığında modelin öğrenim sürecinin bir parçası haline gelerek modelin gerçek dünya verilerine olan genelleme yeteneğini bozabilir. Veri toplama sürecinin doğasının rastgele olduğunu akılda tutmak, model oluşturma sürecinin önemli bir bileşenidir. Eğer sabit bir veri setiyle çalışıyorsak, bu veri setini nasıl bölümlediğimize bağlı olarak değişen sonuçlara ulaşabiliriz. Hipotez sınıfları arasında seçim yaparken metodolojik bir yaklaşım benimsemek esastır. Birden çok eğitim ve doğrulama seti üzerindeki testler, hipotezlerin performansını anlamamıza yardımcı olur. $\mathcal{H}_i$ ve $\mathcal{H}_j$ hipotezleri arasındaki performans farkının

rastgele varyasyonlardan kaynaklanıp kaynaklanmadığını değerlendirebilmek için bu testlerin sonuçları kritik bir analiz gerektirir. Makine öğrenimi süreçlerinde sınırlı veri ile çalışmanın getirdiği zorluklar ve bu zorlukların nasıl üstesinden gelineceği konusunda daha detaylı bir inceleme yapmak gereklidir. Rastgeleliğin etkisini minimize ederken istatistiksel olarak anlamlı sonuçlara ulaşmanın yolları, bu konuda daha detaylı bir incelemeyi gerektirir.

Kaynakça

Alpaydın, E. (2014). *Introduction to Machine Learning*. (T. Dietterich, C. Bishop, D. Heckerman, M. Jordan ve M. Kearns, Ed.) (3. bs.). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.

Angelini, G., Dong, T., Zhai, B. ve Dixon, L. (2022). An Ensemble approach for Ensemble-Modelled Cardiac Surgery Risk Evaluation , Data Usage and Clinical Interpretability.

Badillo, S., Banfai, B., Birzele, F., Davydov, I. I., Hutchinson, L., Kam-Thong, T., … Zhang, J. D. (2020). An Introduction to Machine Learning. *Clinical Pharmacology and Therapeutics*, *107*(4), 871–885. doi:10.1002/cpt.1796

Barrett, S. F. (2023). *Arduino V : Machine Learning*. (M. A. Thornton, Ed.). Springer Nature Switzerland AG.

Baxter, R. D., Fann, J. I., DiMaio, J. M. ve Lobdell, K. (2020). Digital Health Primer for Cardiothoracic Surgeons. *Annals of Thoracic Surgery*, *110*(2), 364–372. doi:10.1016/j.athoracsur.2020.02.072

Benzidia, S., Makaoui, N. ve Bentahar, O. (2021). The impact of big data analytics and artificial intelligence on green supply chain process integration and hospital environmental performance. *Technological Forecasting and Social Change*, *165*(July 2020), 120557. doi:10.1016/j.techfore.2020.120557

Chatterjee, P., Yazdani, M., Fernández-Navarro, F. ve Pérez-Rodríguez, J. (2023). *Machine Learning Algorithms and Applications in Engineering*. (P. Chatterjee, M. Yazdani, F. F. Navarro ve J. P. Rodríguez, Ed.) (1. bs.). Abingdon: Taylor & Francis Group, LLC. doi:10.1201/9781003104858

Cheng, C. H., Chang, J. R. ve Huang, H. H. (2020). A novel weighted distance threshold method for handling medical missing values. *Computers in Biology and Medicine*, *122*(February), 103824. doi:10.1016/j.compbiomed.2020.103824

Douzas, G., Bacao, F. ve Last, F. (2018). Improving imbalanced learning through a heuristic oversampling method based on k-means and SMOTE. *Information Sciences*, *465*, 1–20. doi:10.1016/j.ins.2018.06.056

Esteva, A., Robicquet, A., Ramsundar, B., Kuleshov, V., DePristo, M., Chou, K., … Dean, J. (2019). A guide to deep learning in healthcare. *Nature Medicine*, *25*(1), 24–29. doi:10.1038/s41591-018-0316-z

García, S., Luengo, J. ve Herrera, F. (2015). *Data Preprocessing in Data Mining*. *Intelligent Systems Reference Library* (C. 72). doi:10.1007/978-3-319-10247-4_8

García, S., Ramírez-Gallego, S., Luengo, J., Benítez, J. M. ve Herrera, F. (2016). Big data preprocessing: methods and prospects. *Big Data Analytics*, *1*(1), 1–22. doi:10.1186/s41044-016-0014-0

Ge, Z., Song, Z., Ding, S. X. ve Huang, B. (2017). Data Mining and Analytics in the Process Industry: The Role of Machine Learning. *IEEE Access*, *5*, 20590–20616. doi:10.1109/ACCESS.2017.2756872

Géron, A. (2017). *Hands-on machine learning with Scikit-Learn and TensorFlow*. *O'Reilly Media*.

Greener, J. G., Kandathil, S. M., Moffat, L. ve Jones, D. T. (2022). A guide to machine learning for biologists. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, *23*(1), 40–55. doi:10.1038/s41580-021-00407-0

Hall, P. (2022). *Machine Learning for High-Risk Applications*. (M. Cronin ve R. Novack, Ed.) (First.). O'Reilly Media, Inc. O'Reilly Media adresinden erişildi.

Han, J., Pei, J. ve Tong, H. (2022). *Data Mining: Concepts and Techniques* (4. bs.). Morgan Kaufmann.

Janiesch, C., Zschech, P. ve Heinrich, K. (2021). Machine Learning and Deep Learning. *Electronic Markets*, *31*, 685–695. doi:https://doi.org/10.1007/s12525-021-00475-2

Jovel, J. ve Greiner, R. (2021). An Introduction to Machine Learning Approaches for Biomedical Research. *Frontiers in Medicine*, *8*, 1–15. doi:10.3389/fmed.2021.771607

Kagiyama, N., Shrestha, S., Farjo, P. D. ve Sengupta, P. P. (2019). Artificial intelligence: practical primer for clinical research in cardiovascular disease. *Journal of the American Heart Association*, *8*(17), 1–12. doi:10.1161/JAHA.119.012788

Konar, S., Auluck, N., Ganesan, R., Goyal, A. K., Kaur, T., Sahi, M., … Puri, G. D. (2022). A non-linear time series based artificial intelligence model to predict outcome in cardiac surgery. *Health and Technology*, *12*(6), 1169–1181. doi:10.1007/s12553-022-00706-2

Kubat, M. (2017). *An Introduction to Machine Learning* (2. bs.). Springer International Publishing AG. doi:10.1007/978-3-319-63913-0

Kumar, N. K., Sindhu, G. S., Prashanthi, D. K. ve Sulthana, A. S. (2020). Analysis and Prediction of Cardio Vascular Disease using Machine Learning Classifiers. *2020 6th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, ICACCS 2020*, (Ml), 15–21. doi:10.1109/ICACCS48705.2020.9074183

Little, R. J. A. ve Rubin, D. B. (2020). *Statistical Analysis with Missing Data* (3. bs.).

Los, U. M. D. E. C. D. E., Ng, T. S., Neapolitan, R. E., Jiang, X. X., Barrett, S. F., Lei, Y., … Zhang, J. D. (2020). Machine learning. *Studies in Systems, Decision and Control*, *138*(4), 106587. doi:10.1016/j.ymssp.2019.106587

Mirza, B., Wang, W., Wang, J., Choi, H., Chung, N. C. ve Ping, P. (2019). Machine learning and integrative analysis of biomedical big data. *Genes*, *10*(2). doi:10.3390/genes10020087

Murty, M. N. ve Avinash, M. (2023). *Representation in Machine Learning*. Springer Nature Singapore Pte Ltd. https://link.springer.com/10.1007/978-981-19-7908-8 adresinden erişildi.

Neapolitan, R. E. ve Jiang, X. (2018). *Artificial Intelligence With an Introduction to Machine Learning* (2. bs.). CRC Press Taylor & Francis Group.

Razavi-Far, R., Cheng, B., Saif, M. ve Ahmadi, M. (2020). Similarity-learning information-fusion schemes for missing data imputation. *Knowledge-Based Systems*, *187*(xxxx), 104805. doi:10.1016/j.knosys.2019.06.013

Saboor, A., Usman, M., Ali, S., Samad, A., Abrar, M. F. ve Ullah, N. (2022). A Method for Improving Prediction of Human Heart Disease Using Machine Learning Algorithms. *Mobile Information Systems*, *2022*. doi:10.1155/2022/1410169

Saxena, A., Rani, U., Agarwal, I. ve Sreedharan, S. M. (2021). Introduction to Machine Learning. A. Saxena, N. Brault ve S. Rashid (Ed.), *Big Data and Artificial Intelligence for Healthcare Applications* içinde (First., ss. 23–64). Taylor & Francis Group. doi:10.1007/978-3-031-03758-0_1

Theobald, O. (2021). *Machine Learning For Absolute Beginners: A Plain English Introduction*. (J. Pedersen ve C. Dino, Ed.) (3. bs.). Independent Curators.

Weichert, D., Link, P., Stoll, A., Rüping, S., Ihlenfeldt, S. ve Wrobel, S. (2019). A review of machine learning for the optimization of production processes. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *104*, 1889–1902. doi:10.1007/s00170-019-03988-5

Zhou, Z.-H. (2021). *Machine Learning*. (S. Liu, Ed.). Tsinghua University Press, Springer Nature Singapore Pte Ltd. https://link.springer.com/10.1007/978-981-15-1967-3 adresinden erişildi.



BÖLÜM 22

ISBN: 978-625-6971-84-4

DOĞANIN BENZERSİZ YAPILARINDAN İLERİ TEKNOLOJİ MALZEMELERİNE: FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ MALZEMELER

Dr. Serhan KARAMAN GENÇ[1]

Dr. Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN[2]

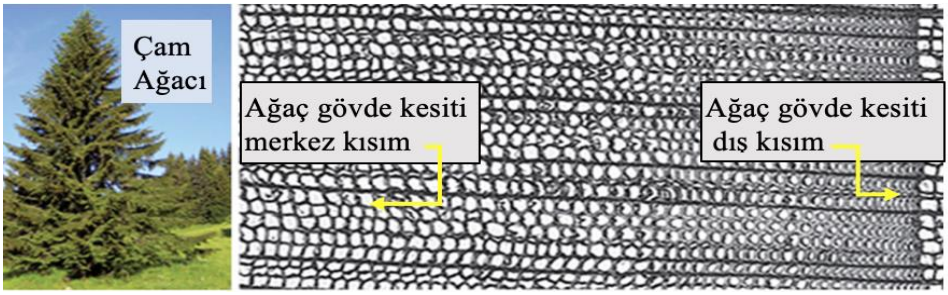
1.1. Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemeler

Gelişen teknolojinin en önemli öğelerinden biri olan malzeme bilimi, ihtiyaca göre kendini sürekli yenilemekte ve türetmektedir. Günümüzde bilim adamları ve mühendisler, yenilikçi materyal kullanımının, ekonomik ve çevresel nedenlerden ötürü önemini kabul etmektedir. Bu bağlamda birçok yeni malzeme ve türleri ortaya çıkmaya devam etmektedir. Özel karaktere sahip malzeme gereksinimi arttıkça, önce Kompozit malzemeler, sonrasında da Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler (FDM) ortaya çıkmıştır. Fonksiyonel olarak derecelendirilmiş malzemeler (FDM'ler), yapı ve / veya kompozisyondaki derecelendirmenin sonucu kendine has özellikler kazanarak, belirli bir performans veya işlev için tasarlanan ileri mühendislik malzemeleridir. Bu ileri teknoloji malzemeler (FDM'ler), doğa için ise yeni değillerdir. Diğer birçok insan yapımı malzemeye benzer şekilde, FDM'ler de ilk örneklerini doğadan alırlar ve bu yapılarıyla doğada binlerce yıldır kullanılmaktadırlar.

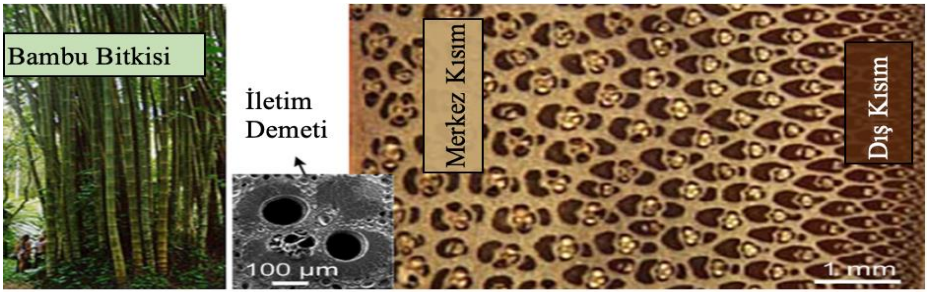
Ağaç gövdesindeki merkezden dışa doğru küçülen gözenekli yapı (Şekil 1.1), bambu bitkisinin merkezden dışa doğru gözenek ve yönlenme değişimi (Şekil 1.2), at toynağında vücut dokusundan yüzeyle temasına doğru kanalsal gözenek değişimi ile kazanılan sertlik ve oluşabilecek çatlak mekanizmalarına karşı dayanım (Şekil 1.3), palmiye ağacı gövdesi, geyik boynuzu kesiti ve dinazor kemiği kesiti üzerinde benzer gözenek derecelenmesiyle oluşan yapılar (Şekil 1.4), ve insan vücudundan örneklerle kemik yüzeyinden merkeze doğru derecelendirilmiş yapı örneği (Şekil 1.5) ile diş minesi ile dentin bölgesi arası

[1] Trakya Üniversitesi, ORCID: 0000-0003-2005-165X
[2] Trakya Üniversitesi, ORCID: 0000-0003-2251-3889

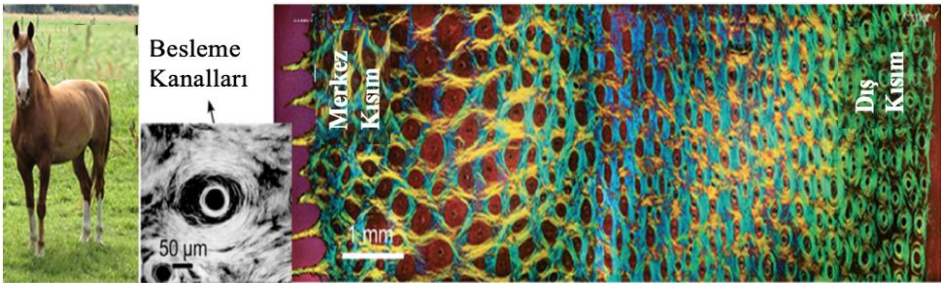
geçiş bölgesinde ve dentin ile cementum bölgesi arası geçiş bölgesinde görülen yapılar (Şekil 1.6), doğada çeşitli alanlarda görülen fonksiyonel derecelendirilmiş yapı örnekleridir.



Şekil 1. 1. Ağaç kesitinden; merkezden dışa doğru gözenek sıklaşması ve küçülmesiyle oluşan fonksiyonel derecelendirilmiş yapı örneği (Gibson, 2012).

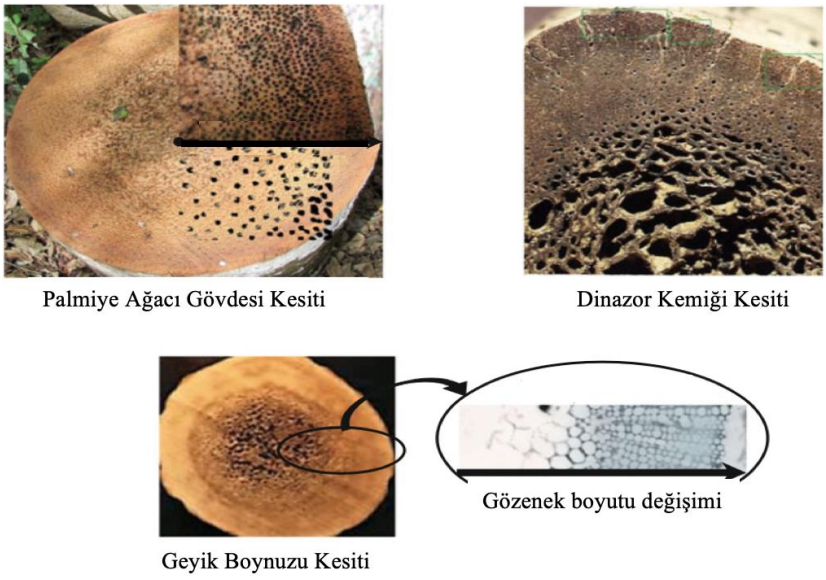


Şekil 1. 2 . Bambudaki fonksiyonel dereceli yapı (Habibi, Samaei, Gheshlaghi, Lu ve Lu, 2015; Silva, Walters ve Paulino, 2006).

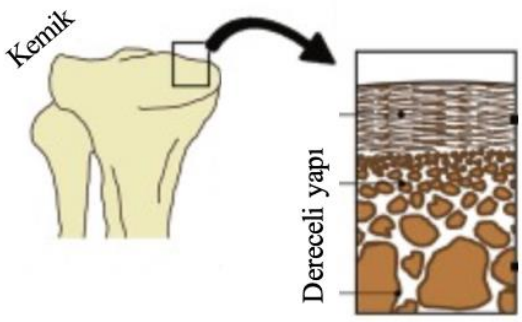


Şekil 1. 3. At toynağı kesitindeki fonksiyonel dereceli yapı (Kasapi ve Gosline, 1997).

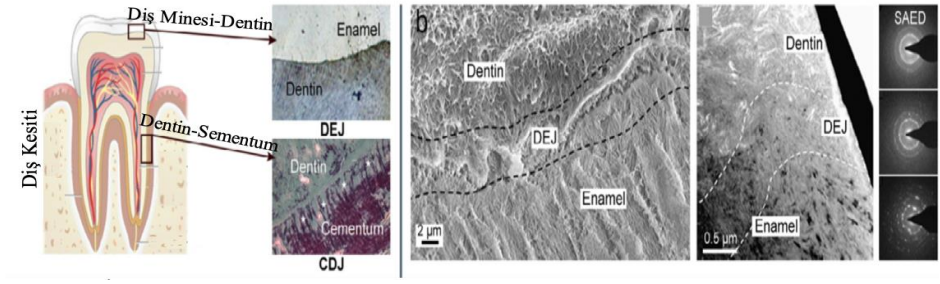
ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 1. 4. Palmiye ağacı gövde kesiti, dinazor kemiği kesiti ve geyik boynuzu kesiti üzerinde benzer fonksiyonel derecelendirilmiş yapılar (Ramírez-Gil, Murillo-Cardoso, Silva ve Montealegre-Rubio, 2016).

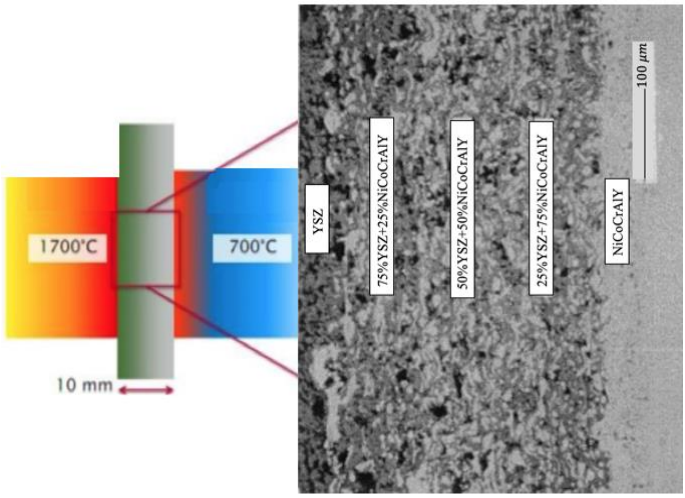


Şekil 1. 5. İnsan kemiğine ait dereceli yapı örneği (Madeira vd., 2018).



Şekil 1. 6. İnsan dişi kesitinde diş minesi-dentin arası (DEJ) ve dentin-sementum arası (CDJ) geçiş bölgelerindeki FDM yapılar (Liu, Meyers, Zhang ve Ritchie, 2017).

Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerin ortaya çıkışı ve bu şekilde adlandırılması; uzay teknolojilerinde ortaya çıkan yüksek sıcaklık problemiyle baş edilmesi amacıyla termal bariyer geliştirilmesi üzerine Japonya'da devlet desteğiyle 1984 yılında başlatılan çalışmalarladır.



Şekil 1. 7. Yüksek sıcaklık farklılığında termal şoka dirençli malzeme gelişiminde oluşturulan FDM örneği (Khor ve Gu, 2000).

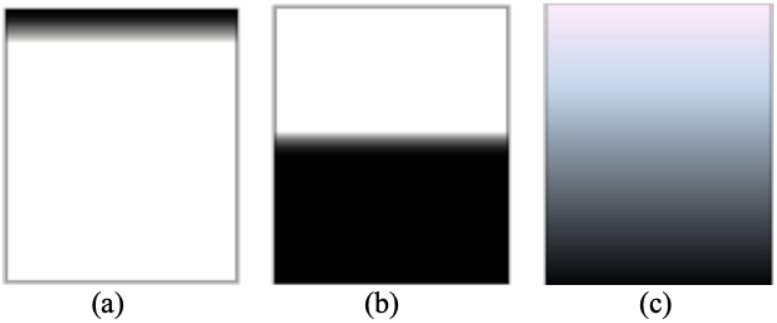
Bu çalışmalarda 10mm gibi bir kalınlıkta 1000 ^{o}C' lik bir sıcaklık değişimine karşı dayanabilecek yapılar aranmış ve böylece ilk geliştirilen FGM yapılar, metal üzeri seramik kaplama ara yüzey bölgesinde oluşturulmuştur (Koizumi, 1997). Bu çalışmalar ile iyi ısıl iletkenlik ve iyi ısıl direnç gibi iki zıt özelliğin bir malzemede bulunabilmesi ve dereceli geçiş sayesinde direkt geçişe nazaran

ISBN: 978-625-6971-84-4

termal şok vb. çatlak ilerleme problemini ortadan kaldırma amacına uygun FDM'ler geliştirilmiştir (Şekil 1.7).

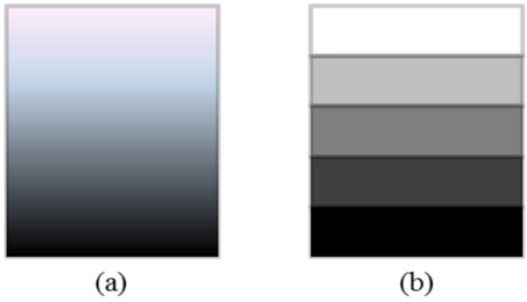
Kompozit yapılardan geliştirilen ve ihtiyaca yönelik kompozitlerden daha iyi performans gösteren fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler, başlangıçta kompozitler gibi en az iki malzemeden oluşturulabildiği tanımlanmış olsa da FDM malzeme örnekleri arttıkça derecelendirmenin farklı versiyonlarının malzemenin, fiziksel kimyasal ve mekanik özelliklerine etkisiyle tek bir malzemede de porozite yada mikro yapısal değişimlerin derecelendirilmesiyle gerçekleşebildiği kabul edilmiş ve böylece FDM malzeme tanımı genişlemiştir.

FDM malzemelerde, derecelendirme işlemi istenen fonksiyona göre parça içerisinde herhangi bir yerde birleşme noktasında, malzemenin yüzeyinde ya da tamamında olabilir (Şekil 1.8).



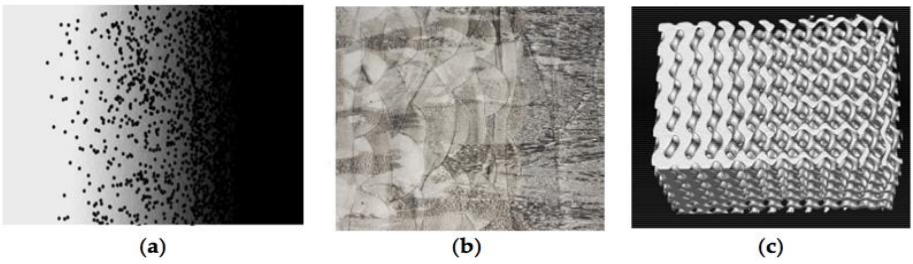
Şekil 1. 8. Malzeme yüzeyinde (a), malzeme birleşme noktasında (b) ve malzeme tamamında FDM (Lee, 2013).

Bu derecelendirilmiş yapılar da ayrıca kendi aralarında sürekli veya kademeli olmak üzere ikiye ayrılır (Şekil 1.9).



Şekil 1. 9. Sürekli (a) ve kademeli (b) yapıda FDM (Lee, 2013).

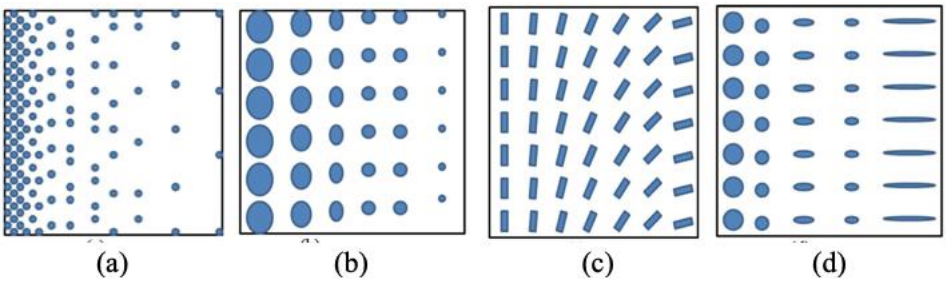
Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler yapı bakımından; kompozisyonun derecelendirilmesi (Şekil 1.10a), mikro yapının derecelendirilmesi (Şekil 1.10b) ve porozitenin derecelendirilmesi (Şekil 1.10c) olarak üç ana sınıfa ayrılırlar.



Şekil 1. 10. (a) Kompozisyon (Hotza ve Greil, 1995), (b) mikro yapı (Burkes ve Moore, 2007) ve (c) porozite (Yeo, Jung ve Choi, 1998) derecelendirilmesiyle oluşturulmuş FDM yapılar.

Derecelendirme şekillerine/çeşitlerine göre ise fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler; hacimsel dağılım oranının derecelendirilmesi (Şekil 1.11a), boyutsal derecelendirme (Şekil 1.11b), oryantasyon derecelendirmesi (Şekil 1.11c) ve şekil değişimi derecelendirilmesi (Şekil 1.11d) olarak dörde ayrılırlar.

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 1. 11. Hacimsel dağılım oranının derecelendirilmesi (a), boyutsal derecelendirme (b), oryantasyon derecelendirmesi (c) ve şekil değişimi derecelendirilmesi (d) FDM yapı örnekleri (Neubrand, 2001).

Tüm bu değişimlerin bir ya da birden fazlasını içeren fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellik bakımından çeşitleneceği ve ihtiyaca yönelik performans göstereceği görülmektedir.

Ayrıca FDM'ler de kimyasal kompozisyon değişimiyle derecelendirme, gözenek oluşumuyla ve bu gözeneğin boyutsal değişimiyle derecelendirme, tanelerin hacimsel değişimiyle ve yönlenmesiyle derecelendirme, takviye parçacık dağılımı, parçacık yüzdesi ve parçacık boyutu değişimiyle derecelendirme, hibrit yapıların konfigürasyonuyla derecelendirilmeleri gibi pek çok derecelendirme elde edilebilmektedir. Bu çeşitteki derecelendirmelerin pek çok fiziksel ve kimyasal özellik çeşitliliğinin elde edilmesine de yol açacağı açıktır.

Günümüz verilerine dayanarak en kapsamlı haliyle tanımlarsak, fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler;

1. Bir veya birden fazla malzemenin bir araya gelerek,
2. Kompozisyon, mikro yapı veya porozite bakımından,
3. Hacimsel dağılım oranı, boyutsal, oryantasyonal ve şekil değişimi açısıyla derecelendirilerek; ihtiyaca yönelik fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri kesit boyunca değişen yapıların elde edildiği malzemelerdir.

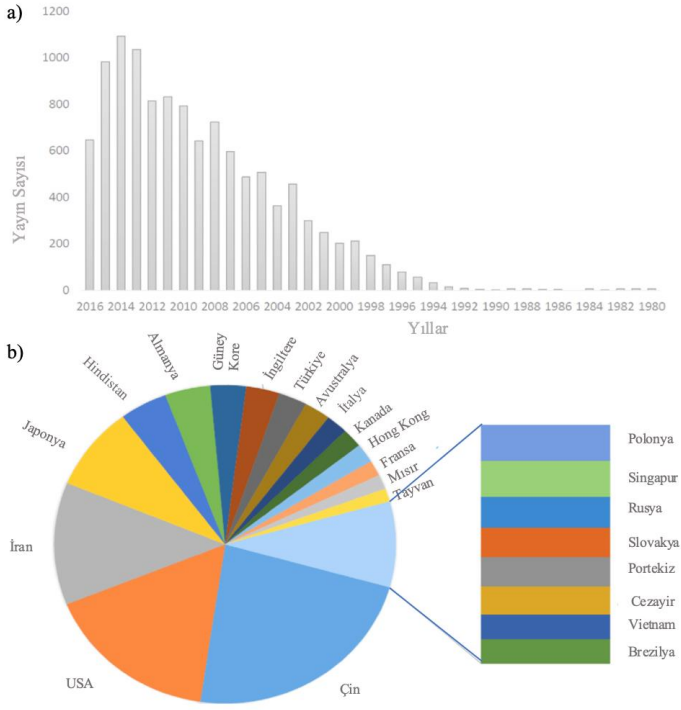
1.2. Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemelerin Tarihçesi

Bever ve Duwez (1970) ve Shen ve Bever (1972), 1970 yılı başlarında kademeli yapı kompozit materyallerinin teorik etkilerini araştırmışlardır. Ancak, o zamandaki sınırlı üretim süreçleri nedeniyle, kademeli yapı malzemelerinin daha da geliştirilmesi gecikmiştir (Kieback, Neubrand ve Riedel, 2003).

Yüksek teknolojili uzay araçlarında, dış yüzey sıcaklığının 2100°K'nın üzerine çıkmasıyla bu derecelerdeki sıcaklığa dayanabilen ve 1600°K ile 2100°K dereceleri arası sıcaklık değişiminden dolayı ortaya çıkabilecek termomekanik değişimlere dayanıklılık gösterecek malzemelere ihtiyaç duyulmuştur. Yüksek sıcaklıklara dayanabilen metal üzeri seramik kaplamalar geliştirilse de yüksek sıcaklık farkından ortaya çıkan termomekanik değişimler sonucu ortaya çıkan çatlak vb. problemler çalışmaları, malzeme yapısında daha dereceli bir geçişe izin verecek tabakalı yapılara yönlendirmiş ve böylece 1984 yılında Japonya'nın Sendai şehrinde bu yönde termal bariyer oluşturma çalışmalarına başlamışlardır. Fonksiyonel derecelendirilmiş malzeme terimi de ilk bu yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. 1987'de Japonya Bilim Bakanlığı desteğiyle "Research on the Generic Technology of FGM (Functionally Graded Material) Development for Thermal Stress Relaxation" adı altında ulusal bir proje yürütülmüştür. Bu projeyle birlikte FDM üretim metodları ve malzeme dizaynı gelişme göstermeye başlamıştır (Koizumi, 1997). 1992 yılında FDM'nin on ileri teknolojiden biri olarak kabul edilmesiyle FDM teknolojisi küresel seviyeye ulaşmış, önemli bir teknoloji niteliği kazanmıştır. Ardından 1993 yılında japonya'da "Research on Energy Conversion Materials with Functionally Gradient Structure" adı altında başlatılan ikinci projeyle daha yüksek sıcaklık farklarına (1000°K) uyum sağlayan enerji sektörüne yönelik malzemeler geliştirmeye devam etmişlerdir (Koizumi, 1997).

FDM'lere ilgi, havacılık, biyomühendislik ve nükleer endüstriler gibi çok sayıda yüksek teknoloji uygulamaları için uygun malzemeler türetme kabiliyeti nedeniyle giderek artmıştır. Bu ilgiye paralel araştırma alanındaki yayın sayısı son 20 yılda sürekli artış göstermiş olup, Şekil 12a' da, Scopus'un arama motoru tarafından sağlanan FDM'ler konusundaki yıllık yayın sayısı, Şekil 12b' de ise bu alandaki bilginin üretilmesinde farklı ülkelerin katkı payları gösterilmiştir.

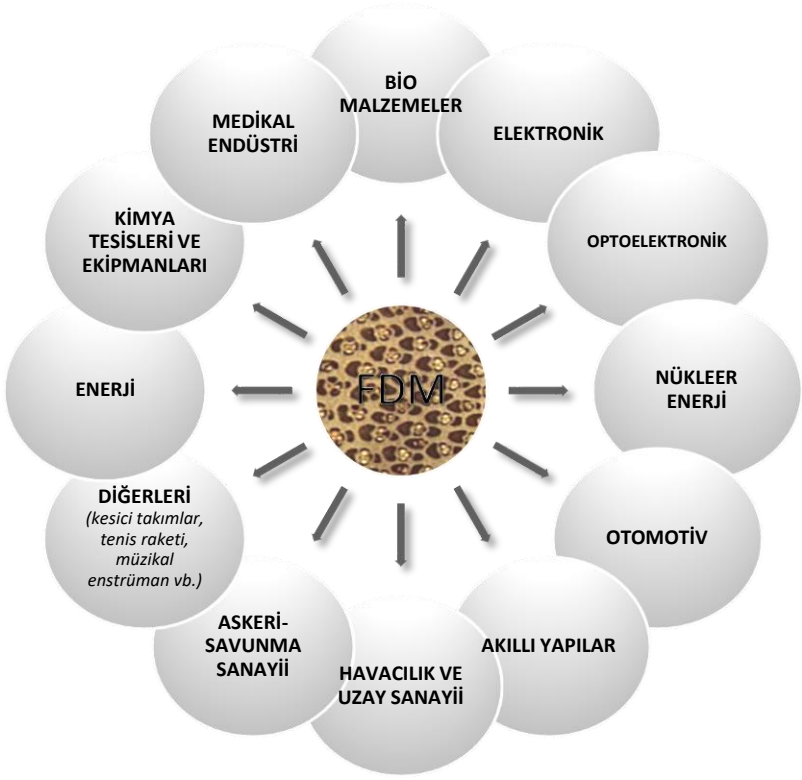
ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 1. 12. (a) Scopus verilerine göre FDM üzerine yapılan yayın sayıları, (b) bu yayın sayılarında ülkelerin katkı payları (Naebe ve Shirvanimoghaddam, 2016).

1.3. Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemelerin Kullanım Alanları

Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler ilk olarak ileri uzay teknolojilerindeki arayışlarla meydana çıksa da devam eden süreç içerisinde derecelendirilmiş yapının sağladığı avantajları ile birçok uygulama alanında yer edinmiştir. FDM'nin; mekanik, fiziksel ve elektriksel özellikleriyle tasarlanabilme becerisi, onları birçok gelişmiş ürünün üretilmesi için ideal bir aday haline getirmektedir (Torres vd., 2016). Bu sayede günümüzde; havacılık ve uzay sanayiinde, askeri sanayide, savunma sanayiinde, medikal endüstride, biomalzemelerde, elektronik, optoelektronik, otomotiv, enerji, nükleer enerji alanlarında, kimya tesisleri ve ekipmanlarında, akıllı yapılarda ve diğer birçok alanda (Şekil 1.13) kullanılmaktadırlar.



Şekil 1. 13. FDM uygulama alanları.

Enerji sektöründe yaygın olarak kullanılan fonksiyonel derecelendirilmiş malzeme örnekleri; termik güç jeneratörleri, güneş enerjisi bileşenleri ve enerji dönüşüm cihazları kapasitörleri, sensörler, elektrotlar, katot malzemeleri, evaporatör tüpleri yakıt hücreleri, vakum anahtar tüpleri, elektriksel temas malzemeleri, ısı emici, entegre devreler, yarı iletken cihazlar ve elektronik yüzeyler olup, diğer uygulamalar arasında sensörler, yüksek akım konnektörleri ve kondansatörler bulunur (Wośko vd., 2005).

FDM'ler, dereceli yapısının sağladığı kırılma indisi farklılıkları bakımından optoelektronikte; ses-video disklerinde, manyetik depolama disklerinde kullanılmaktadırlar.

Fonksiyonel dereceli malzemelerin çok yüksek termal değişimlere dayanabilmesi sayesinde; roket motoru, türbin çarkları, türbin kanat kaplaması, ısı değiştirgeci plakaları, güneş panelleri, füze burun kaplamaları, roket nozulu, uzay aracı dişli aksamları, rotor tahrik mili, iniş takımı kapıları, kanatlar, uzay aracı gövdesi ve kafes yapısı gibi; uzay aracı ve uçakların çoğu parçası (Şekil 1.14.) artık FDM den yapılmaktadır.

ISBN: 978-625-6971-84-4



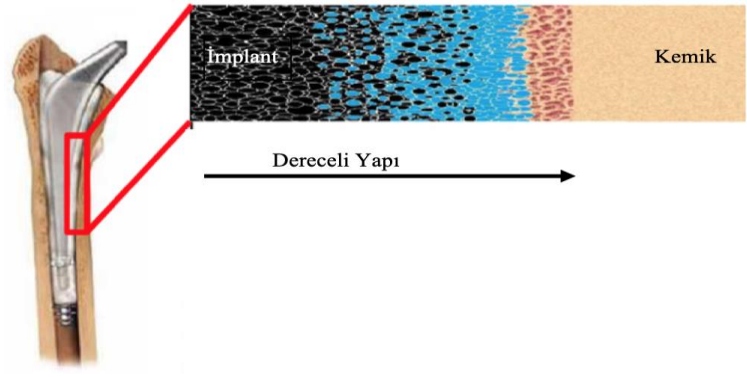
Şekil 1. 14. Havacılık ve uzay sanayiinde kullanılan bazı FDM yapılı parçalar (Saleh vd., 2020).

Otomotiv sektöründe çeşitli amaçlara uygun birçok parçada (Şekil 1.15.) uygulamaya konulmuş olup; fren rotorları, amortisörler, volanlar, yaprak yaylar, dizel motor pistonları, silindir gömlekleri, kasnaklar, tahrik milleri, yanma odaları, CNG depolama silindirleri ve yarış arabası frenlerinde kullanılmaktadırlar (Li, Jian ve Min, 2005).



Şekil 1. 15. Otomotivde kullanılan bazı FDM yapılı parçalar (Saleh vd., 2020).

Kemik, diş gibi canlı yapıda bulunan dokuların doğal FDM yapıda olması biomalzeme ve medikal sektörü alanındaki kullanımı desteklemiş ve hızlandırmıştır. Yaygın Ortopedik uygulamalar; yapay kemik, protez diş, yapay deri, kemik implantı (Şekil 1.16), diş implantı (Şekil 1.17), kemik kıkırdak onarımıdır.



Şekil 1. 16. FDM kemik implantı örneği (Shi, 2016).

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 1. 17. FDM bir diş implantı örneği (Mehrali vd., 2013).

Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerin yapısı gereği en önemli özelliğinden biri olan çatlak ilerleyişini kısıtlayan yapısı sayesinde askeri ve savunma sanayiinde; koruyucu ve zırh plakalar, kurşun geçirmez yelek, kılavuz çubuklar, hassas silindirler, şaftlar, borular, mandallar, aks muhafazaları ve ateşleme pimleri FDM'den yapılmaktadır.

Diğer uygulama alanlarında; kesici takım kaplamaları, nükleer reaktör bileşenleri, yangın geciktirici kapılar kesici alet ekleri, rüzgar türbini kanatları, basınçlı kaplar, sondaj motor şaftı, yakıt tankları, makine parçaları, dizüstü bilgisayar çantaları, itfaiyeci hava şişeleri, gözlük çerçeveleri, X-ray masaları, MRI tarayıcı, kriyojenik tüpler, yarış bisikleti çerçevesi, golf ekipmanları, tenis raketleri, kayaklar, müzik aletleri ve yarış aracı çerçevesi olarak yer alırlar.

Her geçen gün üretim teknolojileri ve FDM özellikleri geliştirildikçe, daha fazla ürün ve uygulama alanı ortaya çıkmaya devam etmektedir.

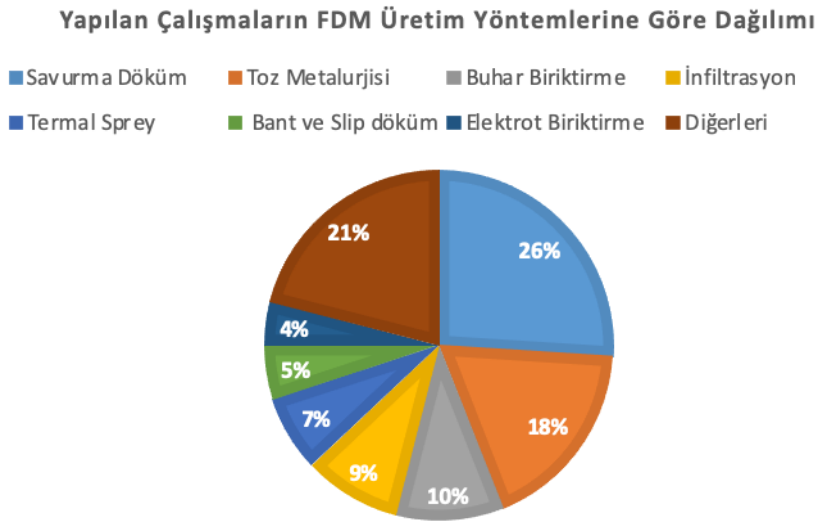
1.4. Fonksiyonel Derecelendirilmiş Malzemelerin Üretim Yöntemleri

FDM'ler; yüksek kırılma tokluğu, düzlemde ve kalınlık boyunca enine gerilmelerde azalma, termal bariyer sistemlerinin performansını arttırma gibi özellikleriyle birçok uygulamaya onları uygun kılan sayısız avantaja sahiptir (Bhavar, Kattire, Thakare ve Singh, 2017) FDM' ye bu avantajları sağlayan özelliklerini iyileştirmek amacıyla yapılan çalışmalar sayesinde üretim süreçleri sürekli gelişmeye devam etmektedir.

FDM malzemelerin üretimi için geleneksel ve geleneksel olmayan yöntemlerin çoğu adapte edilerek kullanılmaktadır. Bunlara toz metalürjisi, buhar biriktirme, santrifüj yöntemi ve katı serbest form teknikleri dahildir. Tüm bu

yöntemlerden enerji kaynağı olarak lazer, plazma veya elektron ışını kullanan katı serbest form teknikleri son yıllarda oldukça popüler hale gelmektedir.

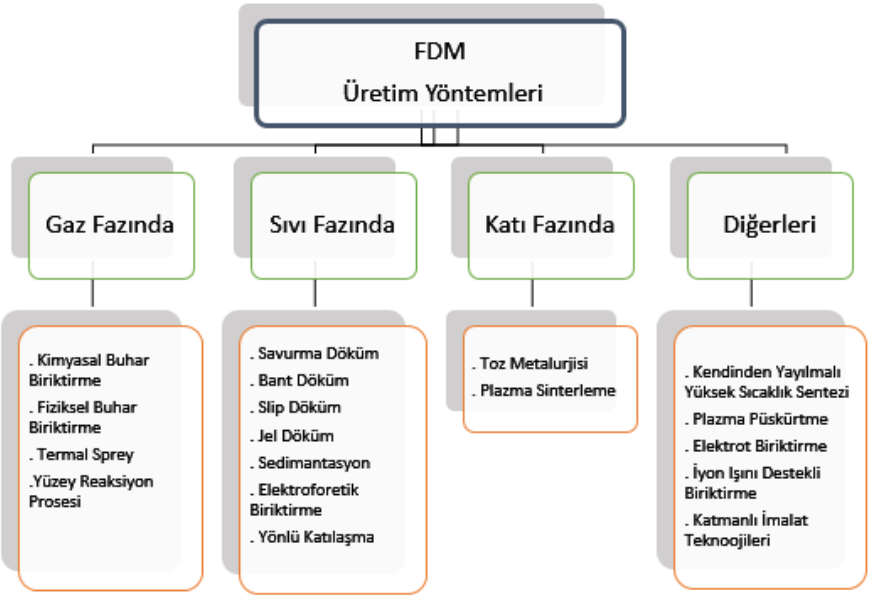
Şekil 1.18' de yapılan çalışmaların üretim yöntemine göre dağılımı verilmiştir. Üzerine en çok çalışma yapılmış yöntem ise, savurma dökümdür. Onu sırasıyla toz metalürjisi ve buhar biriktirme yöntemleri takip eder. Grafikte yer alan diğerleri kısmında; kendinden yayılmalı yüksek sıcaklık sentezi (SHS), plazma sprey, elektrot biriktirme, iyon ışını destekli biriktirme ve katmanlı imalat teknolojileri yer alır. Katmanlı imalat teknolojilerinde de oldukça çeşitli uygulamalar farklı malzemelere yönelik kullanılmakta ve gelişmektedir. Bu alan da en çok 3D printer başlığında toplanmaktadır (Saleh vd., 2020).



Şekil 1. 18. FDM üretim yöntemleri ve yapılan çalışmalara göre dağılımı

FDM üretim yöntemleri için çeşitli sınıflandırmalar yapılmış olmakla birlikte en genel hali; katı, sıvı ve gaz fazı başlıkları altında toplanmış olup, sonrasında çıkan bazı çeşitli yöntemler de diğerleri başlığı altında toplanarak sınıflandırılmıştır (Zhang vd., 2019). FDM üretim yöntemlerinin sınıflandırılması Şekil 1.19'da gösterilmektedir.

ISBN: 978-625-6971-84-4



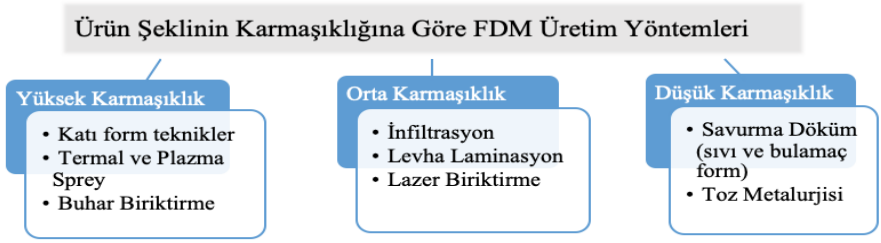
Şekil 1. 19. FDM'lerin üretim yöntemlerine göre sınıflandırılması

Gaz fazı kullanılarak yapılan FDM üretimlerinde en çok kullanılan yöntem buhar biriktirme yöntemi olup, daha çok yüzey kaplama işlemlerinde kullanılır. Yüksek sıcaklık gereksinimi sebebiyle enerji tüketimi yönünden, pahalı ekipmanları bakımından da toplam maliyeti yönünden yüksek oluşu gaz fazı kullanılarak yapılan üretim yöntemlerinin dez avantajlarındandır. Fakat karmaşık geometrili parçalarda etkin oluşu ve ürün bitişinin nihai şekle net yakın oluşu gibi avantajları kullanım alanlarını arttırır.

Sıvı faz kullanılarak yapılan üretimler içinde en çok uygulanan savurma döküm yöntemidir. Sıvı faz kullanılarak elde edilen FDM'lerde monolitik malzemelerde karşılaşılan bilinen katılaşma vb. sorunların yanında malzemenin içinde bulunan seramik malzemeden dolayı homojen karışımın hazırlanamaması, topaklanma, seramik tozlarının malzeme dışına itilmesi gibi sorunlarla da karşılaşılmaktadır.

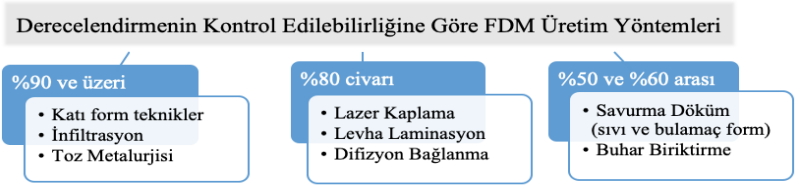
Katı faz üretim yöntemlerinde ise en fazla toz metalürjisi yöntemleri tercih edilmektedir. Dereceli yapı bu yöntemle daha iyi kontrol edilmektedir. Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen FDM malzemelerin boyutları sınırlı olmaktadır. Ayrıca yüksek maliyetli bir yöntem olup oldukça hassas ve uzun işlem prosedürleri içermektedir.

FDM üretiminde, üretim yöntemi seçiminde önemli parametrelerden biri de üretilecek ürünün şeklinin karmaşık (komplex) olup olmamasıdır. Bu durum en belirleyici kriterlerden biridir (Stoner, Bartolai, Kaweesa, Meisel ve Simpson, 2018, Oshkour vd., 2015). Ürün şeklinin karmaşıklığına göre FDM üretim yöntemlerinin sınıflandırılması Şekil 1.20'de gösterildiği gibidir.



Şekil 1. 20. FDM üretim yöntemlerinin ürün şekli karmaşıklığına göre sınıflandırılması

FDM üretim yöntemlerinin, ürün üzerinde fonksiyonel derecelendirmenin kontrol edilebilirlik yüzde oranına veya takviye dağılımının doğruluğuna göre sınıflandırılması Şekil 1.21'de gösterildiği üzere; yüksek derecede kontrol sağlama (%90 ve üzeri), orta derecede kontrol sağlama (%80 civarı) ve düşük derecede kontrol sağlama (%50-60) olmak üzere üç ana gruba ayrılır (Inaguma, Sato ve Watanabe, 2010).



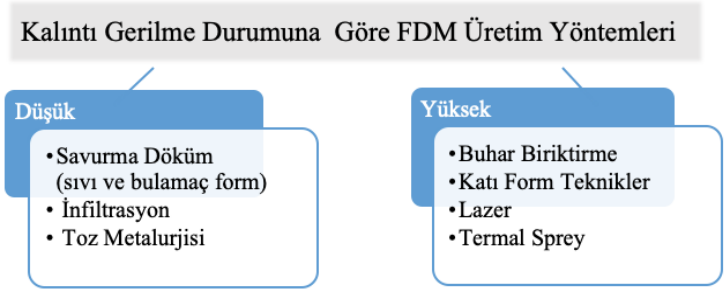
Şekil 1. 21. FDM üretim yöntemlerinin derece kontrol edilebilirliğine göre sınıflandırılması

Yüksek seviyede derecelendirme kontrolü, esas olarak takviye bileşenlerini yerleştirebilme kabiliyetiyle elde edilir. Katı hal süreçlerde, sıvı hal süreçlere göre daha mümkün olan bu kontrollü derecelendirme durumu, beraberinde karmaşık bir süreç te getirebilir. Düşük seviye derecelendirme kontrol tekniklerinde ise; orta seviye derecelendirme kontrol tekniklerine göre,

ISBN: 978-625-6971-84-4

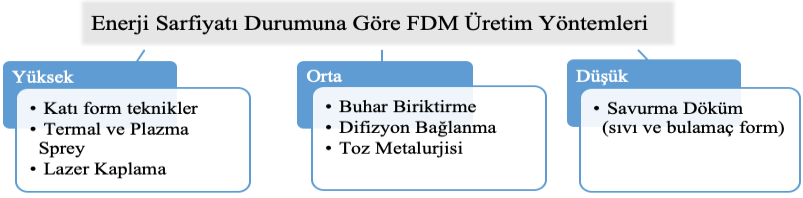
derecelendirmeler arası geçişlerin daha yumuşak bir varyasyonda gerçekleştiği görülmüştür (El-Galy, Saleh ve Ahmed, 2019).

Çeşitli üretim yöntemleriyle üretilen FDM'ler farklı düzeylerde kalıntı gerilmeler barındırırlar. Üretim sırasında oluşan bu kalıntı gerilmeler genellikle üretim sıcaklığına bağlıdır. Şekil 1.22'de FDM üretim yöntemlerinin, kalıntı gerilme seviyesine göre sınıflandırılması verilmiştir (El-Galy, Saleh ve Ahmed, 2019).



Şekil 1. 22. FDM üretim yöntemlerinin kalıntı gerilme durumuna göre sınıflandırılması

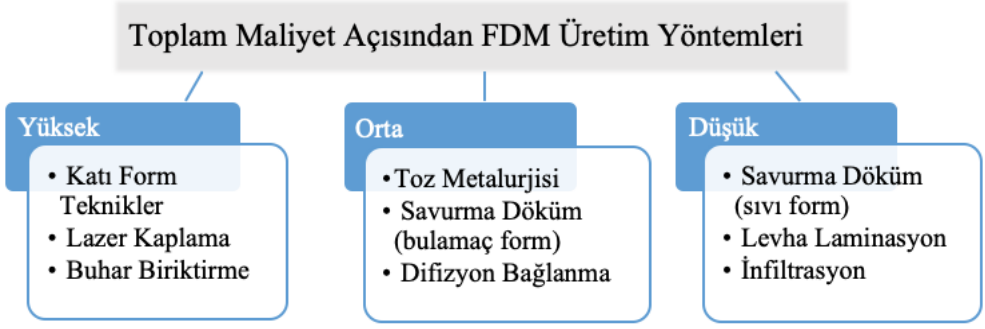
Günümüzde herhangi bir üretim teknolojisi seçerken enerji tüketimi çok kritik bir faktör haline gelmiştir. Üretim sürecinin küresel ısınmaya etki potansiyeli (GWP) ve çevresel koşullara etkisini de kapsayan bir değerlendirme ölçütünde spesifik enerji tüketimi (SEC) verilerine göre FDM üretim yöntemleri üç ana grupta toplanmış olup Şekil 1.23'te gösterilmiştir.



Şekil 1. 23. FDM üretim yöntemlerinin enerji sarfiyatı durumuna göre sınıflandırılması

İnceleme verilerinin içerisinde, girdi malzemelerinin ön işlenmesi, üretim hattı enerji ihtiyacı, ek işlemler (ısıtma, besleme, presleme, taşıma hattı vb.) ve son işlemler gibi birçok parametreyi barındırır (Liu, Li, Fang ve Guo, 2018; Liu, Wei, Huang, 2019).

Maliyet hesabı her üretim yönteminde olduğu gibi FDM üretim süreci seçiminde de oldukça önemli bir rol oynar. FDM üretim yöntemlerinde maliyete göre sınıflandırma yapılırken belirleyici faktörler olarak; hem sabit maliyetler (gerekli ekipman ve makine ilk yatırım maliyetleri, ihtiyaç duyulan otomasyonlar) hem de değişken maliyetler (kullanılan malzemeler, hazırlık giderleri, üretim hattı bakım onarımı, üretim sonrası işlem maliyetleri), üretim miktarı ve hacmine göre değerlendirilerek ele alınmıştır. Yapılan bu çalışma ve raporlamalara göre (El-Galy, Saleh ve Ahmed, 2019), FDM üretim yöntemlerinin toplam maliyet açısından sınıflandırılması Şekil 1.24'te gösterilmiştir.

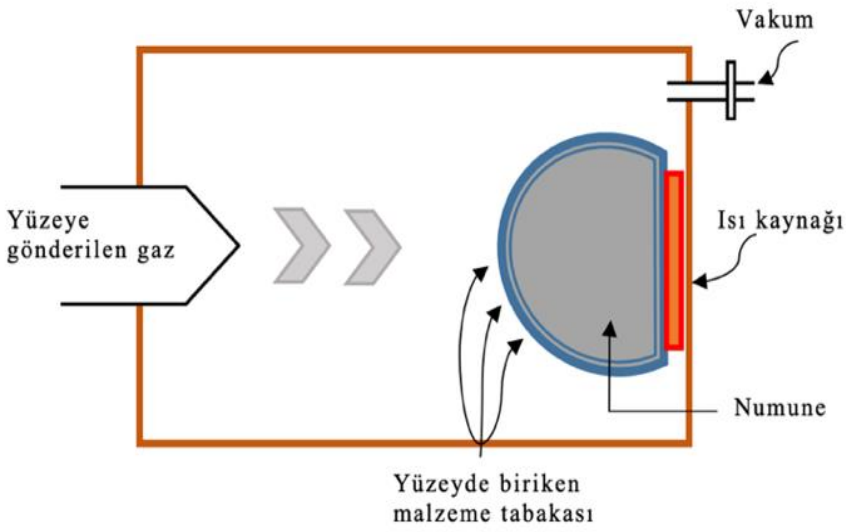


Şekil 1. 24. FDM üretim yöntemlerinin toplam maliyete göre sınıflandırılması

1.4.1. Buhar biriktirme yöntemi (VD)

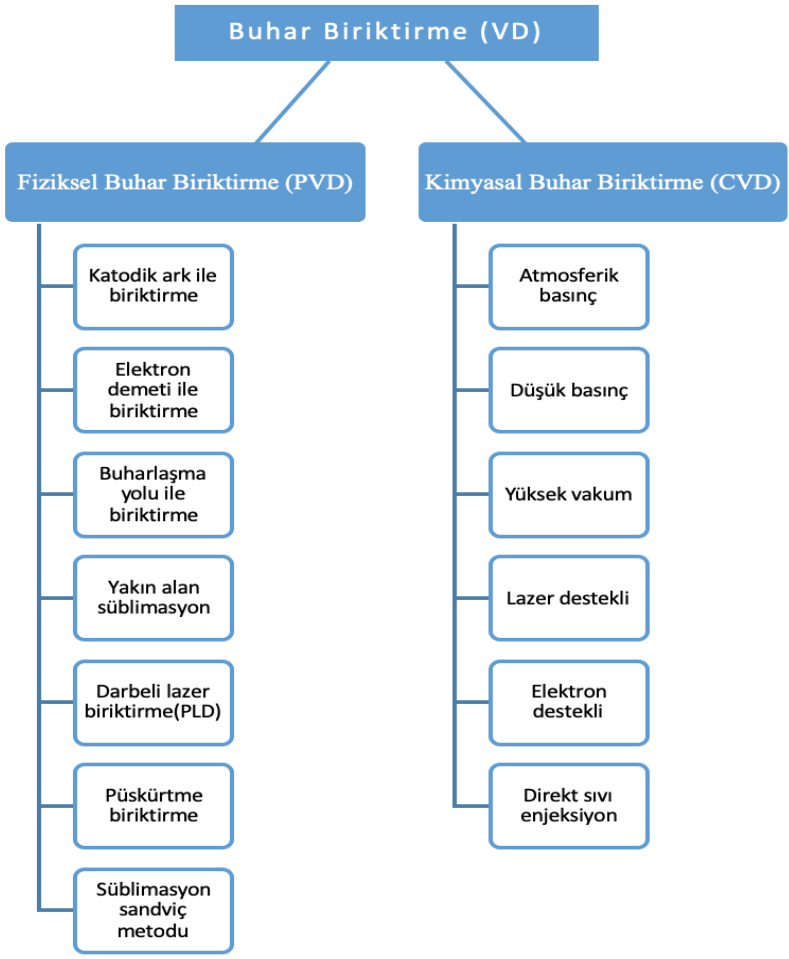
Buhar biriktirme tekniğinde numune üzerinde malzeme biriktirme işlemi için; ısı, plazma ve ışık gibi çeşitli enerji kaynaklarını kullanır. Bromür, hidrür ve klorür genel olarak kullanılan gazlardır. Bu yöntemde Şekil 1.25'te görüleceği üzere vakum ortamında bir ısı kaynağı tarafından ısıtılan numunenin üzerine kimyasal ya da fiziksel olarak birikim yapacak gazın gönderilmesiyle yüzeyde bir çeşit kaplama oluşturulmuş olur.

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 1. 25. Buhar biriktirme yöntemi

1970'lerin başlarında yarı iletkenin üretimi için kullanılmaya başlanılan bu yöntem sonrasında; ileri seramik, türbin kanatları, kompozit ve güneş pilleri üretimi içinde oldukça yaygınlaşmıştır. Yöntem çok çeşitli dallara ayrılmakla beraber ana olarak; kimyasal buhar biriktirme yöntemi (CVD) ve fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi olarak ikiye ayrılır. Buhar biriktirme yönteminin FDM üretiminde kullanılan alt dalları Şekil 1.26'da verilmiştir.



Şekil 1. 26. FDM üretimde kullanılan Buhar biriktirme yöntemlerinin sınıflandırılması

CVD birikiminin en eski örneği yakacak odunun eksik oksidasyonu ile kurum oluşumudur. Vakum ortamında ve kontrollü kapalı bir hacim içerisinde ısıtılmış kaplanacak yüzeye taşıyıcı gazın teması ile yüzeyin kimyasal olarak kaplanması esasına dayanır. CVD yönteminde daha yüksek sıcaklıklar olan 900-1100°C arasında çalışılırken PVD yönteminde daha düşük sıcaklıklar olan 200-500°C arasında çalışılır. Kompozisyonun kontrollü ve sürekli değişimi, farklı sıcaklıklarda üretim tekniği ve oldukça yakın ölçülerde çalışılmış net şekil, FDM ürünlerinin üretimi için buhar birikiminin avantajlarıdır. Gaz oranı, biriktirme sıcaklığı, gaz basıncı, akış hızı ve gaz tipi gibi değişkenler değiştirilerek, FDM'nin istenen derecelendirilmiş yapısı elde edilebilir.

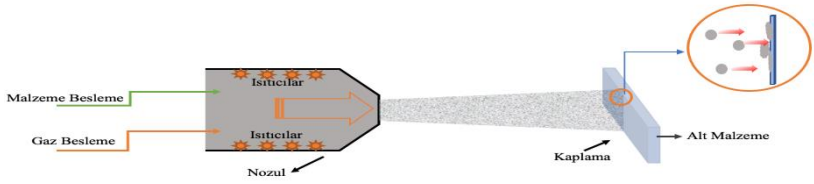
Sasaki ve Hirai (1994), CVD tekniği ile fonksiyonel olarak derecelendirilmiş SiC/C malzeme üreterek, ürettikleri malzemenin termal şok direncini ve termal bariyer performansını incelemişlerdir (yüzey sıcaklığını 1700°K dan 1150°K'ya indirerek). Isıtma işleminden kaynaklı SiC / Grafit ara yüzündeki artık gerilmeye bağlı dikey çatlaklar olsa da ürettikleri fonksiyonel derecelendirilmiş yapıda bozulma ve çatlama olmadığını gözlemlemişlerdir.

Fonksiyonel olarak derecelenmiş malzemelerdeki tabakaların kalınlık ve kompozit profillerinin hassas kontrolü, kimyasal buhar infiltrasyonu (CVI) kullanılarak elde edilebilir. Kawase, Tago, Kurosawa, Utsumi ve Hashimoto (1999), CVI ve CVD yöntemiyle fonksiyonel dereceli C / SiC üretim sürecini inceleyerek, FDM örneklerinde hızlı bir sıcaklık değişiminden (1000°C ila 0°C) sonra, hiç çatlak olmadığını ve ara yüzey yapısı bozulmadan kaldığını gözlemlemişlerdir.

Gaz içeriğindeki ve akış hızındaki değişiklikler sadece CVD ve CVI işlemleriyle üretilen FDM'nin nihai özelliklerini etkiler. FDM'lerin kalınlığını, kimyasal bileşimini ve mikro yapısını kontrol etmek için CH_4 ve H_2 içerik oranlarındaki değişimi fonksiyonel olarak derecelendirilmiş TiC / SiC / grafit üretimine etkisini araştıran Jung, Park ve Choi (1997), bu değişimin H ile sağlanmasının CH_4'e göre daha kolay kontrol edildiğini bulmuşlardır.

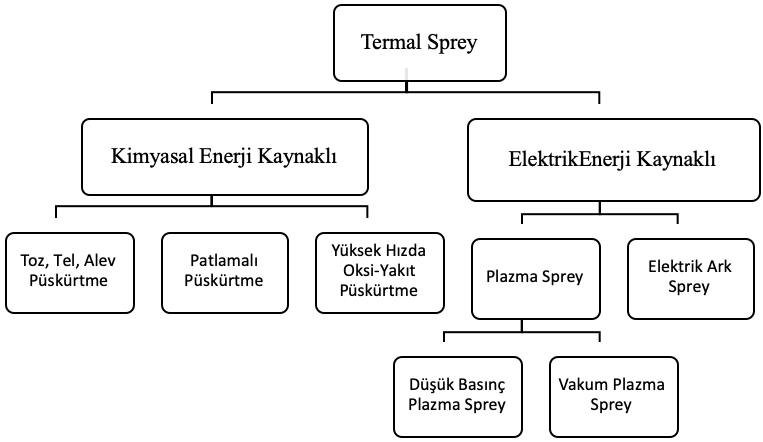
1.4.2. Termal sprey

Tel, çubuk veya toz gibi kaplama malzemelerinin, bir püskürtme tabancasında yanıcı/yakıcı/taşıyıcı gaz vasıtasıyla belirli bir basınçta püskürtülerek yarı-katı veya ergimiş partiküllerin yüksek hızda, kaplama yapılacak yüzeye çarparak yüzeyde oluşan bağlanma ile ince levha şeklini alıp hızlıca soğuyarak oluşturulan bir kaplama yöntemidir. Şekil 1.27'de yöntemin şematik resmi verilmiştir.



Şekil 1. 27. FDM üretimde kullanılan termal sprey yöntemi

Metal, seramik, metal oksit ve karbür gibi farklı materyaller, kaplama malzemesi olarak kullanılma potansiyeline sahiptir ve termal sprey için enerji kaynağı olarak kimyasal ve elektrik kaynakları kullanılabilir. Şekil 1.28'de geniş malzeme yelpazesi için kullanılan farklı tipte termal sprey/püskürtme işlemlerini göstermektedir.



Şekil 1. 28. FDM üretimde kullanılan termal sprey yöntemin alt kolları

Termal sprey/püskürtme işleminin tarihi, bir asırdan daha öncesine dayanmaktadır, 1882 ve 1889 yılları arasında yayınlanmış patentler vardır. Havacılık uygulamaları için yüksek sıcaklık kaplama ihtiyacının yanı sıra modern enstrümanların geliştirilmesi ve ticari sektörlerin artan ilgisi sayesinde yöntem oldukça gelişmiştir. Termal sprey büyük ölçüde süper alaşımlar elde etmek için malzemelerin yüzey işlemi, erozyona karşı yüksek direnç ve çalışma aletlerinde aşınma, elektromanyetik ara yüz, kimyasal ve termal bariyer kaplamalar gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Heimann, 2008).

Termal sprey için kullanılan yönteme bağlı olarak farklı gaz sıcaklıkları kullanılır. Alevle püskürtme yöntemi için 3000°C, elektrik arkıyla püskürtme ve yüksek hızda oksijen püskürtme yöntemleri için 4000°C ile karşılaştırıldığında plazma sprey için 12.000–16.000°C olduğu bildirilen çeşitli caklıkları kullanılır (Dorfman, 2002).

Diğer üretim süreçleri gibi, plazma spreyi de çeşitli kaplama parametrelerinin katkısı nedeniyle doğrusal olmayan bir davranış sergiler. Sürecin etkinliğini etkileyen çeşitli faktörlerin varlığı, optimum işleme koşullarının geliştirilmesini zorlaştırır. Optimum işlem koşullarını belirleyen; hareket hızı, püskürtme katmanları, ark akımı, dik durma mesafesi, taşıyıcı gaz akış hızı, toz besleme hızı gibi plazma püskürtme parametreleri üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Termal bariyer kaplama, yaygın olarak kabul edilen ve çoğunlukla püskürtme işlemi ile üretilen FDM'lerin en önemli uygulamalarından biridir. Jet motorlarında süper ısınma gaz türbini motor parçaları ve tungsten kaplı damperler, termal bariyer kaplamaların geliştirilmiş yorulma ve sürünme direncini ve yakıt verimliliğini sağlamak için uygulandığı bazı örneklerdir. Bununla birlikte, taban ve kaplama malzemesi arasındaki termal genleşme uyumsuzluğu termal bariyer kaplamasının geliştirilmesinde ciddi bir sorundur (Kawasaki ve Watanabe, 1997, Kim, Kim ve Park, 2003; Miller ve Lowell, 1982).

Bu sorunu gidermek için kaplama malzemeleri fonksiyonel dereceli kaplama ile değiştirilmiştir. Fonksiyonel olarak derecelendirilmiş termal bariyer kaplamalarda ara katman/geçiş bölgesi ve ana malzeme arasındaki termal genleşme katsayılarındaki süreksizliğin kayda değer ölçüde azaldığı ve kademeli termal bariyer kaplamalarla karşılaştırıldığında kaplamadaki kalıntı gerilmenin en aza indirildiği bildirilmiştir (Pan ve Chen, 1995, Hu, 1997).

Khor ve Gu (2000), fonksiyonel gerilmeli ZrO2 / NiCoCrAlY performansı üzerindeki kalıntı gerilmelerin etkisini araştırmışlar ve tabaka kalınlığında ve kaplama sayısında azalma ile kalıntı gerilmenin arttığını bulmuşlardır. Bu sonuçlar Kim, Kim ve Park (2003), tarafından yapılan çalışma sonuçlarıyla örtüşmektedir.

Cannillo, Lusvarghi ve Sola (2008), Ti_6Al_4V üzerinde atmosferik plazma spreyi (APS) ile fonksiyonel olarak derecelenmiş TiO2-hidroksiapatit (HAp) biriktirmiştir. İşlemin optimizasyonu, HAp kristalinin ve Vickers sertliğinin artmasına neden olan bir son işlemin geliştirilmesine yol açmıştır. Bununla birlikte, daha yüksek sıcaklıklarda (750 °C'den fazla), yeniden kristalleşme sonucu oluşan stres, zayıf bir ara yüze yol açan çatlak ilerlemesini hızlandırdığını belirlemiştir.

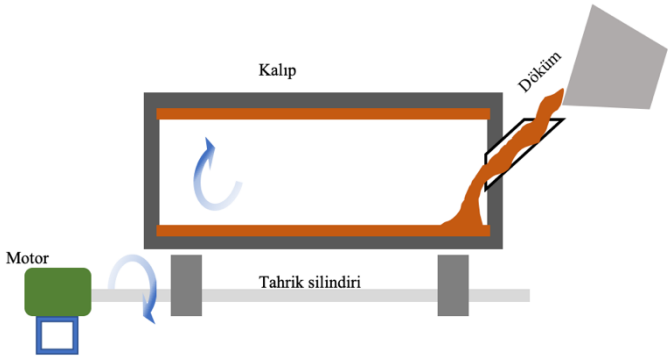
Stewart, Ahmed ve Itsukaichi (2004), yuvarlanma temas yorulması üzerine çalışmalar yapmışlardır. Termal sprey yöntemiyle üretilmiş fonksiyonel dereceli termal bariyer kaplamaların üretim sonrası işlemi olarak sıcak izostatik presleme ve ısıl işlem uygulayarak bu işlemlerin mikro yapı ve mekanik özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Yüksek sıcaklıkta uygulanan izostatik preslemede işlemlerinde; yüksek yuvarlanma temas yorulmasına, yüksek sertlik ve yüksek Elastisite modülüne ulaşmışlardır.

Plazma sprey kaplamanın MgO-ZrO / NiCrAl kaplamasında üzerindeki etkisi TEM, SEM ve EPMA karakterizasyonu ile araştırılmıştır (Pan ve Xu, 2003). Mikroyapı incelemelerinde, Cr ve Al'in püskürtülen lamel sınırları boyunca oksit oluşturma eğiliminde olduğu görülmüştür. Kırık yüzey analizi, sırasıyla

metallerin ve seramik fazların sünek doğası ve taneler arası bölünme nedeniyle, FDM'de, FDM olmayan numunelere kıyasla daha iyi mekanik özelliklere yol açtığını göstermiştir. Plazma spreyi ile üretilen FDM'lerin yapısal, mekanik ve fiziksel özelliklerini etkileyen tüm tartışılmış faktörlerin yanı sıra, plazma sprey tekniğinin etkinliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilecek bazı ek parametreler de vardır. Bu parametreler; biriktirme sırasında torç-tipi, iç çap, güç, püskürtme mesafesi, geçiş sayısı, toz enjeksiyon sistemi, taşıyıcı gaz, plazma gazı bileşimi ve akış, soğutma sistemi, soğutma gazı, basınç ve uygulama sıcaklığını içermektedirler.

1.4.3. Savurma döküm

Metal bazlı FDM'lerin savurma döküm işleminde, takviye fazı, homojen bir karışım elde etmek için erimiş bir metale dökülür. Takviye parçacıklarının ve sıvıların yerçekimsel / merkezkaç kuvvetler ile ayrılması yoluyla, katılaşma sürecinin kontrol edilmesiyle, kimyasal bileşimde tasarlanmış bir gradyan yaratılır ve korunur. Savurma döküm yöntemiyle üretilen FDM'de temel husus ana metal ve takviye edilen parçacık malzemenin yoğunluk farkının olmasıdır (Watanabe vd., 2006).



Şekil 1. 29. Savurma döküm yöntemi

Ana alaşım sıcaklıkları ve işlem sıcaklığı arasındaki farka dayanan iki farklı savurma döküm yöntemi vardır. İşleme sıcaklığı ana alaşım sıcaklığından daha fazlaysa, bu teknik genellikle savurma in-situ teknik olarak adlandırılır ve katılaşma aşaması sırasında savurma kuvvetleri kullanılabilir. Alternatif olarak, eğer ana alaşım işlem sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklıkla karşılaştıysa, ikinci faz erimiş metalde katı kalır ve bu da savurma katı-parçacık tekniği olarak bilinir (Watanabe, Yamanaka ve Fukui, 1998).

Savurma döküm yöntemiyle FDM üretiminde üretim parametrelerinin hassas kontrolü ve ikinci fazın homojen dağılımı oldukça sorun oluşturmaktadır. Isıtma

/ soğutma kontrol sisteminin yanı sıra kalıp döndürme hızı, FDM'lerde bileşim gradyanı üzerinde etkilidir.

Rajan, Pillai ve Pai (2010), savurma döküm yöntemiyle fonksiyonel dereceli alüminyum silikon karbür kompozit üretimini incelemişlerdir. Al-A356 ve Al2124 bazlı metal matris kompozitlerin dış çevresi boyunca maksimum %45 ila %40 SiC parçacıklarının elde edebilmişlerdir. Isıl işlemlerden sonra ve matrise ekstra sert takviye fazının eklenmesiyle, Al-A356-SiC ve Al2124-SiC FDMMK için maksimum sertliği sırasıyla 155 ve 145 Brinell olarak bulmuşlardır.

Rodrıguez-Castro, Wetherhold ve Kelestemur (2002), SiC partiküllerinin, fonksiyonel olarak derecelendirilmiş Al359 / SiCp' nin mekanik ve mikroyapısal davranışı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Savurma döküm metoyla ürettiği parçalarda SiC içeriği ve elastisite modülünün sürekli olarak değiştiği gözlemlemişlerdir. Çekme mukavemetindeki artış 0.2 ila 0.3 SiC hacim oranına kadar gerçekleşmiş, ancak 0.3 ila 0.4 SiC hacim oranında maximum çekme dayanımı belirgin şekilde azaltmıştır. Bununla birlikte, daha yüksek SiC hacim oranlarında daha yüksek elastik modül ve sertlik rapor edilmiştir.

Watanabe, Inaguma ve Sato (2011), nikel-alümina/ çelik kaplı boru imal etmek için yeni bir reaktif savurma döküm tekniğinin uygulanabilirliğini denemişlerdir. Bu işlem, Ni tozlarının bir boru içerisine yerleştirilmesini ve sıvı alüminyum metalinin boruya dökülmesini içermektedir. Alüminyum ve Ni tozu arasındaki reaksiyon sayesinde bir kompozit tabaka üretilmiş ve çelik borunun iç yüzeyindeki ekzotermik reaksiyon sonucunda kompozit-çelik bağlanmasıyla nihai yapı oluşturulmuştur.

1.4.4. Kendiliğinden Yayılan Yüksek Sıcaklık Sentezi (SHS)

Bu yöntem kendi kendine ilerleyen/yayılan yüksek sıcaklık sentezi (SHS) olarak bilinir. Reaktif hammaddeler arasındaki ekzotermik kimyasal tepkime, SHS tekniğinin temel prensibidir. Termik enerjinin üretilmesinin ve diğer yöntemlere kıyasla maliyet etkinliğinin basitliği, SHS'nin seramik, nanomateryal ve katalizör endüstrilerinde kullanılırlığını arttırmıştır. SHS ekstrüzyonu, reaktif yanma, dövme, reaktif SHS haddeleme, reaktif presleme, reaktif döküm, SHS-SLS ve mikrodalga destekli CS, hepsi bu alanda çeşitli üretim yöntemleri olarak kategorize edilir. Mükemmel konsolidasyon, yüksek üretim oranı ve yeniden kristalleşme olasılığı, reaktif mekanik şekillendirme proseslerinin (dövme, ekstrüzyon, haddeleme ve presleme dahil) başlıca avantajları iken, daha yüksek bir enerji tasarrufu aralığı, geleneksel döküm yöntemlerine göre reaktif dökümün kullanılmasının temel faydalarıdır (Varma, Rogachev, Mukasyan ve Hwang, 1998).

Zhang, Han, Du ve Wood (2000), 200ton hidrostatik bir pres kullanarak reaktif kompaksiyon sentezi yoluyla üretilen fonksiyonel dereceli TiC-Ni'nin mekanik ve yapısal davranışlarındaki değişiklikleri incelemişlerdir. En yüksek mekanik özelliklere optimum miktarda Ni (yaklaşık %20) ile ulaşılmıştır. Mekanik özellikler, yoğunluğa ve Ni içeriğine güçlü bir şekilde bağlıdır. Sertlik, eğilme mukavemeti ve kırılma tokluğu başlangıçta armış olup (%20 Ni) sonrasında artan Ni içeriği ile azalmıştır. Sertlik ve eğme mukavemetinin, sırasıyla, yaklaşık olarak %20 ve %30 Ni oranlarında maksimum değere ulaştığını gözlemlemişlerdir.Young modülü, artan Ni içeriği ile azalır. Daha yüksek Ni içeriğine sahip olan katmanlarda gözenekliliğin varlığı ve artışı; yoğunlukta ve mekanik özelliklerde azalmaya yol açmıştır.

Shon ve Munir (1998), SHS yöntemi ile fonksiyonel dereceli TiC-Cu üretim sürecini elektromanyetik yanma ve radyal ısıtma olmak üzere iki farklı teknik kullanarak incelemişlerdir. Bu tekniklerinin malzeme performansına etkisini karşılaştırarak; elektro termal yanma (ETC) ile üretilen örneklerin, ateşleme yöntemine göre daha düşük bir gözeneklilik oranına sahip olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, yüksek bakır oranına sahip FDM'lerin sadece ETC yöntemi ile sentezlenebileceğini de bulmuşlardır.

1.4.5. Bant döküm

Bant döküm, tabakalı seramik yüzeylerin büyük ölçekli üretimi için uygulanan popüler bir yöntemdir. Bu teknikte, bir çözücü içinde, bağlayıcı ve seramik tozu içeren çeşitli hammaddeler bir araya getirilerek kaplama ana malzemesi üzerine dökülür. İstenen ürün özelliklerini elde etmek için döküm bandın kurutulması ve sinterlenmesi (100–300 mm bant kalınlık aralığı) gerçekleştirilmektedir.

Yeo, Jung ve Choi (1998), fonksiyonel olarak derecelendirilmiş ZrO2 / SUS316 hazırlamak için bant döküm yöntemini kullanmışlardır. TZP / SUS316'nın sinterleme işlemini kontrol etmek için TZP (tetragonal zirkonya polikristal) ve MZP (monolitik zirkonya polikristal) kullanılmıştır. ZrO'nun morfolojisi ve tane büyüklüğü kontrolü ile çatlama gibi sinterleme kusurlarının olduğu bulmuşlardır.

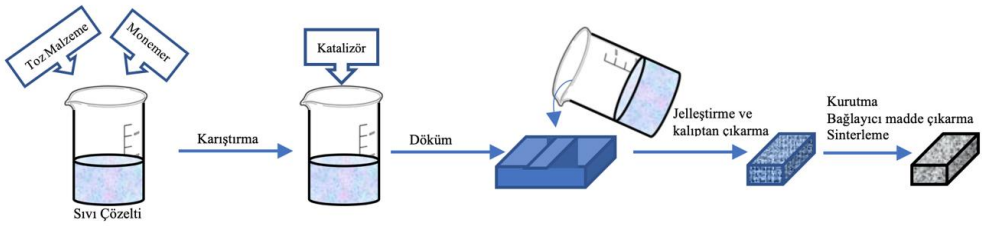
Acikbas, Suvaci ve Mandal (2006), fonksiyonel olarak derecelendirilmiş SiAlON seramiğini bant dökümü ile gerçekleştirmişlerdir. SiAlON karışımı; %66 hacimde metil etil ketonun, hacimce %34 etanol ile karıştırılmasıyla sağlanmıştır. Detaylı yapısal ve mekanik incelemeler, sinterlenmiş numunelerde SiAlON'un oranını arttırarak, fonksiyonel olarak derecelendirilmiş SiAlON'un sertliğinin önemli ölçüde arttığını göstermiştir (sertlik HV: sırasıyla %10 ve %80 SiAlON

için 14.5 ve 17.5 GPa). Laminasyon basıncının hassas şekilde ayarlanmasıyla, ara yüzey kusurlarının önemli ölçüde azaltılabileceğini göstermişlerdir.

1.4.6. Jel döküm

Jel döküm, karmaşık şekillendirilmiş yoğun / gözenekli seramik malzemeler için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Kısa şekillendirme süresi, yüksek kapasite, yüksek verim ve düşük maliyetli işleme sunabilen bir üretim tekniğidir. Bu alanda ilk bilimsel çalışmalar 90'lı yıllarda Oak Ridge Ulusal Laboratuarı'nda araştırmacılar tarafından gerçekleştirilmiştir.

Piezoelektrik seramik-polimer kompozitlerin ve FDM'lerin yüksek frekanslı ultrason cihazları için jel-dökümü ile üretilmesini incelemiş çok sayıda araştırma vardır. Seramik FDM' ler için bir jel dökümü şematik gösterimi, Şekil 1.30'da verilmiştir.



Şekil 1. 30. Jel döküm.

Jel dökümü sırasında; seramik tozlar ve monomer, çapraz-bağlayıcı, serbest radikal başlatıcı ve katalizör içeren bir sıvı çözeltisine, jelimsi bir karışım yapmak üzere dökülür. Jelimsi karışım, kalıp içine dökülür ve bir polimer-su jeli oluşturmak için in-sitü halinde polimerize edilir. Jelin hala ıslak iken kalıbından çıkarılması, ardından kurutma, bağlayıcı madde çıkarma ve son olarak sinterleme ile jel döküm prosesi tamamlanmış olur.

Park, Kang, Jung ve Paik (2008), fonksiyonel olarak derecelendirilmiş Al_2O_3/ZrO_2'nin mikroyapısal ve mekanik davranışlarını, jel-dökümü ile hazırlanan substratlarla daldırma ile üretmişlerdir. Alt tabakadan dış tabakaya kadar sertlikte düzgün bir değişim gözlenmiştir. İç kısım Al_2O_3 , dış kısım ZrO_2 olan FDM'nin kaplama kalınlığı; iç kısım ZrO_2 dış kısım Al_2O_3 olan FDM'den (= AZ; iç kısım ZrO_2 dış kısım Al_2O_3 = ZA olarak tanımlanmış) daha büyük olduğunu ve sırasıyla 300 ve 200 µm değerlerinde olduğunu belirtmişlerdir. İç kısım ZrO_2, dış kısım Al_2O_3 olan FDM'de hiçbir çatlama gözlememişlerdir;

ancak iç kısım Al_2O_3, dış kısım ZrO_2 olan FDM'de anizotropik çatlak büyümesi gözlemlemişlerdir.

1.4.7. Elektroforetik Biriktirme

Elektroforetik biriktirme (EPD) ilk olarak sudaki kil parçacıklarının elektrik alanla harekete geçmesini gözlemleyen Rus bilim adamları tarafından keşfedilmiştir. Elektroforetik biriktirme prosesi, biriktirilmek istenen partiküllerle hazırlanan süspansiyonun elektroforesis hareketi meydana getirecek elektrik alan uygulamasıyla elektrot yüzeyinde biriktirilerek gerçekleştirilir. 1980'lerde EPD yönteminin popülerleşmesi, farklı seramik aletlerin üretimi için uygulanmasıyla başlayıp EPD işlem tarihinde bir dönüm noktası olmuştur.

Put, Vleugels, Anné ve Van der Biest (2003), EPD işlemenin ve sonraki sinterlemenin, fonksiyonel olarak derecelendirilmiş ZrO_2/Al_2O_3 ve WC/Co kompozitinin mekanik davranışı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre, sertlik değeri, kenarlardaki Al_2O_3-zengin bölgesi ve kompozitin çekirdeğindeki ZrO_2/Al_2O_3 açısından zengin bölge nedeniyle, çekirdekte 13.5 GPa'dan kenarlara yaklaşık 19.5 GPa arasında değişmiştir. WC-Co FDM'nin sertliği, çekirdekten kenarlara doğru gidildiğinde 21'den 9 GPa' ya düştüğü görülmüştür (Kobalt gradyanı ağırlıkça %4 ila %17 arasında değişmiştir).

Farnoush, Mohandesi ve Çimenoğlu (2015), Farnoush, Aldıç ve Çimenoğlu (2015), çalışmalarında, HA–TiO_2 kaplamaları Ti-6Al–4V substratları üzerinde elektroforetik biriktirme yoluyla derecelendirilmiş yapı elde etmişlerdir. Dereceli yapının ve kaplamadaki TiO_2'nin ilavesinin, iyon difüzyonuna karşı bir bariyer tabakası olarak işlev gördüğünü ve ayrıştırıldığını göstermiştirler. Mikroyapıda daha düşük gözenekleri, TiO_2 ilavesiyle dereceli yapı kullanılarak elde etmişlerdir.

1.4.8. Kimyasal Çözelti Biriktirme (CSD)

Kimyasal çözelti biriktirme yöntemi genellikle organik olan bir çözücü içinde çözülmüş özel bir sıvı kullanılarak uygulanır. Bu yöntem, stokiometrik olarak hassas kristal fazları üretebilen, oldukça ucuz ve basit bir ince film işleme tekniğidir.

Slowak, Hoffmann, Liedtke ve Waser (1999), kimyasal çözelti biriktirme yöntemi ile Si/SiOz/TiOx/Pt tabakası üzerine fonksiyonel dereceli TiO kaplaması uygulamışlardır. Araştırmaları işleme parametrelerinin uygun seçimi ile düşük maliyetli dielektrik ince film kondansatörünün, bu teknik kullanılarak üretilebileceğini göstermiştir.

Schwartz, Schneller ve Waser (2004), özellikle elektronik oksit film uygulamaları için kimyasal çözelti bırakma tekniklerinin farklı yönleri üzerine bir inceleme raporu yayınlamıştır. Bu raporunda; Sol-jel, hibrit ve metallo-organik ayrıştırma (MOD) teknikleri yanı sıra, film kristalleştirme mekanizması ve mikroyapı karakterizasyonu ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

He, Zhang, Peng ve Li (2013), fonksiyonel olarak derecelendirilmiş $PbTiO_3/PbZrx\ Til - xO_3$(PT/PZT) ve $PbZrO_3/PbZrxTil - xO_3$(PZ / PZT) filmleri, kimyasal çözelti biriktirme yöntemiyle yapılmışlardır. Daha ince taneli ince film tabakası ile tampon tabakalar arasındaki yüzey pürüzlülüğü kaynaklı farklı stres alanlarının artmasıyla malzemenin ferroelektrik özelliğinin arttığını göstermişlerdir. Fonksiyonel olarak derecelenmiş filmlerin ferroelektrik davranışının, birleşik morfoloji ve kompozisyon tasarımı ile kontrol edilebileceği sonucuna varmışlardır.

1.4.9. Lazer Biriktirme

Metal veya seramik tozun bir metal plaka üzerine çökeltilmesi için yüksek yoğunluklu bir lazerin üretilmesi, lazer biriktirme yönteminin temelidir. Lazer biriktirmede, matris ve takviye malzemelerinin ergime sıcaklıkları arasında önemli bir fark olması gerekir. Aksi bir durumda belirli bir alana hassas enerji iletimi gerçekleşeceğinden, katı metalik fazlar bir araya gelerek tane yaratabilir.

Wilson ve Shin (2012), ticon tozlarının inconel 690 tozlarına takviye olarak eklenmesiyle fonksiyonel olarak derecelendirilmiş nikel bazlı kaplamalarda lazer biriktirme yöntemini incelemişlerdir. TiC içeriğindeki artış, daha rafine bir yapıya ve sütunlardan eş eksenli bir morfoloji geçişine yol açmıştır. Yüksek TiC hacim oranında (%30 ve üzeri) tamamen dendritik TiC mikro yapısının oluşturulması; %145'lik bir sertlik artışı ile aşınma testlerinde malzeme kaybı oranında %42'lik azalma ile sonuçlanmıştır.

Shishkovsky, Missemer ve Smurov (2012), argon atmosferinde direkt lazer metal biriktirme (DLMS) yöntemi ile fonksiyonel olarak dereceli Ti-Al FDM üretmiş ve kademeli tabaka ara yüzlerinde çatlak oluşumu ve fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Argon'daki DLMS süreci uygulamasının TiAl'in heterojen fazını oluşturma eğilimine sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Bunu mikro sertlik analizi sonuçları ile doğrulamışlardır (130 HV'den 800HV'ye mikro sertlik değişimi Ti'nin içeriğine bağlıdır). Ti-Al FDM, kademeli katmanların kimyasal bileşiminin kontrolünün yanı sıra akış hızı gibi işleme parametrelerini optimize ederek yüksek elastikiyet modülü, düşük yoğunluğu ve mükemmel mekanik özellikleri sayesinde nükleer ve havacılık alanlarında potansiyel olarak kullanılabilirliği görülmüştür.

1.4.10. Yönlü Katılaşma

Bu yöntem, özellikle metalik ve seramik esaslı sistemlerin farklı alanlarında yaygın olarak uygulanır. Yüksek teknoloji uygulamaları için tek yönlü kristaller sağlamaya odaklanmak, bu tekniğin en önemli özelliklerinden biridir. Kristalin anizotropisinin, metalik sistemlerin yönlü büyümesinde arabirim şekli üzerindeki rolü ve istikrarlı bir durum koşulu için, stabil olmayan dalga boyunun tahmini üzerine çalışmalar, çeşitli araştırma ekipleri tarafından yapılmıştır (Boettinger vd., 2000; Boussinot, Hüter, Spatschek, Brener, 2014; Heo ve Chen, 2014,).

Koide, Yazawa, Asakawa ve Inoue (2007), tek kutuplu bir termal gradyan (Bridgman yöntemi) ile organik polimer karışımlarını kullanarak bir FDM üretmişlerdir. Bu yöntem ilk olarak düşük molekül ağırlıklı bir polimer/katkı maddesi sisteminin (poli (e-kaprolakton) (PCL) / 4,4-thiodiphenol (TDP)) ve bir polimer/polimer sisteminin (PCL / poli (etilen oksit) üretimi için uygulanmıştır. Sıcaklıktaki azalmayla TDP/PCL hidrojen bağının arttığı gözlemlemişlerdir.

1.4.11. Sedimantasyon

Sedimantasyon ve yüzdürme, özellikle partikül ile matris arasındaki yoğunluk farkına dayanan, partikül takviyeli kompozitlerin üretimi için birçok imalat teknolojisinde kullanılmaktadır. Yeryüzünde her yerde bulunan yerçekimi kuvvetinin uygun kullanımı, kademeli yapının üretiminde kullanılabilir. Farklı fazların termal soğuması, morfolojisi, büyüklüğü ve kütle yayılımı gradyanı üzerine odaklanarak, çeşitli fonksiyonel dereceli MMK ve PMK yapıları elde edilmiştir (Drenchev, Sobczak ve Sobczak, 2002; Sobczak ve Drenchev, 2013).

Lucignano ve Quadrini (2009), sedimantasyon yöntemiyle fonksiyonel olarak derecelendirilmiş polyester üretmiş ve makro-girinti tekniği ile mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmalarında fonksiyonel olarak derecelendirilmiş kompozit malzemelerde elastik modülün karmaşık dağılımının değerlendirilmesi için sayısal modelleme ile birlikte makro-girinti testinin potansiyelini göstermişlerdir.

1.4.12. Plazma Sinterlemesi

Oldukça eski bir üretim yöntemi olan plazma sinterlemesinin temelleri Mezopotamya'da bulunan kazı alanlarından çıkan ısıtılmış kilden yapılmış tuğlalara ve inkaların altın takılarında kullandıkları yöntemlere dayandırılmaktadır. Ayrıca ortadoğu-çin-avrupa üçgeninde seramik ve porselenlerinin dayanım gelişiminde de rol almış bir yöntemdir. Standart plazma sinterlemesine benzer bir yöntem ilk olarak 1910 yılında Almanya'da uygulanmış

ve toz malzemenin birleştirilmesi için elektrikle enerjinin verildiği bir yöntem olarak kullanılmıştır.

Taylor (1933), tarafından geliştirilen bir patentte sac metaller için direnç sinterleme yöntemi gösterilmiştir. Ardından Cremer (1944), pirinç, bronz ve diğer toz malzemeleri sinterlemek için yaptığı patent çalışmalarıyla, bir sonraki gelişmenin aşamalarını oluşturmuştur. Günümüzde de standart plazma sinterleme (SPS) seramik ve metal malzemelerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Geleneksel tekniklerle sinterlenmesi zor olan intermetalik bileşikler, fiber takviyeli seramik matrisli kompozitler, metal matrisli kompozitler ve nano ürünlerin üretimi için popüler bir tekniktir. Plazma sinterleme metodu, formal sinterleme tekniklerinden tamamen farklıdır ve tozlar arasındaki elektrik akımı olgusunun analizine dayanmaktadır.

Farklı faz erime sıcaklıklarının elde edilmesi, FDM'lerin üretimi için SPS kullanmanın güçlü bir motivasyonudur. SPS işleminde, tozlar diğer geleneksel tekniklere göre daha kolay aktif hale getirilmektedir. Yüksek elektrik akımı uygulandıktan sonra iyonların yüksek hızda ilerleyişi, sinterleme sırasında difüzyonu arttırır. Güçler arasında boşaltma ile lokalize yüksek sıcaklık bölgeleri üretilebilir ve bu parçacıklar arasındaki boşluk sistemdeki yumuşatılmış veya erimiş bileşenlerle doldurulabilir. Rockland (1967) ve Gessinger (1970), materyal sinterleme işlemlerinde çeşitli difüzyon seviyelerini inceleyerek, dört ayrı kaynağın yüzeyler boyunca difüzyon, yüzey veya tanecik sınırları boyunca hacim difüzyonu ve yerel tane sınır difüzyonu da dahil olmak üzere difüzyonda rol oynayabileceğini doğrulamışlardır.

Hong, Zhang, Li, Han ve Meng (2008), ZrB_2–SiC/ZrO_2 FDM üreterek; mikroyapısal davranış, sertlik ve kompozisyon derecelendirmesini analiz etmişlerdir. Yapılan mekanik testlere göre, sertlik değerlerinin (HV) tüm derecelendirilmiş bölgede 17.8 GPa ila 19.2 GPa arasında değiştiği ve bu stabil olmayan değişime yol açan kimyasal bileşim değişikliklerinin tabaka ara bölgelerinde önemli ölçüde azaldığını gözlemlemişlerdir.

Mishina, Inumaru ve Kaitoku (2008), ZrO_2 ve ZrO_2 / AISI316L'den oluşan FDM'lerin mekanik özelliklerinin araştırmışlardır. AISI316L'nin nihai hacim oranı %50 iken; tabakaların kalınlığının kırılma tokluğunu ve ürünün aşınma özelliğini önemli ölçüde etkilediğini bulmuşlardır. Artan kalınlıklarda (yani 2,0 mm veya daha fazla), sırasıyla 2.0mm tabakalar ve 3.0mm tabakalar için kırılma tokluğu 5.5 MPa ve 5.9 MPa'a kadar artmıştır. Katmanların kalınlığı, üretilen FDM'lerin aşınma direncini de önemli ölçüde etkilemiştir. Numunelerinin aşınma testiyle, 2 mm ve üzeri kalınlıktaki FDM'nin 1.1×10^{-10} ile 1.3×10^{-10} mm^2/N

arasında bir aşınma oranına sahip olduğunu göstermişlerdir (ZrO_2 aşınma değeri $3{,}110^{-10}$ mm^2/N). Bu tip FDM'lerin eklem protezleri gibi yüksek aşınma direnci uygulamalarında kullanıma uygun olduğunu göstermişlerdir.

1.4.13. Toz Metalürjisi

Toz metalurjisi tekniği kullanılarak FDM'lerin imalatı, önceden tasarlanmış bir dispersiyon formülasyonuna göre toz malzemelerin karışımının hazırlanmasını, istiflenmesini ve son olarak sinterlemeyi içerir. Toz metalurjisi tekniği, kimyasal bileşimi ve mikroyapıyı iyi bir şekilde kontrol eden materyallerin üretilmesini sağlar. Sıcaklık, zaman ve basınç gibi işleme parametrelerinin, toz metalurjisi tekniği kullanılarak üretilen FDM'nin özellikleri üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bu yöntemle FDM üretiminde en iyi performansı elde etmek için sinterleme sürecini kontrol etmek önerilmektedir. Parçacık boyutunun kontrolü, optimum karıştırma koşulunun bulunması ve işlemin sonunda HIP ve sıcak preslemenin uygulanması toz metalurjisi sırasında ortaya çıkan sinterlenme süreci dengesizliğini önleyebilmektedir (Kawasaki ve Watanabe, 1990, Kawasaki ve Watanabe, 1997a, Kawasaki ve Watanabe, 1997a).

Chenglin, Jingchuan, Zhongda ve Shidong (1999), toz metalurjisi tekniği ile hidroksiapatit (HAp)–Ti FDM üretimini araştırmışlardır. Ti, sinterleme sıcaklığında (1100°C) HA ila -$Ca_3(PO_4)_2$ ve $Ca_4P_2O_9$' un ayrışması için bir motive edici olarak görev yapar. Eğilme mukavemeti ve kırılma tokluğunun, Ti içeriği ile doğrudan bir ilişki içerdiği tespit edilmiştir. FDM' deki saf Ti bölgeleri, insan kemiği mukavemetinden çok daha yüksek olan kırılma tokluğu ve eğilme mukavemetine (sırasıyla K_{IC}= 29.691 MPa $m^{1/2}$ ve = 971.96 MPa) sahiptir. Bu tip FDM'ler sert doku replasmanı implantları için uygundur.

Ma ve Tan (2001), SiC tozlarının ve başlangıç faz toz tane büyüklüğünün, fonksiyonel olarak derecelendirilmiş Ti / TiB_2'nin mekanik ve yapısal özelliklerine etkisinin bir analizi yapmışlardır. SiC'yi sinterleme yardımı olarak kullanan Ti/TiB_2 örneklerinin diğer FDM'lere göre daha yüksek eğilme mukavemetine ve tokluğa sahip olduğu tespit edilmiştir. FDM üretimi sırasında SiO_2 oluşumu sinterleme mekanizmasını değiştirmekte olduğu ve sıvı faz sinterleme yoluyla tozların yoğunlaşmasına yol açtığı görülmüştür. SiC miktarının arttırıldığında TiB_2 tabaka yoğunluğunun arttığını belirtmişlerdir.

Gooch vd. (1999), fonksiyonel olarak derecelendirilmiş Ti-TiB, basınç destekli yoğunlaşma (PAD) yöntemi olarak da bilinen sıcak presleme (sıvı faz basınç sinterlemesi) kullanarak balistik uygulama için geliştirmişlerdir. Fonksiyonel olarak derecelendirilmiş TiB'nin balistik bir materyal olarak geliştirilmesi, imalatta kalıntı gerilme dezavantajlarını çözmüştür. Ayrıca termal

genleşme katsayısı, balistik performans ve mekanik özellik, özellikle de FDM' deki TiB'nin hacim oranına bağlı olarak elastisite modülünü (117'den 426 Gpa'ya artışı) güçlü bir şekilde etkilediğini belirtmişlerdir.

Übeyli vd. (2014), toz metalurjisi ile üretilen bir SiC-AA7075 FDM'nin balistik performansı araştırmışlardır. Çeşitli kalınlıklarda FDM numunesi hazırlamış ve zırh delici mermi kullanılarak balistik performans için test etmişlerdir. Örneklerin analizi, yük bölgelerinin hemen altında bazı mikro çatlaklar ve deforme taneler ile gösterilmiştir. 25 mm'den büyük kalınlıktaki numunelerde gelişmiş balistik performans gözlemlemişlerdir.

1.4.14. Sıkıştırma Döküm

Sıkıştırma döküm yönteminde bir metal kalıp içerisine yerleştirilmiş bulunan poröz takviye malzemesi veya sıkıştırılmış takviye malzemesi üzerine basınç uygulanarak sıvı metal basılmakta ve sıvı metal takviye ile birlikte yüksek basınç altında hızla katılaştırılmaktadır. Bu sayede sıvı metal emdirme yöntemlerinin kullanılamadığı çeşitli takviye malzemelerinde kolaylıkla kullanılabilmektedir.

Basınç altında katılaştırma ile geleneksel döküm yöntemlerine nazaran daha yüksek basınca gereksinim duyulmaktadır. Sıkıştırma döküm yönteminde takviye malzemesi ile matris arasındaki sürtünme kuvvetlerini ve kapiler etkileri yenmek için 50-150 MPa basınç uygulanmakta ve katılaşma süresince etkiyen basınç sayesinde takviye malzemesi ile matris metali arasındaki ara yüzey bağ mukavemetini olumlu yönde etkilenmektedir. Daha ince taneli, porozitesi düşük ürünler elde edilmektedir (Ürkmez, 2004).

Scaffaro, Lopresti, Botta, Rigogliuso ve Ghersi (2016), eriyik karıştırma, sıkıştırarak/basınçla kalıplama ve seçici süzme işlemlerini birleştirerek ayrı bir gözenek büyüklüğü derecelendirmesi ile farklı biyopolimerik iskeleler üretmişlerdir. PCL/PLA çift katmanlı çok fazlı iskeleler durumunda, yüksek bağlı gözenek yapısı, %70'lik bir gözeneklilik ve eriyik karıştırma adımında NaCI'nin granül boyutu kontrol ederek gözenek boyutunun yüksek tahmin edilebilirliği sağlamışlardır. Bu yöntemle elde ettikleri üç katmanlı yapılar da ara yüzey ayrılma belirtisi olmaksızın birleşme bölgeleriyle iyi sentezlendiklerini gözlemlemişlerdir.

Teşekkür;

Bu çalışma, "Fonksiyonel derecelendirilmiş tabakalı alüminyum kompozit malzemelerin ardışık sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilebilirliğinin incelenmesi" (Karaman Genç, 2022) adlı tezden üretilmiştir.

KAYNAKLAR

Acikbas, N. C., Suvaci, E., & Mandal, H. (2006). Fabrication of functionally graded SiAlON ceramics by tape casting. Journal of the American Ceramic Society, 89(10), 3255-3257.

Bever, M. B., & Duwez, P. E. (1970). On gradient composites. In Preliminary Reports, Memoranda and Technical Notes of the ARPA Materials Summer Conference, 117-140.

Bhavar, V., Kattire, P., Thakare, S., & Singh, R. K. P. (2017, September). A review on functionally gradient materials (FGMs) and their applications. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 229, 102-121.

Birth, U., Joensson, M., & Kieback, B. (1999). Powder metallurgical processing and properties of copper/tungsten gradients. In Materials science forum, 308, 766-773.

Boettinger, W. J., Coriell, S. R., Greer, A. L., Karma, A., Kurz, W., Rappaz, M., & Trivedi, R. (2000). Solidification microstructures: recent developments, future directions. Acta materialia, 48(1), 43-70.

Boussinot, G., Hüter, C., Spatschek, R., & Brener, E. A. (2014). Isothermal solidification in peritectic systems. Acta materialia, 75, 212-218.

Cremer, G. D. (1944). Sintering together powders metals such as bronze, brass or aluminum. US Patent, (2,355,954).

Dorfman, M. R. (2002). Thermal spray processes. Advanced Materials & Processes, 160(8), 47-50.

Drenchev, L., Sobczak, J., & Sobczak, N. (2002). Sedimentation phenomenon and viscosity of water–SiC suspension under gravity conditions—a water model study for composites synthesis. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 197(1-3), 203-211.

El-Galy, I. M., Saleh, B. I., & Ahmed, M. H. (2019). Functionally graded materials classifications and development trends from industrial point of view. SN Applied Sciences, 1(11), 1-23.

Farnoush, H., Aldıç, G., & Çimenoğlu, H. (2015). Functionally graded HA–TiO2 nanostructured composite coating on Ti–6Al–4V substrate via electrophoretic deposition. Surface and Coatings Technology, 265, 7-15.

Farnoush, H., Mohandesi, J. A., & Çimenoğlu, H. (2015). Micro-scratch and corrosion behavior of functionally graded HA-TiO2 nanostructured composite coatings fabricated by electrophoretic deposition. Journal of the mechanical behavior of biomedical materials, 46, 31-40.

Gessinger, G. H. (1970). Volume diffusion as densification rate-controlling step in sintering. Scripta Metallurgica, 4(9), 673-675.

Gibson, L. J. (2012). The hierarchical structure and mechanics of plant materials. Journal of the royal society interface, 9(76), 2749-2766.

Gooch, W. A., Chen, B. H. C., Burkins, M. S., Palicka, R., Rubin, J. J., & Ravichandran, R. (1999). Development and ballistic testing of a functionally gradient ceramic/metal applique. In Materials science forum, 308, 614-621.

Habibi, M. K., Samaei, A. T., Gheshlaghi, B., Lu, J., & Lu, Y. (2015). Asymmetric flexural behavior from bamboo's functionally graded hierarchical structure: underlying mechanisms. Acta biomaterialia, 16, 178-186.

He, G., Zhang, Y., Peng, C., & Li, X. (2013). Surface morphology and ferroelectric properties of compositional gradient PZT thin films prepared by chemical solution deposition process. Applied surface science, 283, 532-536.

Heimann, R. B. (2008). Plasma-spray coating: principles and applications. John Wiley & Sons.

Heo, T. W., & Chen, L. Q. (2014). Phase-field modeling of displacive phase transformations in elastically anisotropic and inhomogeneous polycrystals. Acta Materialia, 76, 68-81.

Hong, C. Q., Zhang, X. H., Li, W. J., Han, J. C., & Meng, S. H. (2008). A novel functionally graded material in the ZrB2–SiC and ZrO2 system by spark plasma sintering. Materials Science and Engineering: A, 498(1-2), 437-441.

Hotza, D., & Greil, P. (1995). Aqueous tape casting of ceramic powders. Materials Science and Engineering: A, 202(1-2), 206-217.

Hu, C. (1997). Technical Handbook for Surface Treatment. Beijing Industrial University Press. 364-368.

Inaguma, Y., Sato, H., & Watanabe, Y. (2010). Fabrication of Al-based FGM containing TiO2 nano-particles by a centrifugal mixed-powder method. In Materials Science Forum, 631, 441-447.

Jung, Y. G., Park, S. W., & Choi, S. C. (1997). Effect of CH4 and H2 on CVD of SiC and TiC for possible fabrication of SiC/TiC/C FGM. Materials Letters, 30(5-6), 339-345.

Karaman Genç, S. (2022). Fonksiyonel derecelendirilmiş tabakalı alüminyum kompozit malzemelerin ardışık sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilebilirliğinin incelenmesi, (Doktora Tezi), Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Kasapi, M. A., & Gosline, J. M. (1997). Design complexity and fracture control in the equine hoof wall. The Journal of experimental biology, 200(11), 1639-1659.

Kawasaki, A., & Watanabe, R. (1997). Evaluation of thermomechanical performance for thermal barrier type of sintered functionally graded materials. Composites Part B: Engineering, 28(1-2), 29-35.

Kawase, M., Tago, T., Kurosawa, M., Utsumi, H., & Hashimoto, K. (1999). Chemical vapor infiltration and deposition to produce a silicon carbide–carbon functionally gradient material. Chemical engineering science, 54(15-16), 3327-3334.

Khor, K. A., & Gu, Y. W. (2000). Thermal properties of plasma-sprayed functionally graded thermal barrier coatings. Thin Solid Films, 372(1-2), 104-113.

Kieback, B., Neubrand, A., & Riedel, H. (2003). Processing techniques for functionally graded materials. Materials Science and Engineering: A, 362(1-2), 81-106.

Kim, J. I., Kim, W. J., Choi, D. J., Park, J. Y., & Ryu, W. S. (2005). Design of a C/SiC functionally graded coating for the oxidation protection of C/C composites. Carbon, 43(8), 1749-1757.

Koide, S., Yazawa, K., Asakawa, N., & Inoue, Y. (2007). Fabrication of functionally graded bulk materials of organic polymer blends by uniaxial thermal gradient. Journal of Materials Chemistry, 17(6), 582-590.

Koizumi, M. F. G. M. (1997). FGM activities in Japan. Composites Part B: Engineering, 28(1-2), 1-4.

Lee, P. H. (2013). Fabrication, characterization and modeling of functionally graded materials. Columbia University.

Li, S. B., & Xie, J. X. (2006). Processing and microstructure of functionally graded W/Cu composites fabricated by multi-billet extrusion using mechanically alloyed powders. Composites science and technology, 66(13), 2329-2336.

Li, Y., Jian, S., & Min, Z. (2005). Application of ceramics metal functionally graded materials on green automobiles. In Key Engineering Materials, 280, 1925-1935.

Liu W, Wei H (2019) Energy efficiency evaluation of metal laser direct deposition based on process characteristics and empiri- cal modeling. International Journal Advanced Manufacturing Technology, 102, 901–913.

Liu, Z. Y., Li, C., Fang, X. Y., & Guo, Y. B. (2018). Energy consumption in additive manufacturing of metal parts. Procedia Manufacturing, 26, 834-845.

Liu, Z., Meyers, M. A., Zhang, Z., & Ritchie, R. O. (2017). Functional gradients and heterogeneities in biological materials: Design principles, functions, and bioinspired applications. Progress in Materials Science, 88, 467-498.

Lucignano, C., & Quadrini, F. (2009). Indentation of functionally graded polyester composites. Measurement, 42(6), 894-902.

Ma, J., & Tan, G. E. B. (2001). Processing and characterization of metal–ceramics functionally gradient materials. Journal of Materials Processing Technology, 113(1-3), 446-449.

Madeira, S., Souza, J. C., Fredel, M. C., Henriques, B., Silva, F. S., & Zhang, Y. (2018). Functionally graded nanostructured biomaterials (FGNB). In Nanostructured Biomaterials for Cranio-Maxillofacial and Oral Applications, 159-180.

Mehrali, M., Shirazi, F. S., Mehrali, M., Metselaar, H. S. C., Kadri, N. A. B., & Osman, N. A. A. (2013). Dental implants from functionally graded materials. Journal of Biomedical Materials Research Part A: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials, 101(10), 3046-3057.

Miller, R. A., & Lowell, C. E. (1982). Failure mechanisms of thermal barrier coatings exposed to elevated temperatures. Thin solid films, 95(3), 265-273.

Mishina, H., Inumaru, Y., & Kaitoku, K. (2008). Fabrication of ZrO2/AISI316L functionally graded materials for joint prostheses. Materials Science and Engineering: A, 475(1-2), 141-147.

Naebe, M., & Shirvanimoghaddam, K. (2016). Functionally graded materials: A review of fabrication and properties. Applied materials today, 5, 223-245.

Neubrand, A., 2001. Functionally graded materials. Encyclopedia of Materials: Science and Technology Oxford: Elsevier,2, 3407,3413.

Oshkour, A. A., Talebi, H., Seyed Shirazi, S. F., Yau, Y. H., Tarlochan, F., & Abu Osman, N. A. (2015). Effect of geometrical parameters on the performance of longitudinal functionally graded femoral prostheses. Artificial organs, 39(2), 156-164.

Pan, C., & Chen, B. (1995). Formation of the deformation twinning in austenitic stainless steel weld metal. Journal of materials science letters, 14(24), 1798-1800.

Pan, C., & Xu, X. (2003). Microstructural characteristics in plasma sprayed functionally graded ZrO2/NiCrAl coatings. Surface and Coatings Technology, 162(2-3), 194-201.

Park, S. H., Kang, J. H., Jung, Y. G., & Paik, U. (2008, February). Fabrication and Mechanical Characterization of Al 2 O 3/ZrO 2 Layered Composites with Graded Microstructure. In AIP Conference Proceedings, 973, 273-278.

Put, S., Vleugels, J., Anné, G., & Van der Biest, O. (2003). Functionally graded ceramic and ceramic–metal composites shaped by electrophoretic deposition. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 222(1-3), 223-232.

Rajan, T. P. D., Pillai, R. M., & Pai, B. C. (2010). Characterization of centrifugal cast functionally graded aluminum-silicon carbide metal matrix composites. Materials characterization, 61(10), 923-928.

Ramírez-Gil, F. J., Murillo-Cardoso, J. E., Silva, E. C. N., & Montealegre-Rubio, W. (2016). Optimization of Functionally Graded Materials Considering Dynamical Analysis. In Computational Modeling, Optimization and Manufacturing Simulation of Advanced Engineering Materials, 205-237.

Rockland, J. G. (1967). The determination of the mechanism of sintering. Acta Metallurgica, 15(2), 277-286.

Rodrıguez-Castro, R., Wetherhold, R. C., & Kelestemur, M. H. (2002). High-temperature thermo-mechanical behavior of functionally graded materials produced by plasma sprayed coating: experimental and modeling results. Metals and Materials International, 323(1-2), 445-456.

Saleh, B., Jiang, J., Fathi, R., Al-hababi, T., Xu, Q., Wang, L., ... & Ma, A. (2020). 30 Years of functionally graded materials: An overview of manufacturing methods, Applications and Future Challenges. Composites Part B: Engineering, 108376.

Sasaki, M., & Hirai, T. (1994). Thermal fatigue resistance of CVD SiC/C functionally gradient material. Journal of the European Ceramic Society, 14(3), 257-260.

Scaffaro, R., Lopresti, F., Botta, L., & Maio, A. (2016). Mechanical behavior of polylactic acid/polycaprolactone porous layered functional composites. Composites Part B: Engineering, 98, 70-77.

Scaffaro, R., Lopresti, F., Botta, L., Rigogliuso, S., & Ghersi, G. (2016a). Preparation of three-layered porous PLA/PEG scaffold: relationship between morphology, mechanical behavior and cell permeability. Journal of the mechanical behavior of biomedical materials, 54, 8-20.

Scaffaro, R., Lopresti, F., Botta, L., Rigogliuso, S., & Ghersi, G. (2016b). Integration of PCL and PLA in a monolithic porous scaffold for interface tissue engineering. Journal of the mechanical behavior of biomedical materials, 63, 303-313.

Scaffaro, R., Lopresti, F., Botta, L., Rigogliuso, S., & Ghersi, G. (2016c). Melt processed PCL/PEG scaffold with discrete pore size gradient for selective cellular infiltration. Macromolecular Materials and Engineering, 301(2), 182-190.

Schwartz, R. W., Schneller, T., & Waser, R. (2004). Chemical solution deposition of electronic oxide films. Comptes Rendus Chimie, 7(5), 433-461.

Shen, M., & Bever, M. B. (1972). Gradients in polymeric materials. Journal of Materials science, 7(7), 741-746.

Shi, J. (2016). Development of functionally graded implant materials in commercial use.

Shishkovsky, I., Missemer, F., & Smurov, I. (2012). Direct metal deposition of functional graded structures in Ti-Al system. Physics Procedia, 39, 382-391.

Shon, I. J., & Munir, Z. A. (1998). Synthesis of TiC, TiC-Cu Composites, and TiC-Cu Functionally Graded Materials by Electrothermal Combustion. Journal of the American Ceramic Society, 81(12), 3243-3248.

Silva, E. C. N., Walters, M. C., & Paulino, G. H. (2006). Modeling bamboo as a functionally graded material: lessons for the analysis of affordable materials. Journal of Materials Science, 41(21), 6991-7004.

Slowak, R., Hoffmann, S., Liedtke, R., & Waser, R. (1999). Functional graded high-K (Ba1− xSrx) TiO3 thin films for capacitor structures with low temperature coefficient. Integrated Ferroelectrics, 24(1-4), 169-179.

Stewart, S., Ahmed, R., & Itsukaichi, T. (2004). Contact fatigue failure evaluation of post-treated WC–NiCrBSi functionally graded thermal spray coatings. Wear, 257(9-10), 962-983.

Stoner, B., Bartolai, J., Kaweesa, D. V., Meisel, N. A., & Simpson, T. W. (2018). Achieving functionally graded material composition through bicontinuous mesostructural geometry in material extrusion additive manufacturing. JOM, 70(3), 413-418.

Sudbury, Z., Duty, C., Kunc, V., Kishore, V., Ajinjeru, C., Failla, J., & Lindahl, J. (2016, January). Characterizing material transition for functionally graded material using big area additive manufacturing. In Proceedings of the 27th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium-An Additive Manufacturing Conference, 8-10.

Taylor, G. F. (1933). U.S. Patent No. 1,896,854. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Übeyli, M., Balci, E., Sarikan, B., Öztaş, M. K., Camuşcu, N., Yildirim, R. O., & Keleş, Ö. (2014). The ballistic performance of SiC–AA7075 functionally graded composite produced by powder metallurgy. Materials & Design (1980-2015), 56, 31-36.

Ürkmez, N. (2004). AlMg3/SiCp kompozitlerinin üretimi ve mekanik özelliklerdeki değişimlerin incelenmesi, (Doktora Tezi), Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Varma, A., Rogachev, A. S., Mukasyan, A. S., & Hwang, S. (1998). Combustion synthesis of advanced materials: principles and applications. In advances in chemical engineering, 24, 179-226.

Watanabe, Y., Inaguma, Y., & Sato, H. (2011). Cold model for process of a Ni-aluminide/steel clad pipe by a reactive centrifugal casting method. Materials letters, 65(3), 467-470.

Watanabe, Y., Kurahashi, M., Kim, I. S., Miyazaki, S., Kumai, S., Sato, A., & Tanaka, S. I. (2006). Fabrication of fiber-reinforced functionally graded materials by a

centrifugal in situ method from Al–Cu–Fe ternary alloy. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 37(12), 2186-2193.

Watanabe, Y., Yamanaka, N., & Fukui, Y. (1998). Control of composition gradient in a metal-ceramic functionally graded material manufactured by the centrifugal method. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 29(5-6), 595-601

Wilson, J. M., & Shin, Y. C. (2012). Microstructure and wear properties of laser-deposited functionally graded Inconel 690 reinforced with TiC. Surface and Coatings Technology, 207, 517-522.

Woolley, R. J., & Skinner, S. J. (2014). Functionally graded composite La2NiO4+ δ and La4Ni3O10− δ solid oxide fuel cell cathodes. Solid State Ionics, 255, 1-5.

Wośko, M., Paszkiewicz, B., Piasecki, T., Szyszka, A., Paszkiewicz, R., & Tłaczała, M. (2005). Applications of functionally graded materials in optoelectronic devices. Optica Applicata, 35(3).

Zhang, C., Chen, F., Huang, Z., Jia, M., Chen, G., Ye, Y., ... & Lavernia, E. J. (2019). Additive manufacturing of functionally graded materials: A review. Materials Science and Engineering: A, 764, 138-209.

Zhang, X. H., Han, J. C., Du, S. Y., & Wood, J. V. (2000). Microstructure and mechanical properties of TiC-Ni functionally graded materials by simultaneous combustion synthesis and compaction. Journal of materials science, 35(8), 1925-1930.

ISBN: 978-625-6971-84-4



BÖLÜM 23

ISBN: 978-625-6971-84-4

DÜNYADA YENİLENEBİLİR ENERJİLİ TİCARİ ARAÇLARIN GELİŞİMİ

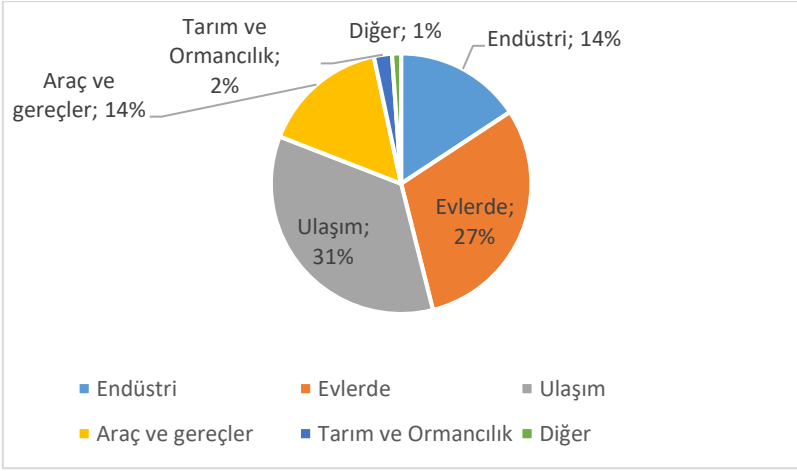
Dr. Öğr. Üyesi Kadir YILMAZ[11]

Öğr. Gör.Taner DİNDAR[22]

1. GİRİŞ

Dünyada 2019 yılında küresel enerji tüketimi yaklaşık olarak 14 milyar ton petrol eşdeğerine ulaştığı ve yıllık %2.9 oranında da artması beklenmektedir [1]. Enerjinin başlıca kaynakları petrol, kömür, doğal gaz, biyokütle ve elektrik olup, sırasıyla %32, %26, %23, %10 ve %9'unu oluşturmaktadır [2]. Elektrik enerjisi hidroelektrik, nükleer enerji ve yenilenebilir enerji olmak üzere alt kategorilere ayrılabilir ve toplam enerji tüketiminin %6.7'sini, %4.3'ünü ve %4'ünü temsil etmektedir [3]. Günümüzde fosil yakıtlar fazlaca kullanılırken, ulaşım sektörünün kullanımının yaklaşık %30.8'ini oluşturduğu bilinmektedir. Ayrıca, mevcut yakıtların yarısından fazlası taşıtlar tarafından tüketilmektedir [4]. Şekil 1'de ulaşımda kullanılan oran görülmektedir. Bununla birlikte, son 10 yılda ulaşım sektöründe önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Enerji talebindeki artışın %80'den fazlası Asya'daki gelişmekte olan ülkelerden kaynaklanmaktadır ve bu bölgelerde otomobil sayısı hızla artmaktadır [5]. Çevresel sorunların kötüleşmesi nedeniyle, fosil yakıtların temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları ile değiştirilmesi gerekmektedir.

[1] Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-0819-3420
[2] Ankara Üniversitesi, Nallıhan Meslek Yüksek Okulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Ankara, Türkiye, ORCID ID: 0000-0002-4112-2114



Şekil 1. 2017'de küresel enerji tüketiminin oranı

Fosil yakıtların yanması, büyük miktarda kirletici madde ve sera gazlarının emisyonuna neden olur. 2018 yılında küresel karbon emisyonları 0.6 Gt'ye ulaştı ve artmaya da devam edeceği bilinmektedir [6]. Otomobil egzozlarının, küresel emisyonların yaklaşık olarak %54'ünü CO, %30'unu azot oksitleri (NO + NO2), %10'unu partikül madde (PM), %47'sini metan dışı uçucu organik bileşikler ve %14'ünü karbondioksit içermektedir [7]. CO, yakıttaki karbonun tam olarak yanmadığında ortaya çıkar. Ulaşım ayrıca 'is partikülleri' olarak da adlandırılan 'siyah karbon' un önemli bir kaynağıdır ve yaklaşık olarak küresel emisyonların %35'ini oluşturur [8]. Taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar PM 2.5'e 1.4% oranında katkıda bulunur ve PM 2.5 ile ilgili sorunlar özellikle Asya'daki gelişmekte olan ülkelerde akut bir şekilde yaşanır [9, 10]. Çin ve Hindistan'daki bazı şehirler, içten yanmalı motorlar (ICE'ler) taşıtlardaki PM 2.5'in başlıca kaynakları olarak kabul edilen 100 µg m^3 üzerinde ortalama PM 2.5 seviyelerini rapor etmiştir [11]. Ayrıca, hava kirliliği, Çin ve Hindistan gibi bazı gelişmekte olan ülkeleri tehdit eden ciddi bir sorun olarak ortaya çıkmıştır [12]. Taşıtlardan kaynaklanan PM 2.5 emisyonları öncelikle yanabilir yakıt bileşenlerinden ve yağlayıcılardan kaynaklanmaktadır [13].

1. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ÖNERİLMESİ VE GELİŞTİRİLMESİ

Geleneksel yenilenemeyen yakıtları tüketen içten yanmalı araçların sayısındaki artış, enerji ve çevresel sorunlara neden olmuştur [14]. Bu nedenle, birçok ülke, fosil yakıt tüketimini ve sonrasındaki hava kirliliğini azaltmak için geleneksel araçlara alternatif olarak yeni enerji araçları (NEV'ler) uygulamıştır

ISBN: 978-625-6971-84-4

[15,16]. Tablo 1'de, içten yanmalı motorlu araçların satışının gelecek 10-20 yıl içinde yasaklanmasını duyuran bazı ülkeleri göstermektedir.

Tablo 1. İçten Yanmalı Araçların Yasaklanması Planlayan Ülkeler

Ülke	Yasak Başlangıç Yılı
Norveç	2025
Almanya	2030
Hollanda	2030
İngiltere	2040
Fransa	2040

Dünya'nın en büyük otomotiv pazarı olarak Çin, petrol tüketimini ve ithalatını azaltmak amacıyla NEV'leri teşvik etmeye kararlıdır [17]. Avrupa'da Almanya, 2020 yılına kadar bir milyon NEV'in işletilmesini hedeflemekte ve karbondioksit emisyonlarını azaltmayı amaçlamaktadır [18]. Fransa ve İngiltere de 2040'a kadar geleneksel araçların ülke içinde satışını kısıtlamayı amaçlamaktadır [19]. NEV'lerin benimsenmesini teşvik etmek için birçok ülke, İngiltere'deki tak-çalıştır araç teşvikleri, ABD'deki temiz araç geri ödeme projesi ve Japonya ve Çin'deki yeşil araç satın alma teşvik önlemleri gibi teşvikler ve özel vergi politikaları sunmuştur [20]. Araçları güçlendirmek için geleneksel olmayan enerji kaynaklarını kullanan NEV'ler, temel olarak EV'ler, hidrojen araçları, doğal gaz araçları, metanol araçları ve etanol araçlarını içerir. Bunlar arasında EV'ler, çevresel ve sosyo-ekonomik faydaları gerçekleştirmede en etkili olarak kabul edilir [19].

EV'ler, yeni gelişen bir teknoloji olarak 100 yıldan fazla bir süredir varlığını sürdürüyor ve ilk pratik elektrikli aracın 1884 yılında Thomas Parker tarafından geliştirilen [19] ve Almanya'da 1899 yılında üretilen Ferdinand Porsche'un elektrikli aracı gibi erken dönem elektrikli araçların ünlü örneklerini içerir [20,21]. O zamanlar yaygın olan buhar ve benzinli motorlarla karşılaştırıldığında, EV'ler sessiz, kullanımı kolay ve güçlü kokulu kirletici yaymıyorlardı. Bu nedenle, Henry Ford yeni seri üretim sürecini kullanarak Model T'yi geliştirmeden önce, EV üreticileri 1920'lerde bir dereceye kadar başarı yaşadılar ve ABD'de üretilen toplam araçların %28'i EV'lerdi [19]. Ancak, EV'lerin yüksek fiyatları ve geleneksel araçların hızlı gelişimi nedeniyle EV'lerin teşviki yavaşladı; ancak çevresel kirlilik ve enerji ile ilgili sorunlar nedeniyle 21. yüzyılın başında teşvik hızlandı [22]. Hükümetler ile endüstriler arasındaki işbirliği sayesinde EV altyapısı ve teknolojisi gelişti ve küresel EV satışları 2016 yılında bir milyona ulaştı [23], ve 2018 yılında küresel hafif ticari EV ve tak-çalıştır hibrit EV satışları beş milyonu aştı [24]. Volkswagen, Mercedes ve Ford

gibi ünlü otomobil üreticileri de EV'leri teşvik etme konusundaki hedeflerini açıklamışlardır.

EV'ler, temel olarak saf EV'ler (PEV'ler), hibrid EV'ler (HEV'ler) ve yakıt hücreli EV'ler (FCEV'ler) içerir [25]. Bir PEV, tamamen bir çekiş pili tarafından güçlendirilir. HEV'ler iki güç kaynağına sahiptir ve içten yanmalı bir motor sistemi ile bir elektrik tahrik sistemi kombinler. Elektrikli bir güç sisteminin dahil edilmesi, geleneksel araçlara göre yakıt ekonomisini ve performansını iyileştirmeyi amaçlar [26]. FCEV'ler, bir çekiş pilinin yerine bir yakıt hücresi kullanarak, bir elektrik motorunu beslemek için bir pil veya süper kapasitör ile birleştirilen EV'lerdir [27]. TEV'ler teknik olarak EV'lerin en büyük bölümünü oluştursa da, tamamen yakıt yağı kullanmaktan tamamen muaf değillerdir. Ayrıca, FCEV'lerin pazar payı hala küçüktür. 2018 yılının sonunda, küresel FCEV stoğu 11,200'e ulaştı [28]. Araçlar ve altyapı dağıtımıyla ilişkili yüksek maliyet, FCEV'lerin benimsenimini etkileyen başlıca sorundur. Buna karşılık, BEV'ler, sıfır emisyon üretir ve yakıt yağı kullanmazlar.

2. TİCARİ ARAÇLARIN ELEKTRİFİKASYONU

Otomobiller, kamyonlar, inşaat araçları ve tarım araçları gibi ticari araçlar elektrikle çalıştırılabilir. EV'ler, geleneksel dizel araçlara göre daha çevreci, sessiz ve enerji verimlidirler [29]. Bununla birlikte, ticari araçların geniş ölçekli elektrifikasyonu gerçekleştirilmeden önce ele alınması gereken bazı sorunlar vardır.

Ticari araçların neden olduğu yük, genellikle özel otomobillerden kaynaklanan yükten daha ağırdır ve ticari araçların seyir menzil gereksinimleri daha yüksektir [29]; bu nedenle daha fazla enerji tüketmeleri gerekmektedir. Şu anda, çoğu ticari araç hala dizel gibi fosil yakıtları kullanmaktadır. Ancak, fosil yakıtların rezervleri ve arzı sınırlıdır [30]. AB'nin ticari araçlardan kaynaklanan karbondioksit emisyonları, taşımacılık sektörünün toplam emisyonlarının %25'ini oluşturur, bu nedenle çevresel etki göz ardı edilemez [31].

Elektrikli ticari araçlar tarafından kullanılan enerji, petrokimyasal enerji yerine elektrikten elde edilir. Elektrik, araç içi batarya tarafından sağlanır ve şebekeden şarj edilebilir. EV'lerin güç sisteminin önemli bileşenlerinden biri olan DC-DC dönüştürücü, EV'lerin güç sistemine enerji sağlama ağının bir parçasıdır. Tahrik sistem inverteri, bataryanın doğru akımını araç işlemi için gereken alternatif akıma dönüştürür.

Sürüş gücüne ek olarak, elektrikli ticari araçların elektrifikasyonunda araç içi klima sistemi ve diğer aksesuarlar da dikkate alınmalıdır. Şu anda, bazı

geçiş modelleri tarafından gereken güç, içten yanmalı motor ve elektrik sistemi tarafından sağlanmaktadır. Elektrik sistemi, başlıca yüklenme piklerine başa çıkmak için ek tork sağlar.

2.1. Ticari Araçların Elektrifikasyonunun Önemi

Ticari araçların elektrifikasyonu gelecekteki bir endişe olarak ortaya çıkmaktadır. 2016 Paris Anlaşması, tüm araçların 2050 yılına kadar sıfır emisyon elde etmesini gerektirir [32]. Bu, dünya genelinde tüm ülkelerin taşımacılık sektöründeki karbon emisyonlarını mümkün olan en kısa sürede azaltmaları gerektiği anlamına gelmektedir. Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Kanada, Japonya ve Hindistan, ticari araçların elektrifikasyonu için net hedefler belirlemişlerdir. AB ayrıca 2030 yılına kadar ticari araçlardan kaynaklanan karbondioksit emisyonlarını %30'a düşürmeyi planlamaktadır [33].

2.2. Elektrikli Ticari Araçların Avantajları

Elektrikli ticari araçların avantajları açıktır. İlk olarak, işlem sırasında fosil yakıt tüketmezler ve bu nedenle karbondioksit emisyonu üretmezler. Ayrıca, yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektriği kullanma yeteneğine sahiptirler. Elektrik sistemleri, özellikle daha az hareketli mekanik parça gerektirdiğinden, içten yanmalı motor sistemlerine göre daha az parçaya ihtiyaç duyar [34]. Bu nedenle, elektrikli ticari araçların tasarımı daha az karmaşıktır ve sonuçta oluşan yapı daha kompakt olur. Ayrıca, elektrik sistemi içten yanmalı motor sistemleri tarafından gösterilen ses emisyonundan çok daha düşük bir ses emisyonuna ve daha yüksek bir verimliliğe sahiptir ve frenleme ile büyük bir enerjinin geri kazanılabilir olduğu görülmektedir [35].

3. ELEKTRİKLİ OTOBÜS GELİŞİMİ

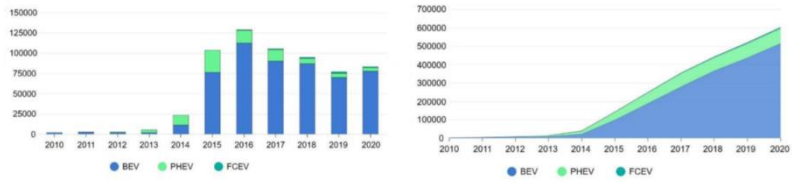
EBus'lar, şarj sorunlarını basitleştiren belirli sürüş rotalarına ve merkezi yönetime sahip oldukları için elektrikli kamyonlar gibi diğer elektrikli ticari araçlardan daha hızlı gelişmektedir.

3.1. Elektrikli Otobüslerin Menzili

Günümüzde EBus'lar değerlendirildiğinde tek bir şarjla 200-300 km yol yapabilmektedir [36]. Özel menzilleri, yol koşulları, araç hızı ve klima gibi diğer yardımcı ekipmanların kullanımına bağlıdır. Bataryaların ve şarj teknolojisinin gelişimi ile batarya kapasitesi önemli ölçüde artmış olsa da, gelecekte büyüme için hala çok fazla potansiyel bulunmaktadır.

3.2. Elektrikli Otobüslere İlişkin Zorluklar

Geleneksel içten yanmalı motorlu otobüsler gibi, mevcut EBus'lar da belirli eksiklikler sunmaktadır. EBus'ların fiyatları hala geleneksel otobüslerin fiyatlarından daha yüksektir. Ayrıca, EBus'ların tek şarj işlemi hala içten yanmalı motorlu otobüslere göre daha kötüdür. Bu nedenle, EBus'lar genellikle sadece şehir bölgelerinde kullanılır. Ayrıca, geniş bir yaygınlaştırma ve kapsama alanı elde etmek için daha büyük bir batarya kapasitesi gereklidir. EBus'ların batarya kapasitesi, elektrikli özel otomobillerinkinden daha büyük olduğu için şarj süresi de daha uzundur [37]. Bu nedenle, şarj tesislerinin eksikliği bir sorundur. İçten yanmalı motorlu otobüsün yakıtı azaldığında, sürücü yakındaki bir benzin istasyonunu bulabilir. Ancak, EBus'lar için gücün tükenmeden önce belirli bir şarj istasyonuna ulaşılmış olması makul bir şekilde planlanabilir. Şekil 2'de gösterildiği gibi, 'Küresel Elektrikli Araç Görünümü 2021'e dayanarak, 2010'dan bu yana küresel EBus sayısı hızla artmaktadır.



Şekil 2. Küresel EBus Sayısı

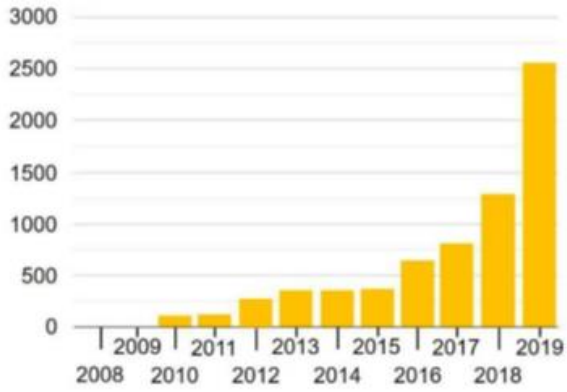
2016'dan bu yana, özellikle gelişmiş ülkeler, EBuses için istikrarlı deneme işletme dönemine girdiler. Gelecekte EBuses'ın yaygınlaştırılması ve deneme işletmesi, gelecek aşamada gelişmekte olan ülkelerde yaygınlaşmanın artacağı beklenmektedir. 2020 yılında, EBus penetrasyon oranı azalan sırayla şöyleydi: Çin, Amerika Birleşik Devletleri, Norveç, Birleşik Krallık, Fransa, Japonya, Almanya, Hollanda, İsveç vb. dünya genelinde en büyük EBus pazarı olan Çin'dir[38]. Tüketiciler arasındaki artan çevre bilinci, önümüzdeki yıllarda EBuses'ın gelişimini daha da teşvik etmesi beklenmektedir. Bu nedenle, EBuses'ın gelişimi dünya genelinde ülkelerin ilgisini çekmektedir. Ancak, EBuses üretimi ve kullanımı açısından Çin çok ileridedir[39]. EBuses'ın gelişimi ve kullanımı, diğer ticari araçların elektrifikasyonunda liderlik ve rehberlik rolü oynamıştır. Şu anda dünya genelinde yaklaşık olarak 385,000 EBus aracı bulunmaktadır, bunların %99'u Çin'de bulunmaktadır [40].

ISBN: 978-625-6971-84-4

3.3. Farklı Ülkelerdeki EBus Denemeleri

Toplu taşıma, çevre koruma açısından önemli bir rol oynamakta olup, EBuses karbon ayak izinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Birkaç Çin şehrinde, Avrupa'da, Kuzey Amerika'da ve Güney Amerika'da çeşitli EBus gösteri projeleri gerçekleştirilmiştir.

Çin, bu küresel büyük dağıtımda liderdir ve Pekin, Changsha, Dalian, Hangzhou, Şanghay, Şenzen ve diğer şehirlerde çalışan 170,000'den fazla otobüsü (dünya genel toplamın %98.3'ü) bulunmaktadır [41]. Bu gelişmeler, 'yeni enerji otobüsleri'ne özel bir program içeren Çin hükümet politikaları tarafından güçlü bir şekilde desteklenmektedir. Örneğin, Şenzen belediye hükümeti, 'Mavi Gökyüzü Planı'nı uygulayarak tüm dizel otobüsleri (16,000) saf EBus'lar ile değiştirerek Şenzen'i dünyanın toplu taşıma otobüs filosunun %100 elektriklendiği ilk şehir haline getirdi [42]. O zamandan beri, Şenzen belediye hükümeti, artan şarj talebini karşılamak için 500'den fazla şarj istasyonu ve 8,000 şarj direği kurmuştur. EBuses, dizel otobüsler tarafından kullanılan enerjiden %72.9 daha az enerji kullanmaktadır [43]. Bu nedenle, EBuses'ın kullanımı, 366,000 ton standart kömür eşdeğeri enerji tasarrufu yapabilir ve 345,000 ton yakıtı değiştirebilir, böylece yılda 1.35 milyon ton karbon dioksit emisyonunu azaltabilir.



Şekil 3. 2019'a kadar Avrupa'da EBus filolarının gelişimi

EBuses üreticilerinde dünya liderleri Çinli üreticilerdir; Ankai, BYD, Foton, Shandong Yixing, Yutong ve Zhongtong, Fransız ve Avrupa'dan Volvo, Iveco, Solaris ve Daimler'ın çok önündedirler. Çin, EBuses alanında çalışmalarına devam etmekte ve 2025 yılına kadar 420.000 daha fazla EBuses aracının dolaşımda olacağı tahmin edilmektedir[44].

4. SONUÇ

EBuses, Latin Amerika'daki gelişmekte olan ülkelerde de hızla yayılmaktadır, örneğin dünyada EBuses'i devreye alan ilk ülke olan Şili'de. San Diego'da şu anda 200 EBuses işletimdedir. Santiago'da ise her gün 18 milyon insan toplu taşıma kullanmakta ve bu insanların %30'u otobüsleri tercih etmektedir. Bu nedenle Şili, tüm filoların 2040 yılına kadar elektrifikasyonunu tamamlama hedeflemektedir. Ayrıca Ekvador, deneme işletmeleri için 20 EBuses satın almış ve Kolombiya'nın Cali şehrinde 125 EBuses test aşamasındadır. Medellin şehri ise 64 yeni satın alınan EBuses'ı hizmete almıştır. Arjantin, Kolombiya ve Panama, EBuses gelişimini desteklemek için ulusal stratejiler yayınlamışlardır. Önümüzdeki yıllarda bütün ülkelerde bu araçların artacağı hem enerji hem de hava kirliliği açısından fayda sağlayacağı tahmin edilmektedir.

KAYNAKÇA

[1] B. Dalla Chiara, F. Deflorio, M. Pellicelli, L. Castello, M. Eid, Perspectives on Electrification for the Automotive Sector: A Critical Review of Average Daily Distances by Light-Duty Vehicles, Required Range, and Economic Outcomes, Sustainability 11(20) (2019) 5784.

[2] G.S. Alemán-Nava, V.H. Casiano-Flores, D.L. Cárdenas-Chávez, R. Díaz-Chavez, N. Scarlat, J. Mahlknecht, J.-F. Dallemand, R. Parra, Renewable energy research progress in Mexico: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 32 (2014) 140-153.

[3] S. Yu, S. Zhou, S. Zheng, Z. Li, L. Liu, Developing an optimal renewable electricity generation mix for China using a fuzzy multi-objective approach, Renewable Energy 139 (2019) 1086-1098.

[4] J.C. Sierra, Estimating road transport fuel consumption in Ecuador, Energy Policy 92 (2016) 359-368.

[5] A. Shahsavari, M. Akbari, Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions, Renewable and Sustainable Energy Reviews 90 (2018) 275-291.

[6] S. Suh, J.A. Johnson, L. Tambjerg, S. Sim, S. Broeckx-Smith, W. Reyes, R. Chaplin-Kramer, Closing yield gap is crucial to avoid potential surge in global carbon emissions, Global Environmental Change 63 (2020) 102100.

[7] X. Wang, L.-W.A. Chen, K.-F. Ho, C.S. Chan, Z. Zhang, S.-C. Lee, J.C. Chow, J.G. Watson, Comparison of vehicle emissions by EMFAC-HK model and tunnel measurement in Hong Kong, Atmospheric Environment 256 (2021) 118452.

[8] N. Barman, S. Gokhale, Urban black carbon-source apportionment, emissions and long-range transport over the Brahmaputra River Valley, Science of the Total Environment 693 (2019) 133577.

[9] S. Yin, Decadal trends of MERRA-estimated PM2. 5 concentrations in East Asia and potential exposure from 1990 to 2019, Atmospheric Environment 264 (2021) 118690.

[10] J. Cheng, J. Su, T. Cui, X. Li, X. Dong, F. Sun, Y. Yang, D. Tong, Y. Zheng, Y. Li, Dominant role of emission reduction in PM 2.5 air quality improvement in Beijing during 2013–2017: a model-based decomposition analysis, Atmospheric Chemistry and Physics 19(9) (2019) 6125-6146.

[11] S. Winkler, J. Anderson, L. Garza, W. Ruona, R. Vogt, T. Wallington, Vehicle criteria pollutant (pm, no x, co, hcs) emissions: how low should we go?, npj Climate and Atmospheric Science 1(1) (2018) 1-5.

[12] W. Fan, Y. Li, B.R. Upreti, Y. Liu, H. Li, W. Fan, E.T. Lim, Big Data for Big Insights: Quantifying the Adverse Effect of Air Pollution on the Tourism Industry in China, Journal of Travel Research (2021) 00472875211047272.

[13] D.E. Saraga, E.I. Tolis, T. Maggos, C. Vasilakos, J.G. Bartzis, PM2. 5 source apportionment for the port city of Thessaloniki, Greece, Science of the Total Environment 650 (2019) 2337-2354.

[14] L.L.P. De Souza, E.E.S. Lora, J.C.E. Palacio, M.H. Rocha, M.L.G. Renó, O.J. Venturini, Comparative environmental life cycle assessment of conventional vehicles with different fuel options, plug-in hybrid and electric vehicles for a sustainable transportation system in Brazil, Journal of cleaner production 203 (2018) 444-468.

[15] C.-W. Su, X. Yuan, R. Tao, M. Umar, Can new energy vehicles help to achieve carbon neutrality targets?, Journal of Environmental Management 297 (2021) 113348.

[16] M. Kendall, Fuel cell development for New Energy Vehicles (NEVs) and clean air in China, Progress in Natural Science: Materials International 28(2) (2018) 113-120.

[17] N. Wang, H. Pan, W. Zheng, Assessment of the incentives on electric vehicle promotion in China, Transportation Research Part A: Policy and Practice 101 (2017) 177-189.

[18] S. Akerboom, W. Botzen, A. Buijze, A. Michels, M. van Rijswick, Meeting goals of sustainability policy: CO2 emission reduction, cost-effectiveness and societal acceptance. An analysis of the proposal to phase-out coal in the Netherlands, Energy Policy 138 (2020) 111210.

[19] X. Sun, Z. Li, X. Wang, C. Li, Technology development of electric vehicles: A review, Energies 13(1) (2020) 90.

[20] K. Palmer, J.E. Tate, Z. Wadud, J. Nellthorp, Total cost of ownership and market share for hybrid and electric vehicles in the UK, US and Japan, Applied energy 209 (2018) 108-119.

[21] O. Schwedes, M. Keichel, The Electric Car: Mobility in Upheaval, Springer Nature2020.

[22] O. Gutfleisch, M.A. Willard, E. Brück, C.H. Chen, S. Sankar, J.P. Liu, Magnetic materials and devices for the 21st century: stronger, lighter, and more energy efficient, Advanced materials 23(7) (2011) 821-842.

[23] M.E. Biresselioglu, M.D. Kaplan, B.K. Yilmaz, Electric mobility in Europe: A comprehensive review of motivators and barriers in decision making processes, Transportation Research Part A: Policy and Practice 109 (2018) 1-13.

[24] I. D'Adamo, P. Rosa, A structured literature review on obsolete electric vehicles management practices, Sustainability 11(23) (2019) 6876.

[25] N. Ding, K. Prasad, T.T. Lie, The electric vehicle: a review, International Journal of Electric and Hybrid Vehicles 9(1) (2017) 49-66.

[26] X. Han, H. He, J. Wu, J. Peng, Y. Li, Energy management based on reinforcement learning with double deep Q-learning for a hybrid electric tracked vehicle, Applied Energy 254 (2019) 113708.

[27] A.S. Veerendra, M.R. Mohamed, P.K. Leung, A.A. Shah, Hybrid power management for fuel cell/supercapacitor series hybrid electric vehicle, International Journal of Green Energy 18(2) (2021) 128-143.

[28] J. Li, M. Liang, W. Cheng, S. Wang, Life cycle cost of conventional, battery electric, and fuel cell electric vehicles considering traffic and environmental policies in China, International Journal of Hydrogen Energy 46(14) (2021) 9553-9566.

[29] L. Gabsalikhova, G. Sadygova, Z. Almetova, Activities to convert the public transport fleet to electric buses, Transportation research procedia 36 (2018) 669-675.

[30] A. Månberger, Reduced Use of Fossil Fuels can Reduce Supply of Critical Resources, Biophysical Economics and Sustainability 6(2) (2021) 1-15.

[31] Danish, Z. Wang, Dynamic relationship between tourism, economic growth, and environmental quality, Journal of Sustainable Tourism 26(11) (2018) 1928-1943.

[32] C. Figueres, C. Le Quéré, A. Mahindra, O. Bäte, G. Whiteman, G. Peters, D. Guan, Emissions are still rising: ramp up the cuts, Nature Publishing Group, 2018.

[33] H. Fekete, T. Kuramochi, M. Roelfsema, M. den Elzen, N. Forsell, N. Höhne, L. Luna, F. Hans, S. Sterl, J. Olivier, A review of successful climate change mitigation policies in major emitting economies and the potential of global replication, Renewable and Sustainable Energy Reviews 137 (2021) 110602.

[34] D.S. Khatawkar, P.S. James, D. Dhalin, Modern trends in farm machinery-electric drives: A review, International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 8(1) (2019) 83-98.

[35] K. Holmberg, A. Erdemir, The impact of tribology on energy use and CO2 emission globally and in combustion engine and electric cars, Tribology International 135 (2019) 389-396.

[36] H. Badia, E. Jenelius, Design and operation of feeder systems in the era of automated and electric buses, Transportation Research Part A: Policy and Practice 152 (2021) 146-172.

[37] M. Rupp, N. Handschuh, C. Rieke, I. Kuperjans, Contribution of country-specific electricity mix and charging time to environmental impact of battery electric vehicles: A case study of electric buses in Germany, Applied energy 237 (2019) 618-634.

[38] D.A. Hensher, E. Wei, C. Balbontin, Comparative Assessment of Zero Emission Electric and Hydrogen Buses.

[39] P.G. Pereirinha, M. González, I. Carrilero, D. Anseán, J. Alonso, J.C. Viera, Main trends and challenges in road transportation electrification, Transportation Research Procedia 33 (2018) 235-242.

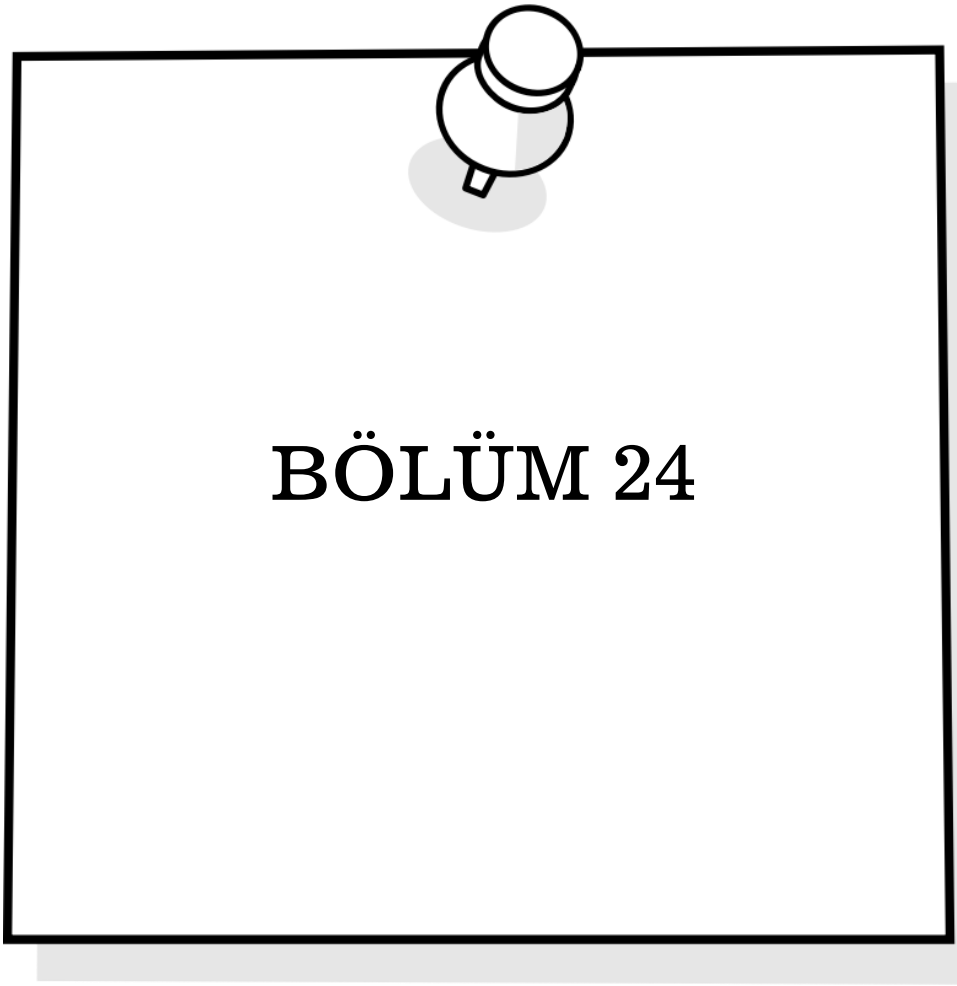
[40] A. Khandekar, D. Rajagopal, N. Abhyankar, S. Deorah, A. Phadke, The case for all new city buses in India to be electric, (2018).

[41] Z. Wu, Double demand responsive electric bus operation to passengers and power system, (2018).

[42] Z. Chen, X. Zhang, F. Chen, Have driving restrictions reduced air pollution: evidence from prefecture-level cities of China, Environmental Science and Pollution Research 28(3) (2021) 3106-3120.

[43] K.W. Lie, T.A. Synnevåg, J.J. Lamb, K.M. Lien, The Carbon Footprint of Electrified City Buses: A Case Study in Trondheim, Norway, Energies 14(3) (2021) 770.

[44] N. Hooftman, M. Messagie, T. Coosemans, Analysis of the Potential for Electric Buses, European Copper Institute (2019).



BÖLÜM 24

ISBN: 978-625-6971-84-4

ÜSTÜNİLETKENLERİN MİKRO DALGA YÜZEY DİRENCİ HESAPLAMALARI

Doç. Dr. Şükrü YILDIZ[1]

Öğr. Gör. Soner TOKÇALAR[2]

Fedai İNANIR[3]

Giriş

Üstüniletkelik keşfedildiği 1911 yılından günümüze çok büyük gelişmeler göstermiş ve birçok alanda günlük hayatımıza girmiştir. Kayıpsız enerji transferinden oldukça büyük manyetik alanların elde edilmesine üstüniletkenlik sahip olduğu özellikleri birçok teknolojik uygulamada hayata geçirmeyi başarmıştır. Manyetik görüntüleme cihazlarından yüksek kapasiteli jeneratörlere, iletim hatlarından baz istasyonlarına, hadron çarpıştırıcısından füzyon reaktörlerine birçok uygulama bunlar arasında sayılabilir.

Tüm bu uygulamalar oldukça yüksek maliyeleri de beraberinde getirmektedir ve bunun önüne geçmenin en pratik yolu teorik ön çalışmalar ile yapılacak deneysel çalışmalarda bir öngörüye sahip olmaktır. Bu kapsamda üstüniletken pasif mikrodalga bileşenler gibi uygulamalarda üstüniletkenlerin en önemli parametrelerinden birisi olan yüzey direncinin tahmin edilmesinde ticari bir sonlu elemanlar yönteminin kullanılması kritik olup bu bölümde bu konu hakkında detaylı bir araştırma sunulacaktır.

Üstüniletkenlerin Mikro Dalga Yüzey Direncinin Elektrodinamiği

Mikrodalga frekanslardaki bir elektromanyetik alana maruz bırakılan II. tip üstüniletkenlerde girdap hareketinin çalışılması ilk kez Gittleman ve Rosenblum (1966) tarafından gerçekleştirilmiş olup girdapların hareketi için harmonik salınıcı için verilen denkleme benzer bir denklem önermişlerdir;

[1] Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
[2] Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
[3] Yıldız Teknik Üniversitesi

$$m\ddot{x} = J\phi_0 - \eta\dot{x} - k_p x \qquad (1)$$

Burada $J = J_0 e^{-i\omega t}$ basitlik için DC manyetik alana dik kabul edilen mikrodalga akım yoğunluğu, m birim uzunluktaki bir girdap çizgisinin eylemsizlik kütlesi, η ortamın viskozite katsayısı ve k_p çivilenme kuvveti ile alakalı olan elastik sabittir.

Denklem 1, $x = x_0 e^{-i\omega t}$ çözümüne olanak sağlar, burada x_0 şu şekilde elde edilir.

$$x_0 = \frac{J_0\phi_0}{\left(k_p - m\omega^2\right) + i\eta\omega} \qquad (2)$$

$\vec{E} = \vec{B} \times \vec{v}$ kullanımı ile elektrik alan şu şekilde bulunur;

$$E = B \times v_L = \frac{i\omega J_0 \phi_0 B e^{-i\omega t}}{\left(k_p - m\omega^2\right) - i\eta\omega} \qquad (3)$$

Buradan, kompleks mikrodalga direnci denklemi aşağıdaki gibi verilir;

$$\rho = \frac{E}{J} = \frac{i\omega\phi_0 B}{\left(k_p - m\omega^2\right) - i\eta\omega} \approx \frac{\phi_0 B}{\eta\left(1 + i\frac{\omega_0}{\omega}\right)} \qquad (4)$$

Suhl (1965) tarafından önerildiği gibi $m\omega^2$ terimi ihmal edilmiştir.

Çivilenmenin bozulduğu frekans (depinning frequency) denilen üstüniletkenlerin karakteristiği $\omega_0 = k_p/\eta$ niceliği, çok düşük enerji saçılmaları

ISBN: 978-625-6971-84-4

tarafından karakterize edilen düşük frekans rejimi ile yüksek frekanstaki enerji kaybı rejimi arasındaki ayırım limitini tanımlamaktadır. Girdabın birim uzunluk başına enerji kaybı oranı aşağıdaki gibi verilir;

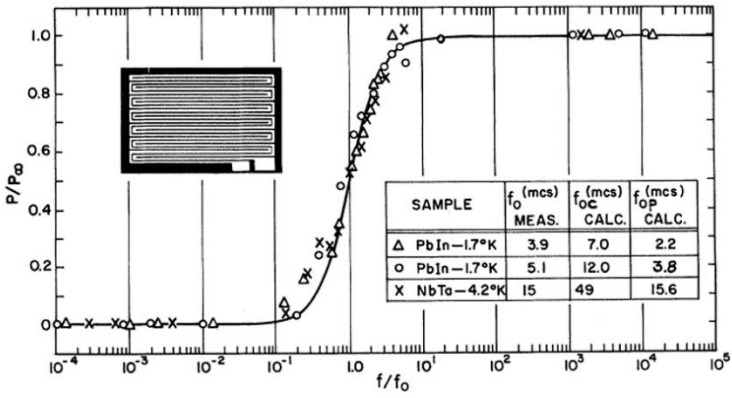
$$P=\frac{1}{2}\Re\left(J^{*}.E\right)=\frac{1}{2}\frac{J_0^2\omega^3\eta\phi_0 B}{\left(k_p-m\omega^2\right)^2-\eta^2\omega^2}\approx\frac{1}{2}\frac{J_0\phi_0 B}{\eta\left(1+\frac{\omega_0^2}{\omega^2}\right)} \tag{5}$$

Sürtünme kuvveti frekansla orantılı olduğundan, çok yüksek frekanslarda bu terim çivilenme kuvvetine ($\omega>>\omega_0$) baskın gelir ve girdap hareketi gelişmiş bir enerji kaybı meydana getirir. Hatta bu koşul altında aşağıdaki denklem elde edilir;

$$\rho=\frac{\phi_0 B}{\eta} \tag{6}$$

Bu denklem, DC akım taşıyan karışık durumdaki bir üstüniletkende elde edilen akı akışı direnci denklemi ile özdeştir. Diğer taraftan, $\omega<<\omega_0$ olduğunda öz direnç tamamen sanaldır ve meydana gelen enerji kaybı fark edilebilir değildir.

Çivilenmenin bozulduğu frekansı belirlemek için, Gittleman ve Rosenblum, çivilenme merkezlerine sahip karışık durumdaki birçok üstüniletkende farklı frekanslarda soğurma ölçümleri yapmışlardır. Oluşan mikrodalga akımın kritik akımdan çok daha küçük olduğu geleneksel üstüniletkenlerdeki bu deneyler, ω_0 'ın MHz aralığında değiştiğini göstermiştir. $\omega>\omega_0$ için, soğurulan güç, frekanstan bağımsız olup çivilenme merkezi olmayan ideal üstüniletkenler için hesaplanan değere eşittir. Gittleman - Rosenblum modeli akı sürüklenmesi etkilerini içermemesine rağmen deneysel sonuçlarla iyi bir uyum vermektedir.



Şekil 1: Frekansın bir fonksiyonu olarak alt kritik akımlar için karışık haldeki güç soğurması (Gittleman ve Rosenblum, 1966)

Çivilenmenin bozulduğu frekansın anlamı, yapılacak şöyle bir açıklama ile daha iyi anlaşılabilir: Bir çivilenme merkezinin çalışması bir potansiyel kuyusu ile temsil edilebilir; kuyu tabanındaki bir yer değiştirme girdap üzerinde net bir geri çağırıcı kuvveti vurgular. Oldukça düşük frekanslarda, akım tarafından uzun mesafelerde ilerleyecek girdaplar meydana getirilir ve böylece potansiyel kuyusu incelenebilir. Yeterince güçlü çivilenmenin ya da diğer girdaplarla etkileşmelerin olduğu bir durumda, girdapların hareket kabiliyeti serbest akış değerinden çok daha küçük olacaktır. Artan frekansla ve çivilenmenin bozulduğu frekansın üzerinde, titreşim genliği çivilenme potansiyelinin neredeyse etkisiz olduğu kadar büyük olacak ve bu durum girdap hareketinin tamamen saçıcı olması ile sonuçlanacaktır.

Coffey ve Clem (1991a, b, 1992a, b) tarafından önerilen model ise karışık durumdaki II. tip üstüniletkenlerde yüksek frekans kayıp problemi için uyumlu ve birleşik bir yaklaşım vermektedir. Gittleman- Rosenblum modelinin aksine, Coffey ve Clem modeli akı hareketine ilaveten normal ve üstüniletken akışkan yoğunluklarının manyetik alan bağlılığını da içerir. Aslında Meissner durumunda normal ve üstüniletkenlik elektronlarının konsantrasyonu sadece sıcaklığa bağlı iken, akı göbeklerinin katkısından dolayı karışık durumda normal akışkanın yoğunluğu artan manyetik alan ile artmaktadır. Bu katkı, enerji kayıpları için özellikle T_c 'ye ve/veya B_{c2} 'ye yakın bölgelerde önemli olabilir.

Normal elektron yoğunluğuna normal göbeklerin katkısı şu şekilde kolayca belirlenebilir. Manyetik alanın etkisi ile normal duruma geçen süper elektron kesri B/B_{c2} ile orantılıdır. Bir B manyetik indüksiyonu varlığındaki normal

ISBN: 978-625-6971-84-4

akışkan kesrinin ω*(B,T)* ile gösterilmesi, normal elektron konsantrasyonu aşağıdaki gibi elde edilmesini sağlar.

$$n_n(B,T) = n\omega(B,T) = n\omega(0,T) + n\left[1 - \omega(0,T)\right]\frac{B}{B_{c2}(T)} \tag{7}$$

Burada $\omega(0,T) \equiv \omega_0 = T/T_c$ 'dir.

London girme derinliğinin kullanılması ile $\lambda(B,T)$ için aşağıdaki denklemi elde ederiz.

$$\lambda(B,T) = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\left[1-\omega_0\right]\left[1-(B/B_{c2}(T))\right]}} \tag{8}$$

Benzer olarak, $\delta(B,T)$ şu şekilde verilir.

$$\delta(B,T) = \frac{\delta_0}{\sqrt{1-\left(1-\omega_0\right)\left(1-\left(B/B_{c2}(T)\right)\right)}} \tag{9}$$

Şimdi karışık durumda bulunan üstüniletkenin elektrodinamiği üzerine girdap hareketinin etkisini düşünelim. Hesaplamalarımızı, üstüniletken yüzeyine paralel $B_0 = \hat{z}B_0$ DC manyetik alanı ile $h(x,t) = \hat{z}B_1 e^{i(kx-\omega t)}$ denklemi ile verilen elektromanyetik bir alana maruz kalan izotropik bir üstüniletkenin yarısı olacak şekilde en basit geometri ile sınırlandıralım. (x≥ 0 'a yerleştirilmiş). Elektromanyetik dalganın frekansı, çift-bozma işlemini önlemek için enerji aralığından daha küçüktür (örneğin mikrodalga aralığında).

Coffey ve Clem teorisi iki basit kabul ile geliştirilmiştir: *i*) girdaplar arası mesafe alanın nüfuz derinliğinden çok daha küçüktür; *ii*) numune içerisinde tekdüze bir girdap dağılımı vardır. Birkaç girdap arası mesafeden daha büyük mesafeler üzerinden ortalaması alınmış yerel girdap manyetik alanı, bu kabullerle uzaysal olarak tekdüzedir. Yazar (Coffey ve Clem, 1992a) tarafından belirtildiği gibi ikinci yaklaşım numunenin manyetik geçmişini hesaplamalara katmaz iken, uygulanan dış manyetik alan $2H_{c1}$ den büyük olduğu zaman birinci yaklaşım geçerlidir. Ayrıca, elektromanyetik alanın şiddetinin lineer yaklaşımı kullanacak kadar küçük olduğu farz edilmiştir. Bu kabuller altında uygulanan alan alt kritik alan değerinden büyük olduğu durumlarda $\mu_0 H_a \approx B_a = n\Phi_0$ olur.

Elektromanyetik alan tarafından üstüniletken yüzeyinde oluşturulan AC akım ortalama Lorentz kuvveti ile girdapları titretir. Normal nüvelerin hareketinden kaynaklanan B 'deki yerel değişim, karmaşık girme derinliği $\tilde{\lambda}(\omega,B,T)$ ile karakterize edilen AC akım yoğunluğunda yeni bir dağılıma neden olur. $\tilde{\lambda}$, $\delta(B,T)$ ve $\lambda(B,T)$ cinsinden şu şekilde hesaplanır.

Girdapların varlığında ve birkaç akı çizgisi boyutunda, fakat λ'dan daha küçük olan mesafeler üzerinden $\hbar$ 'ın ortalamasını kabul ederek ikinci London denklemi şu şekilde yazılabilir:

$$\nabla\times J_s=-\frac{1}{\mu_0\lambda^2}\left(B-B_v\right) \tag{10}$$

Burada, $B_v= n\,(x,t)\ \Phi_0$ ve $n\,(x,t)$ üstüniletkenin girdap yoğunluğudur.

Üstüniletken yüzeyinde meydana gelen elektromanyetik akım Lorentz kuvveti ile girdaplar üzerine etki eder. Geçiş sıcaklığına yakın sıcaklıklarda ve mikrodalga frekanslarda, girdaplar Lorentz kuvveti ile orantılı olarak bir v hızı ile akışkansı bir ortamda hareket ederler.

$$v\left(x,t\right)=\mu_v\left(\omega,B,t\right)f_L\left(x,t\right)=\mu_v\left(\omega,B,t\right)J\times\phi_0 \tag{11}$$

Burada $\tilde{\mu}_v(\omega,B,T)$ dinamik mobilite ve f_L birim uzunluk başına Lorentz kuvvetidir.

Denklem 5 'e vektörel çarpım operatörü uygulanarak şu denklem elde edilir:

$$-\nabla B=\nabla\times J=\left(\nabla\times J_n+\nabla\times J_s\right) \tag{12}$$

ISBN: 978-625-6971-84-4

Denklem 12 'te $J_n = \sigma_n E$ bağıntısı ile Denklem 10 kullanılarak *genelleştirilmiş London difüzyon denklemi* denilen ifade elde edilir:

$$\nabla^2 B = \frac{2B}{\omega\mu_0\delta_n^2} + \frac{1}{\mu_0\lambda^2}\left(B - B_v\right) \tag{13}$$

$$\delta_n^2 = \frac{2}{\omega\mu_0\sigma_n} \tag{14}$$

Denklem 13, girdap yoğunluğunun yerel değişimini veren şu denklem ile ifade edilebilir:

$$B_v = B - \mu_0\lambda^2\nabla^2 B + \frac{2\lambda^2}{\omega\delta_n^2}\dot{B} \tag{15}$$

Girdapların hareketi $E_v = B \times v$ şeklinde bir elektrik alan üretir. Faraday kanununu kullanarak aşağıdaki bağıntı elde edilir:

$$\dot{B}_v = -\nabla \times \left(B_v \times v\right) \tag{16}$$

Denklem 13'ün zamana göre türevinde Denklem 16 kullanılırsa,

$$\nabla^2 \dot{B} = \frac{\dot{B}}{\mu_0\lambda^2} + \frac{1}{\mu_0\lambda^2}\nabla \times \left(B_v \times v\right) + \frac{2\dot{B}}{\omega\delta_n^2} \tag{17}$$

elde edilir. Bu ifade Denklem 15 ile birleştirilirse,

$$\mu_0\lambda^2\nabla^2 B - \frac{2\mu_0\lambda^2\dot{B}}{\omega\delta_n^2} - B = \phi_0\mu_i\nabla \times \left\{\left(B - \mu_0\lambda^2\nabla^2 B + \frac{2\lambda^2\dot{B}}{\omega\delta_n^2}\right) \times \left[\left(\nabla \times B\right) \times \hat{B}_0\right]\right\} \tag{18}$$

sonucuna ulaşılır. Burada denklemin sol tarafı sadece lineer terimleri içerir.

Eğer $\vec{B}=\hat{z}B(x,t)$ ise bir önceki bağıntı şu şekilde olacaktır.

$$\mu_0\lambda^2\partial_{xx}\vec{B}-\frac{2\mu_0\lambda^2}{\omega\delta_n^2}\vec{B}-\vec{B}=\phi_0\tau_v\partial_x\left[\left(\vec{B}-\lambda^2\partial_{xx}\vec{B}+\frac{2\mu_0\lambda^2}{\omega\delta_n^2}\vec{B}\right)\partial_x\vec{B}\right] \quad (19)$$

Burada, $\partial x = \partial / \partial x$ 'dir.

$B_1 << B_0$ için geçerli olan lineer yaklaşımda, $B_v = B_0$ 'dır. Denklem 19 için B_0'ın tüm üstüniletkende tekdüze olduğu aşağıdaki gibi bir çözüm aranır.

$$B(x,t)=B_0+B_1e^{-x/\lambda}e^{i\omega t} \quad (20)$$

Bu seçim vasıtasıyla, Denklem 19 aşağıdaki forma indirgenir.

$$\mu_0\lambda^2\partial_{xx}B_1-\frac{2\mu_0\lambda^2}{\omega\delta_n^2}B_1=\phi_0\tau_vB_0\partial_{xx}B_1-B_1=\frac{1}{2}\omega\delta_v^2\partial_{xx}B_1 \quad (21)$$

Burada, $\tilde{\delta}_v$ aşağıdaki gibidir.

$$\tilde{\delta}_v^2(\omega,B,T)=\frac{2B_0\phi_0\tau_v}{\omega\mu_0} \quad (22)$$

Denklem 21 'in çözümü lineer rejimde karmaşık nüfuz derinliğini verir:

$$\tilde{\lambda}(\omega,B,T)=\sqrt{\frac{\lambda^2(B,T)+(i/2)\delta_v^2(\omega,B,T)}{1-2i\lambda^2(B,T)/\delta^2(\omega,B,T)}} \quad (23)$$

Burada, $\lambda(B,T)$ ve $\delta(B,T)$ sıcaklığa ve manyetik alana bağlıdırlar.

Girdapların hareketinden kaynaklanan karmaşık deri kalınlığı, $\tilde{\delta}_v$, geri çağırıcı çivilenme kuvveti ile akışkansı kuvvetin izafi büyüklüğüne bağlıdır. $\tilde{\delta}_v$, sırasıyla akışkansı ve geri çağırıcı kuvvetin katkılarından gelen δ_f ile λ_c karakteristik uzunluklar cinsinden yazılabilir.

ISBN: 978-625-6971-84-4

$$\frac{1}{\delta_0^2} = \frac{i}{\lambda_c^2} + \frac{1}{\delta_f^2} \tag{24}$$

Burada λ_c ve δ_f , potansiyel kuyusunun geri çağırıcı kuvvet sabiti k_p, akışkansı sürüklenme katsayısı, η ve ϕ_0 akı kuantumu cinsinden şu şekilde verilmektedirler.

$$\lambda_c^2 = \frac{B\phi_0}{\mu_0 k_p} \tag{25}$$

$$\delta_f^2 = \frac{2B\phi_0}{\mu_0 \omega \eta} \tag{26}$$

Denklem 24'daki iki terimin etkinliği çivilenmenin bozulduğu frekansı tanımlayan, $\omega_0 = k_p / \eta$ oranına bağlıdır. ω_0 aracılığı ile Denklem 24 aşağıdaki gibi olur.

$$\frac{1}{\delta_0^2} = \frac{1}{\delta_f^2}\left(1 + i\frac{\omega_0}{\omega}\right) \tag{26}$$

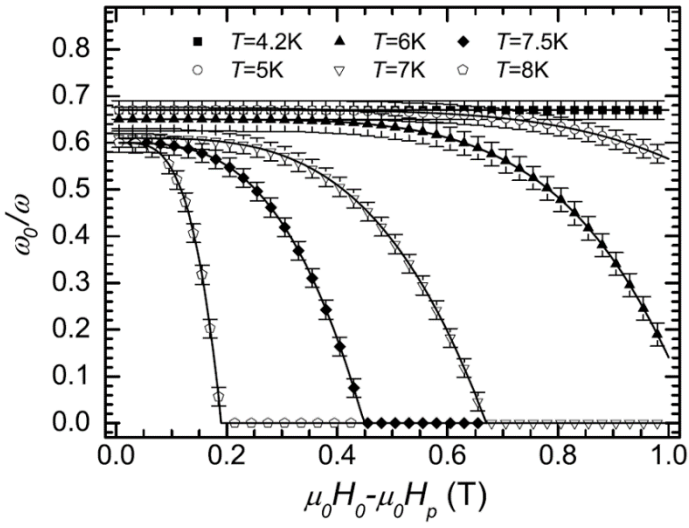
Elektromanyetik dalganın frekansı, ω, ω_0 'dan çok daha küçük olduğu zaman girdap hareketi geri çağırıcı çivilenme kuvveti ile kontrol edilir. Buna karşın $\omega >> \omega_0$, için girdap hareketi çivilenme potansiyel kuyusunun minimumu etrafında meydana gelir ve bundan dolayı geri çağırıcı çivilenme kuvveti neredeyse etkisizdir. Böylece akışkansı sürüklenme kuvvetinin katkısı üstün olur ve meydana gelen elektromanyetik akım, girdapları akı akışı rejiminde hareket ettirir. Bu durumda, alanın meydana getirdiği enerji kayıplarında artış beklenir. Çivilenmenin bozulduğu frekans ölçümleri geleneksel (Gittleman ve Rosenblum, 1966; Golosovsky vd., 1994) ve yüksek sıcaklık üstüniletkenleri (Owliaei vd., 1992; Golosovsky vd., 1994; Fricano vd., 2004; Bonura vd., 2008) üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık geçiş sıcaklığından yeteri kadar düşük olduğunda ve uygulanan alan üst kritik alandan yeterince düşük olduğunda oksitli üstüniletkenler için çivilenmenin bozulduğu frekans en yüksek 10 GHz olarak bulunurken geleneksel üstüniletkenler için bu değer MHz mertebesindedir.

Karışık durumdaki bir üstüniletken için girdapların varlığı ve hareketi ilave saçılmalar meydana getirir. Yüzey empedansı için denklem basitçe aşağıdaki gibidir.

$$Z_s = -i\omega\mu_0\hat{\lambda} \tag{27}$$

Böylece $\hat{\lambda}$nin reel kısmı yüzey reaktansını belirlerken sanal kısmı yüzey direncini belirler.

Girdap hareketinden kaynaklanan saçılmalar elektromanyetik alanın frekansı, ω, ile çivilenmenin bozulduğu frekansın, ω_0, izafi büyüklüğüne bağlıdır. $\omega << \omega_0$, olduğunda girdapların hareketi geri çağırıcı kuvvet tarafından engellenir ve böylece saçılmalar küçük kalır. Buna karşın, $\omega >> \omega_0$ durumu için akışkansı sürüklenme kuvvetinin katkısı baskın olup, meydana gelen elektromanyetik akım girdapların akı akışı rejiminde hareket etmesine neden olur ki bu durumda girdap hareketi oldukça saçıcıdır. ω_0, üstüniletken malzemeler için karakteristik bir parametredir ve değeri sıcaklığa ve manyetik alana bağlıdır (Golosovsky vd., 1994; Fricano vd., 2004; Janjusevic vd., 2006; Bonura vd., 2008).



Şekil 2: Çivilenmeden kurtulma frekansının manyetik alana bağlılığı (Bonura vd., 2008)

ω_0 'ın alan bağlılığı, iki farklı girdap çivilenmesi rejimi ile tanımlanır: *bireysel çivilenme* ve *toplu çivilenme*. Bireysel çivilenme sadece birkaç girdabın ve birçok çivilenme merkezinin olduğu düşük sıcaklıklarda gerçekleşir ki bu rejimde ω_0'ın alandan bağımsız olduğu kabul edilir. Toplu çivilenme ise girdap yoğunluğunun fazla olduğu ancak yeterli çivilenme merkezinin olmadığı daha yüksek alanlarda

ISBN: 978-625-6971-84-4

gerçekleşir ki bu durumda ω_0'ın değeri küçüktür ve alana bağlıdır (Bonura vd., 2008).

Şekil 2, ışımaya maruz bırakılmış MgB_2 üstüniletkeni için ω_0'ın farklı sıcaklıklardaki alan bağlılığını göstermektedir (Bonura vd., 2008). Yine Şekil 2'ye bakılırsa sıcaklık $T=T_c/2$ ve daha düşük olduğu durumlarda ölçüm yapılan bütün alan aralığı boyunca ω_0'ın sabit kalarak alan bağlılığı göstermediği ve bu alan aralığında bireysel çivilenmenin gerçekleştiği görülebilir. Manyetik alan arttırıldığında çivilenme çok ama çok az etkili olacak ve sonuç olarak ω_0 değeri oldukça küçük kalacaktır. Sıcaklığa bağlı olarak yeterince yüksek manyetik alan değerlerinde $\omega / \omega_0 << 1$ olur.

Bonura vd. (2006a, 2006b) tarafından önerilen ve II. tip üstüniletkenlerin R_s eğrilerinin kritik haldeki özelliklerinin nicelik bakımından incelenmesine imkan sağlayan model, Coffey ve Clem (1991a, b, 1992a, b) teorisi temel alınarak elde edilmiş ve Coffey ve Clem teorisinden farklı olarak girdap örgüsünde kritik halin neden olduğu düzensiz alan dağılımının hesaba katılmasına olanak sağlamıştır.

Coffey ve Clem modeli, normal akışkanın varlığı ile girdapların hareketini dikkate alarak karışık durumdaki II. tip üstüniletkenlerin AC kayıpları için tutarlı ve standart bir yaklaşım sunar. Coffey ve Clem, teorilerini iki basit yaklaşım altında geliştirmişlerdir:

i) Girdaplar arası mesafe alanın girme derinliğinden çok daha küçüktür

ii) Numunede tekdüze bir girdap dağılımı söz konusudur

Bu kabullerle, girdap örgüsü numune içerisinde tekdüze olan bir B manyetik indüksiyon verir. Bu yaklaşım $H_a > 2H_{c1}$ için geçerlidir.

London yerel limitlerinde kompleks nüfuz derinliği $\tilde{\lambda}$nın sanal kısmı ile verilen yüzey direnci aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$R_S = -\mu_0 \omega \mathrm{Im}[\tilde{\lambda}(\omega, B, T)] \qquad (28)$$

II. tip üstüniletkenlerde $\tilde{\lambda}$nın genel davranışı ilk kez Coffey ve Clem (1991a, b, 1992a, b) tarafından incelenmiştir. Bu incelemelerde kompleks nüfuz derinliği $\tilde{\lambda}$ için öne sürülen basit denklem şudur.

$$\tilde{\lambda}(\omega,B,T)=\sqrt{\frac{\lambda^2(B,T)+(i/2)\tilde{\delta}_v^2(\omega,B,T)}{1-2i\lambda^2(B,T)/\tilde{\delta}_v^2(\omega,B,T)}} \tag{29}$$

Denklem 29 'daki bazı parametreler de şu şekilde tanımlanmıştır:

$$\lambda(B,T)=\frac{\lambda_0}{\sqrt{[1-(T/T_c)^4][1-(B/B_{c2}(T))]}}, \tag{30}$$

$$\delta_{nf}(\omega,B,T)=\frac{\delta_0}{\sqrt{1-[1-(T/T_c)^4][1-(B/B_{c2}(T))]}} \tag{31}$$

Burada λ_0, $T=0$ daki London nüfuz derinliği ve δ_0, $T=T_c$ 'deki normal-akı nüfuz derinliğidir. Girdapların hareketinden kaynaklanan etkin karmaşık deri kalınlığı, $\tilde{\delta}_v$, geri çağırıcı çivilenme kuvveti ile akışkansı kuvvetin izafi büyüklüğüne bağlıdır.

Karışık durumda bulunan II. tip üstüniletkende enerji kayıpları genellikle, girdaplar ve onların hareketlerinden kaynaklanmaktadır. Sıcaklık kritik sıcaklıktan yeterince düşük ise çivilenme etkileri baskındır ve saçılmalar temel olarak girdapların hareketlerinden dolayıdır. Bu durumda yüzey direnci R_s 'ye esas katkı, girdapların mikro dalga akımdan dolayı Lorentz kuvvetini hissettikleri yani $H_a \times J_\omega \neq 0$ olan numune bölgelerinden gelir.

R_s eğrilerine tekdüze olmayan girdap dağılımının etkileri R_s'nin uygun bir ortalaması alınarak hesaplamalara dahil edilebilir. Gerçekten de, numune yüzeyi her bir bölgede $B(x)$'in tekdüze olduğu sonsuz küçük bölgelere ayrılabilir. Yüzeyin her bir parçası farklı yerel manyetik indüksiyondan dolayı farklı bir R_s değeri ile karakterize edilir ve tüm numunedeki enerji kayıpları her bir bölgeden yüzey direncine gelen katkı ile belirlenir. Hesaplanan yüzey direnci tüm numune üzerinden bir ortalamadır:

$$R_s=\frac{1}{S}\int_{\Sigma} R_s(|B(x)|)dS \tag{32}$$

Burada Σ numune yüzeyi, S onun alanı ve x yüzey elemanını temsil etmektedir.

ISBN: 978-625-6971-84-4

2.4 Comsol Multiphysics Çözümlemesi

2.4.1 Başlangıç sabitlerinin girilmesi

Bu alt başlık altında, benzeşim için gerekli alt bölge (subdomain) boyutları, malzemenin kritik akım yoğunluğu, manyetik potansiyeli ölçekleyecek parametre, uygulanacak alan değeri vs. parametrelerin Comsol Multiphysics programına girilmesini kapsamaktadır. Benzeşimde kullanılacak bazı üstüniletkenlik parametrelerinin uygulanan geometriye göre girilmesi son derece önemlidir. Örneğin uygulayacağımız akım değeri üstüniletkenin kritik akım yoğunluğundan küçük olmalıdır. Bir diğer kritik parametre ise manyetik potansiyeli ölçeklendirme parametresi A_n. Bu fonksiyonun biçimi $y=\tanh(x/A_n)$ şeklindedir.

2.4.2 İncelenecek geometrinin çizilmesi

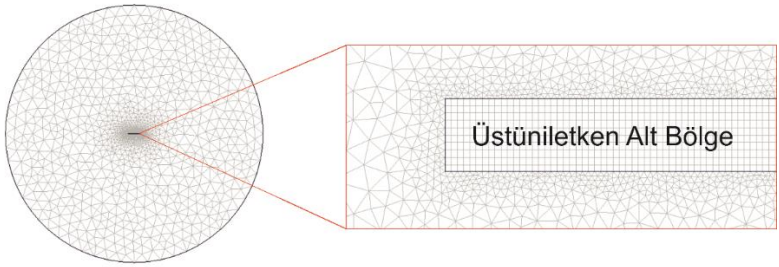
Comsol Multiphysics programında incelenecek geometri ile ilgili tanımlanan sabitlere uygun olarak üstüniletken alt bölge (subdomain) geometrisi ve bu geometriyi kapsayan uzay (boşluk) alt bölgesi çizilir.

2.4.3 Alt Bölge (Subdomain) ayarları

Üstüniletken malzemelere ait karakteristik parametrelerin ve denklemlerin tanımlanacağı kısım burasıdır. Burada üstüniletkenlerin doğrusal olmayan davranışını betimleyen denklemler tanımlanır. Her özel durum için özel denklem tanımlamak gerekebilir yada deneyde alınan sonuçlarda başka parametreleri belirmek için yine alt bölge ayarları olarak girilebilir.

2.4.4 Örgüleme (Meshing) işleminin yapılması

Hesaplamanın hassasiyetini direkt olarak etkileyen en önemli basamak olduğundan dolayı çözümü yapılacak bölgenin örgülemesinin iyi yapılması gerekmektedir. Buradaki en önemli sorunlardan biri hesap yapılacak geometri ince film olarak düşünüldüğünde, *en/boy* oranlarının çok yüksek olmasıdır. Hesaplamalarımızda genellikle üçgensel örgüleme mekanizması kullandık. Örgü eleman sayısı düşük *en/boy* oranı için (hacimsel numuneler) 50000 ile 70000 aralığında, yüksek *en/boy* oranı için (filmler) 100000 ile 150000 aralığında değişmektedir. Dörtgen numune geometrileri için üstüniletken alt bölgede dörtgen örgüleme mekanizması basitlik için tercih edilmiştir. Hesaplamanın yapıldığı diğer bölgelerde gelişmiş üçgensel örgüleme kullanılmıştır.



Şekil 3. Örgüleme örneği: üstüniletken alt bölge dörtgen örgü elemanları ile, geri kalan bölge ise üçgensel örgü elemanları ile örgülenmiştir.

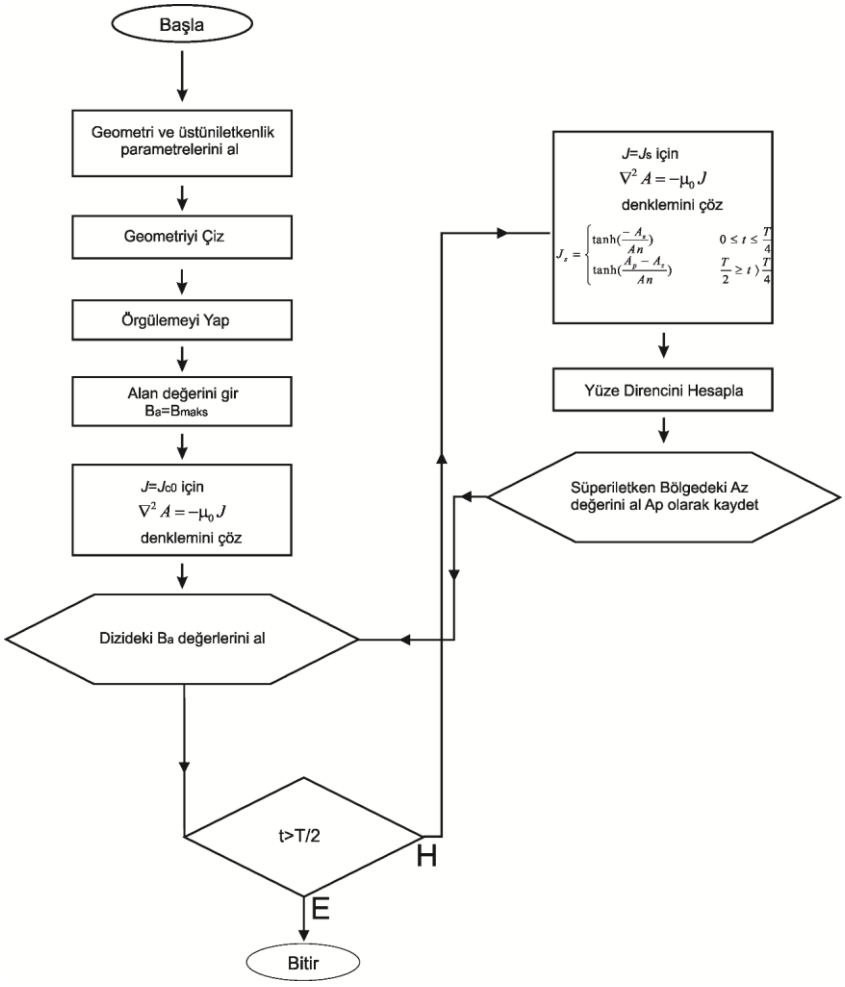
2.4.5. Uygun çözümleyicinin (Solver) seçimi ve problemin çözümü

Problemin en son ayağında problemi çözecek çözücünün seçilmesi gerekir. Buradaki en önemli kıstas ya da akılda tutulması gereken nokta problemimizin doğrusal olmayışıdır. Bu projede doğrusal olmayan "yüksek dereceden lineer olmayan" (highly nonlinear) bir çözümleyici seçilmiştir. Bu çözümleyici UMFPACK olarak adlandırılmaktadır (Davis, 2004). Opsiyon olarak da, sönümlü Newton (damped Newton) veya yüksek dereceden lineer olmayan problem (Highly Nonlinear Problem) özellikleri seçilmiştir. Maksimum yineleme (iterations) için 250 alınmıştır.

2.5 Hesaplamalar

Tek bir sıcaklık ya da alan için Comsol Multiphysics ile çözülen problem Matlab paket programında yazılacak kodlarla sıcaklık veya alanın belli bir periyotta değiştiği durumlara genelleştirilmiştir. Burada izlenen yolun algoritması Şekil 4 'de gösterildiği gibidir.

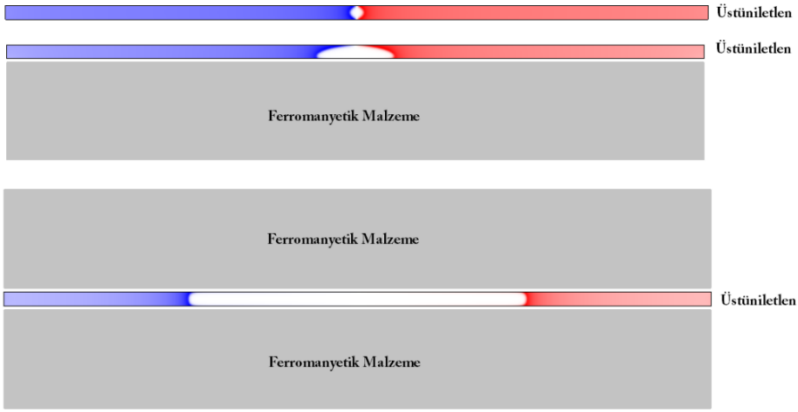
ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 4: Geliştirilen yöntemle yapılan hesaplamalarda izlenen yolun algoritması.

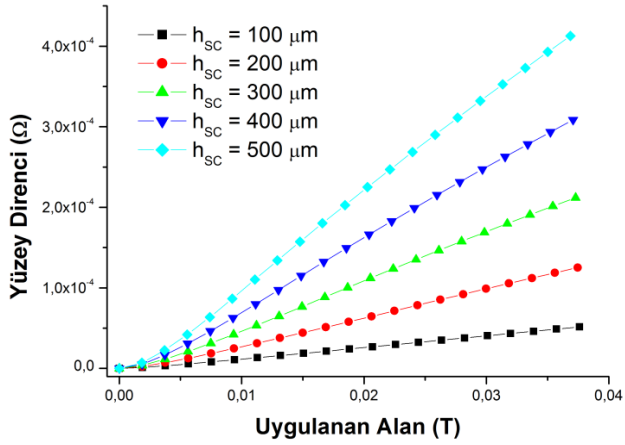
Ferromanyetik-Üstüniletken-Ferromanyetik Yapı için Hesaplamalar

Üstüniletken ile ferromanyetik yapılar göz önüne alındığında bir diğer geometrik kombinasyon F-Ü-F yapıdır. Bu yapı ile ilgili yapılan hesaplamalara bakıldığında Şekil 5 uygulanan alan altında üstüniletken içerisinde meydana gelen akım dağılımı diğer ferromanyetik malzemeli konfigürasyonlar da dikkate alınarak gösterilmektedir.



Şekil 5: Üstüniletken ferromanyetik yapılarda yaklaşık aynı alan değeri için indüklenen akım dağılımı

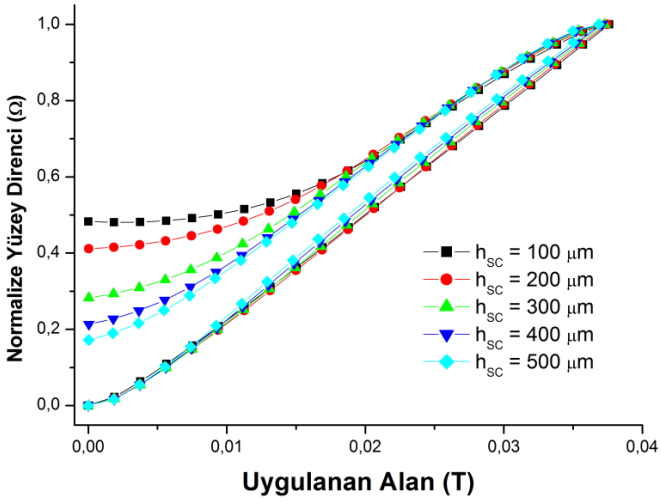
Şekilden de görüldüğü gibi ferromanyetik malzeme alanı baskılayarak üstün iletken merkezine ulaşmasını güçleştirmektedir. Elde edilen bulgular, litaratürde Comsol Multiphysics paket programı kullanılarak elde edilen ferromanyetik altlık içeren AC kayıp hesaplamaları ile uyum içerisindedir. Şekil 6'da ise bu yapı için yapılan hesaplamalar sunulmaktadır.



Şekil 6: F-Ü-F yapı için mikrodalga yüzey direnci hesaplamaları. Benzeşimde kullanılan parametreler şöyledir: I_c=100 A, A_n=1*10^{-8}, R_{uzay}=15*w_{SC}, ω_c/ω=1, T/T_c=0.5, λ_0/δ_0 =0.02, B_{c20}=130*B_y, B_0=0.0032, w_{SC}=5 mm, h_{FM}=7*h_{SC}, μ_r=2000, h_{SC}=100, 200, 300, 400, 500 μm.

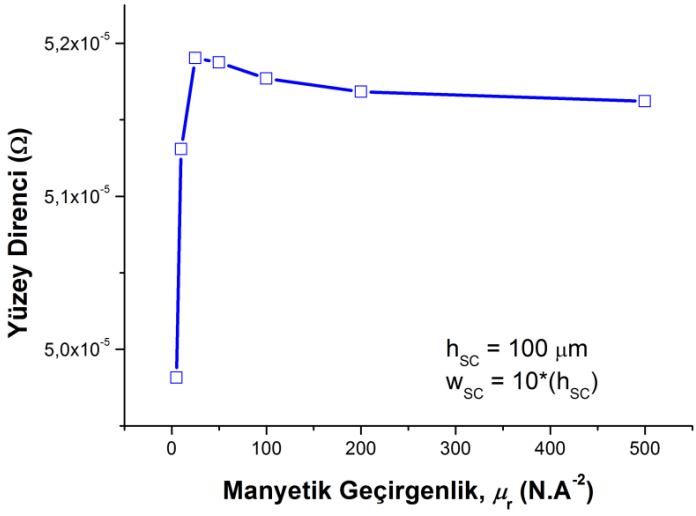
ISBN: 978-625-6971-84-4

Şekilden de görüldüğü gibi kalınlıkla lineer bir artış söz konusudur. Yapılan hesaplamalardan elde edilen histerisizleri birlikte inceleyebilmek adına veriler normalize edilerek Şekil 7'de verilmiştir. Şekilden kalınlığın artması ile histeresis alanında bir daralma meydana geldiği görülmektedir. Bu durum, üstüniletken kalınlığı artması ve ferromanyetik malzemenin varlığının akı çizgilerinin daha iyi çivilenmesine neden olduğunu göstermektedir.



Şekil 7: Histerezis alanının kalınlıkla değişiminin gösterimi. Benzeşimde kullanılan parametreler şöyledir: I_c=100 A, A_n=1*10^{-8}, R_{uzay}=15*w_{SC}, ω_c/ω=1, T/T_c=0.5, λ_0/δ_0 =0.02, B_{c20}=130*B_y, B_0=0.0032, w_{SC}=5 mm, h_{FM}=7*h_{SC}, μ_r=2000, h_{SC}=100, 200, 300, 400, 500 μm.

Bir diğer hesaplama ise bağıl manyetik geçirgenlik değerleri değiştirilerek yapılmıştır (Şekil 8). Şekil içerisinde bağıl manyetik geçirgenliğin değeri ile yüzey direnci arasındaki ilişki ortaya konulmuştur. Bu ilginç sonuca göre artan bağıl manyetik geçirgenlik değerlerinde yüzey direnci ilk başlarda küçük kalırken sonrasında bir pik yapmakta ve azalarak bir platoya ulaşmaktadır. Yüzey direncindeki önce düşük bir değerle başlayıp pik yaparak sonrasında düşüşe ve sonuç olarak bir plato değerine düşme olarak kendini gösteren bu ilginç sonucun, iki ferromanyetik malzemenin alanı baskılamadaki etkilerinin ilk başlarda çok etkin olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



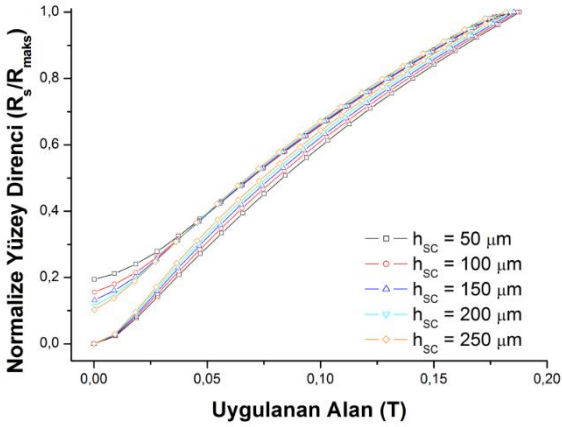
Şekil 8: Bağıl manyetik geçirgenliğin yüzey direncine etkisi. Benzeşimde kullanılan parametreler şöyledir: I_c=100 A, A_n=1*10^{-8}, R_{uzay}=15*w_{SC}, ω_c/ω=1, T/T_c=0.5, λ_0/δ_0 =0.02, B_{c20}=130*B_y, B_0=0.032, h_{SC}=100 μm, w_{SC}=5 mm, h_{FM}=7*h_{SC}, μ_r=1, 5, 10, 50, 100, 200, 500.

3.4.2 Üstüniletken - Ferromanyetik - Üstüniletken Yapı için Hesaplamalar

Üstüniletken ile ferromanyetik yapılar göz önüne alındığında bir diğer geometrik kombinasyon Ü-F-Ü yapıdır. Bu yapılar için yapılan hesaplamalar Şekil 9'da sunulmuştur.

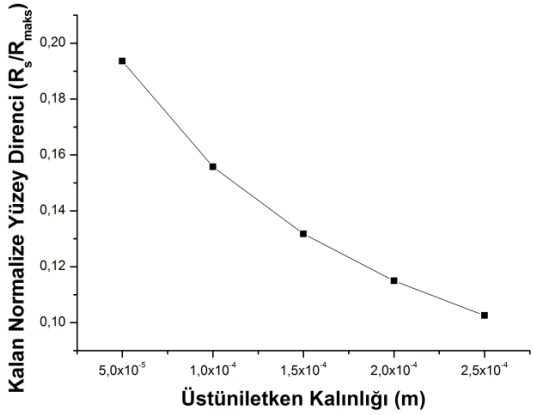
Şekil, üstüniletkenin kalınlığı arttıkça histerezisin alanı azalmakta olduğunu bu da ferromanyetik malzeme ile kaplamanın histerezis kayıpları açısından iyi sonuç verdiğini göstermektedir.

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 9: Ü-F-Ü yapı için kalınlığa bağlı hesaplamalar. Benzeşimde kullanılan parametreler şöyledir: I_c=100 A, A_n=1*10^{-8}, R_{uzay}=15*w_{SC}, ω_c/ω=1, T/T_c=0.5, λ_0/δ_0 =0.02, B_{c20}=130*B_y, B_0=0.0032, w_{SC}=1 mm, h_{FM}=7*h_{SC}, μ_r=2000, h_{SC}=50, 100, 150, 200, 250 μm.

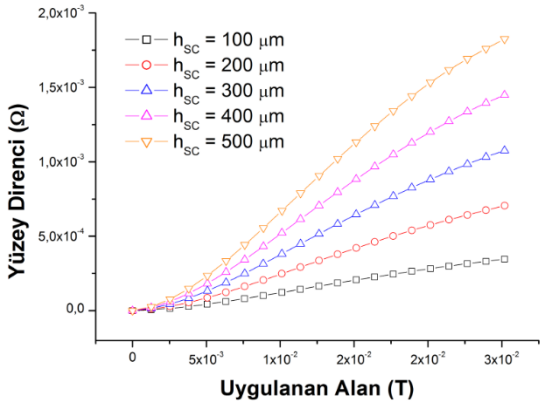
Histerezis alanının kalınlıkla azaldığından bir önceki şekilde bahsedilmişti. Şekil 10 'da bu durum daha açık bir şekilde ortaya konulmaktadır. Yüzey direncinin kalan değeri üzerinden oluşturulan bu grafik Ü-F-Ü yapıda kalınlıkla histerezis alanında iyileşme olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 10: Ü-F-Ü yapıda meydana gelen kalan yüzey direnci değerinin kalınlıkla değişimi. Benzeşimde kullanılan parametreler şöyledir: I_c=100 A, A_n=1*10^{-8}, R_{uzay}=15*w_{SC}, ω_c/ω=1, T/T_c=0.5, λ_0/δ_0 =0.02, B_{c20}=130*B_y, B_0=0.0032, w_{SC}=1 mm, h_{FM}=7*h_{SC}, μ_r=2000, h_{SC}=50, 100, 150, 200, 250 μm.

3.4.3 Üstüniletken Üçlü Yapı için Yapılan Hesaplamalar

Üstüniletken üçlü yapılar için pasif mikrodalga cihaz uygulamalarının başında mikro şerit band geçiren filtrelerdir. Bu alt bölümün başında da bahsedildiği gibi bu filtre yapıları birden fazla elemanı aynı anda içermektedir. Bu alt başlık altında üç üstüniletkenden oluşan yapı için hesaplamalar yapılmıştır. Aşağıdaki şekil bu hesaplamaların sonucunu göstermektedir.

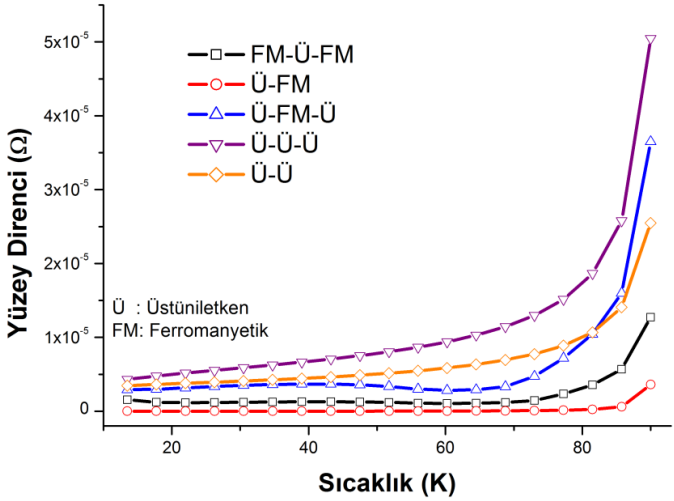


Şekil 11: Üç üstüniletkenden oluşan yapıda meydana gelen yüzey direnci. Benzeşimde kullanılan parametreler şöyledir: I_c=100 A, A_n=1*10^{-8}, R_{uzay}=15*w_{SC}, ω_c/ω=1, T/T_c=0.5, λ_0/δ_0 =0.002, B_{c20}=50*B_y, B_0=0.0032, w_{SC}=5 mm, h_{FM}=7*h_{SC}, μ_r=2000, h_{SC}=100, 200, 300, 400, 500 μm.

3.4.4 Üçlü Yapılarda Sıcaklığa Bağlı Hesaplamalar

İkili ve üçlü yapılarda yukarıda yapılan alana bağlı hesaplamalar için sıcaklığa bağlı hesaplamalar bu başlık altında yapılmıştır. Hesaplamalardan elde edilen bulgular Şekil 12'de verilmiştir.

ISBN: 978-625-6971-84-4

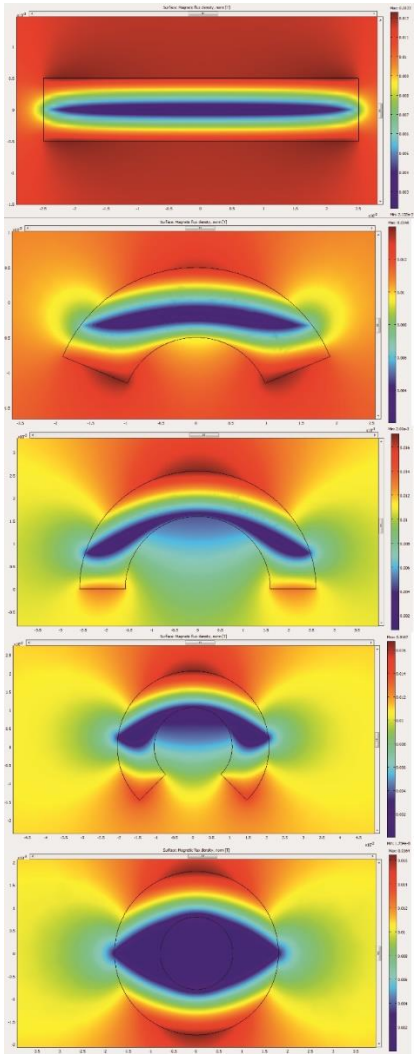


Şekil 12: Üstüniletkenlerin kalınlıkları toplamda eşit olacak şekilde ayarlanarak yapılan sıcaklığa bağlı hesaplamalar

Şekil 12'ye bakıldığında hesaplamalar için en düşük yüzey direnci değerini Ü-F yapıya sahip geometri vermektedir. En yüksek değer ise üç üstüniletkenden oluşan yapıda gözlenmiştir. Ü-F-Ü yapı başlangıçta daha yüksek bir yüzey direnci değerine sahip iken sıcaklığın azalması ile Ü-Ü yapıya göre daha hızlı düşerek daha farklı bir değişim ortaya koymaktadır.

3.5 Şerit Yapıdan Halka Yapıya Dönüşüm için Yapılan Hesaplamalar

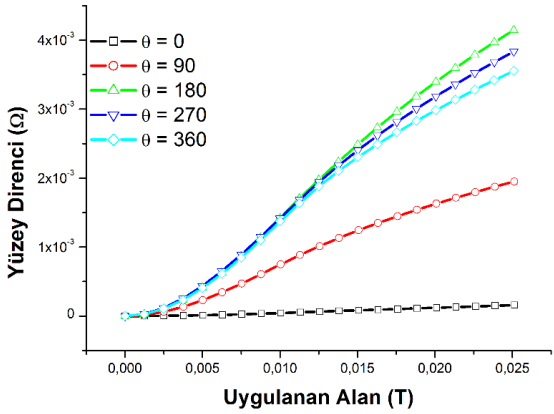
Şerit yapı ile halka yapının kıyaslanması açısından bakıldığında şerit yapıdan halka yapıya bir merkez açı altında bükülerek ulaşmak oldukça elverişli olacaktır (Mawatari, 2009). Şekil 13 böyle bir bükümü ve herbir açı değerinde meydana gelen akı dağılımını göstermektedir.



Şekil 13: Dörtgen yapıdan Halka yapıya büküm ve her bir durum için akı dağılımı. Yukarıdan aşağıya doğru merkezi açı θ=0, 90, 180, 270, ve 360 derecedir.

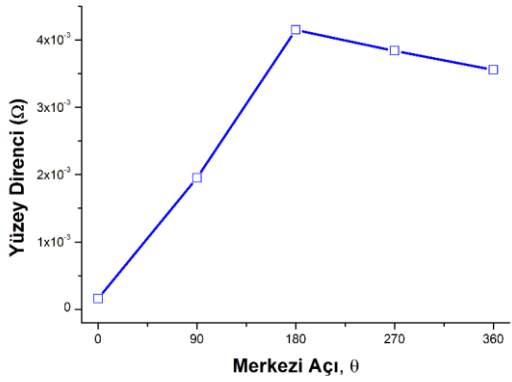
Böylesi bir yapı için yapılacak hesaplamalarda kıyaslamanın doğru sonucu verebilmesi için üstüniletkenlerin mümkün olduğu kadar boysal olarak eşit olmalarını sağlamak gerekmektedir. Bu doğrultuda başlangıçtaki dörtgenin boyu her bir merkezi açı altındaki geometri ile eşit olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu doğrultuda yapılan hesaplamalardan elde edilen bulgular Şekil 14 'de verilmektedir.

ISBN: 978-625-6971-84-4



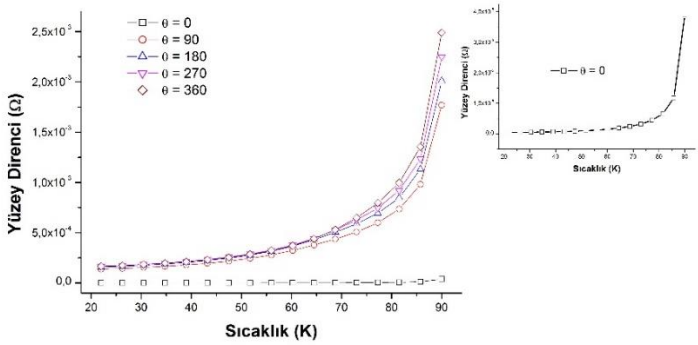
Şekil 14: Değişik merkezi açı altında alana bağlı olarak meydana gelen yüzey direnci. Benzeşimde kullanılan parametreler şöyledir: I_c=100 A, A_n=1*10^{-9}, R_{u-zay}=15*R_d, ω_c/ω=1, T/T_c=0.5, λ_0/δ_0 =0.02, B_{c20}=10*B_y, B_0=0.032, h_{SC}=100 μm, w_{SC}=5 mm, θ=0 (Şerit), 90, 180, 270 ve 360 (Halka) derece.

Şekildeki durumu daha açık ortaya koymak adına oluşturulan Şekil 15 'den de görüldüğü gibi merkezi açı arttıkça ilk başta yüzey direnci artarken θ=180 dereceden (yarım halka) sonra yüzey direnci düşmektedir. Bu durum, Şekil 13 'e bakarak anlaşılabilir. Şekilden de görüldüğü gibi dörtgen yapı bükülmeye başladığında akının giremediği bölge olan mavi bölge θ=180 dereceye kadar azalmakta sonrasında tekrar artmaktadır. Akı nüfuzu ile doğrudan ilişkili olan yüzey direncindeki ilk artış ve sonrasındaki azalma bu durumun bir sonucudur.



Şekil 15: Merkezi açı ile yüzey direncinin maksimum alandaki değerinin değişimi

Dörtgen yapıdan halka yapıya dönüşümün sıcaklığa bağlılığı ise Şekil 16'da verilmektedir. Şekilden görüldüğü üzere dörtgen yapı ile diğerleri arasında değer olarak büyük fark bulunmaktadır. $\theta = 0$ derece için ana grafikte değişim gözlenemediğinden iç şekilde ayrıntı verilmiştir.



Şekil 16: Dörtgenden halkaya dönüşümün sıcaklığa bağlılığı. Benzeşimde kullanılan parametreler şöyledir: I_c=75A, A_n=1*10^{-9}, R_{uzay}=20*w_{SC}, ω_c/ω=1, T_c=92 K, T_{irr}=90 K, T_{c1}=0.01*T_c, λ_0/δ_0=0.02, B_{c10}=0.1*B_y, w_{SC}=5*h_{SC}, f=0.1, h_{SC}=10^{-4} m.

Sonuç

Kitabın bu bölümünde pasif mikrodalga devre elamanı olarak kullanılabilecek üstüniletken yapıların mikrodalga yüzey direnci analizini yapabilecek pratik bir yöntem irdelenmiştir. Yöntem sayesinde tekrarlanabilir şekilde sıcaklık ve manyetik alan benzeşimlerini yaparak yüzey direncini hesaplayacak Comsol-Matlab kodları yazılmıştır.

Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak mikrodalga yüzey direncini sayısal olarak hesaplayacak bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen sayısal yöntem, analitik yöntemlerden elde edilen sonuçlarla uyum içerisinde olup yöntemin uygulanması son derece basittir (yöntemi uygulamak için çok derin matematik bilgisine gerek yoktur) ve istenilen kritik akım yoğunluğunun alan bağlılığı denklemi kullanılabilir.

Sunulan yöntem geometrik bağımlılıkları ortadan kaldırdığı için hem mikrodalga yüzey direncinin net bir sayısal sonucunu vermektedir hem de deneysel öngörüler için kullanılabilecek kadar hassastır. Yöntemin en özgün yönlerinden birisi olan bu geometrik bağlılıkların kaldırılması pasif mikrodalga devre elamanı olarak kullanılabilecek üstüniletken yapıları belirlemede etkili bir şekilde kullanılabilecektir.

Daha ileri okumalar için deneysel doğrulamaların yapıldığı bu kitap bölümünün ön çalışmaları da literatürde mevcut parametrelere uygun olarak II. tip üstüniletkenlerden YBa2Cu3O7-x üstüniletkeni için yapılmıştır (Yıldız, 2015). Ancak yöntem, diğer üstüniletkenlere de uygulanabilirdir. J_{c0}, B_{c20}, λ_0/δ_0 vb. üstüniletkenlik parametreleri değiştirilerek istenilen özellikteki üstüniletkenin mikrodalga yüzey direnci, yani pasif mikrodalga devre elamanı olabilme özelliği incelenmiş olacaktır.

F-Ü-F yapı için yapılan mikrodalga yüzey direnci hesaplamalarında ferromanyetik malzemenin alanı baskılayarak üstüniletkenin merkezine ulaşmasını güçleştirdiği buna karşın alanla birlikte kendiside bir manyetik alan kaynağı gibi davranıp ekstra kayıplara neden olduğu görülmüştür. Üstüniletken kalınlığına göre yapılan hesaplamalarda yüzey direncinde lineer bir artış olduğu ancak histerezis alanında kalınlıkla azalma olduğu bulunmuştur. Histerezis alanını incelemek adına normalizasyon işlemi yapılmıştır.

F-Ü-F yapılarda bağıl manyetik geçirgenliğin yüzey direnci üzerine etkisine bakıldığında, artan bağıl manyetik geçirgenlik değerlerinde yüzey direnci ilk başlarda küçük kalırken sonrasında bir pik yaptığı sonrasında azalarak bir platoya ulaştığı görülmüştür. Bu ilginç sonucun ise iki ferromanyetik malzemenin alanı baskılamadaki etkilerinin ilk başlarda çok etkin olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ü-F-Ü yapılarda yapılan incelemelerden, üstüniletkenin kalınlığı arttıkça histerezisin alanının F-Ü-F yapıdakine benzer şekilde azalmakta olduğu ve bu yüzden ferromanyetik malzeme ile kaplamanın histerezis kayıpları açısından iyi sonuç verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Üç üstüniletkenden oluşan yapıya bakıldığında kalınlıkla yüzey direncinin beklendiği gibi lineer bir artış gösterdiği bulunmuştur.

İkili ve üçlü yapılar arasındaki farkın ortaya konulması adına yapılan en iyi çalışma sıcaklığa bağlı hesaplamalardır. Bunun için yapılan hesaplamalarda Şekil 12 'de verildiği gibi en iyi sonucu üstüniletken-ferromanyetik malzemeden oluşan ikili yapı, sonrasında ise F-Ü-F yapının verdiği görülmüştür. Kritik sıcaklığa yakın sıcaklıklarda Ü-F-Ü yapı Ü-Ü yapıya göre dezavantajlı iken bu durum 80 K civarında tersine dönmektedir.

Şerit yapının belli bir merkezi açı altında adım adım bükülerek halka yapıya dönüştürülmesi çalışması da burada sunulmuştur. Yapılan hesaplamalardan şerit yapının en düşük yüzey direncine sahip olduğu, θ=180 dereceye kadar (yarım halka) bir miktar artışın olduğu sonrasında ise tekrar bir düşüşün olduğu

gözlenmiştir. Bu durumun geometrik şekle göre akı nüfuzunu değişik olmasından kaynaklandığı yapılan incelemelerden elde edilen Şekil 13 'den açıkça görülmektedir.

Sonuç olarak, kitabın bu bölümünde ticari bir sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak, farklı çalışma şartları altında, farklı geometrilerde, farklı manyetik özelliklere sahip malzemelerle bir arada kullanılan üstüniletkenlere, elektromanyetik dalganın nasıl nüfuz ettiğini öngörecek, mikrodalga yüzey dirençlerini dolayısıyla mikrodalga kayıplarını daha hassas bir biçimde hesaplayabilecek bir yöntem sunulmuştur. Geliştirilen yöntem, literatürde kullanılan metotlara göre daha gerçekçi, hassas ve daha kolay uygulanabilirdir.

Referanslar

Bonura, M., E. Di Gennaro, Agliolo Gallitto, A. ve Li Vigni, M., 2006a., "Critical-state effects on microwave losses in type-II superconductors", Eur. Phys. J. B, 52, 459-463.

Bonura, M., Agliolo Gallitto, A. ve Li Vigni, M., 2006b., "Magnetic hysteresis in the microwave surface resistance of Nb samples in the critical state", Eur. Phys. J. B, 53, 315-322.

Bonura, M., Agliolo Gallitto, A., Li Vigni, M. ve Martinelli, A., 2008. "Depinning frequency in a heavily neutron-irradiated MgB2 sample", Physica C, 468, 2372–2377.

Coffey, M. W. ve Clem J. R., 1991a. "Unified theory of effects of vortex pinning and flux creep upon the rf surface impedance of type-II superconductors", Phys. Rev. Lett., 67, 386.

Coffey, M. W. ve Clem, J. R., 1991b. "Radio-frequency surface impedance of type-II superconductors: Dependence upon the magnitude and angle of an applied static magnetic field", Physica C, 185-189, 1915-1916.

Coffey, M. W. ve Clem J. R., 1992a. "Theory of rf magnetic permeability of isotropic type-II superconductors in a parallel field", Phys. Rev. B, 45, 9872.

Coffey, M. W. ve Clem J. R., 1992b., "Theory of rf magnetic permeability of type-II superconductors in slab geometry with an oblique applied static magnetic field", Phys. Rev. B 45, 10527-10535.

Davis T. A. 2004. "Algorithm 832: UMFPACK V4.3-an unsymmetric-pattern multifrontal method", ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS), 30, (2), 196-199.

Fricano, S., Bonura, M., Agliolo Gallitto, A., Li Vigni, M., Klinkova, L. A., Barkovskii, N. V., 2004. Microwave properties of Ba0.6K0.4BiO3 crystals. Eur. Phys. J. B, 41, 313-318.

Gittleman, J. I. ve Rosenblum, B., 1966. "Radio-Frequency Resistance in the Mixed State for Subcritical Currents", Phys. Rev. Lett., 16, 734-736.

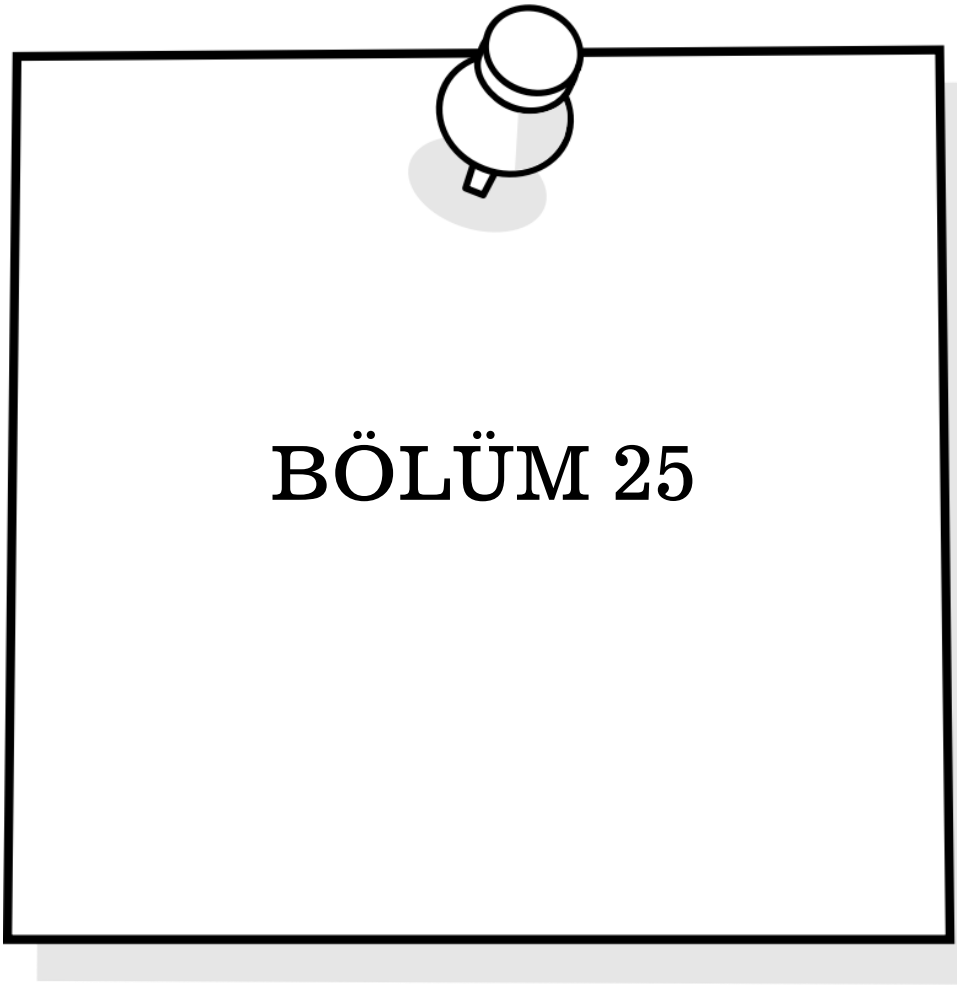
Golosovsky, M., Tsindlekht, M., Chayet, H. ve Davidov, D., 1994. "Vortex depinning frequency in YBa2Cu3O7-x superconducting thin films: Anisotropy and temperature dependence", Phys. Rev. B, 50, 470-477.

Janjusevic, D., Grbic, M. S., Pozek, M., Dulcic, A., Paar, D., Nebendahl, B. ve Wagner, T., 2006. "Microwave response of thin niobium films under perpendicular static magnetic fields", Phys. Rev. B, 74, 104501-104508.

Mawatari Y. 2009. "Field distributions in curved superconducting tapes conforming to a cylinder carrying transport currents", Physical Review B, 80, 184508-6.

Owliaei, J., Shridar, S. ve Talvacchio, J., 1992. "Field-dependent crossover in the vortex response at microwave frequencies in YBa2Cu3O7-δ films", Phys. Rev. Lett., 69, 3366-3369.

Yıldız, Ş., İnanır, F.ve Çiçek, A., 2015. “Influences of Ferromagnetic Substrate on Microwave Surface Resistance of Type-II Superconductors” Journal of Superconductivity and Novel Magnetism 28, pages 3205–3209



BÖLÜM 25

ISBN: 978-625-6971-84-4

SÜRDÜRÜLEBİLİR KURUTMA TEKNİKLERİ

Dr. Erhan ARSLAN[1]

GİRİŞ

Fosil yakıtların tükenmesi ve pahalı olmasına yönelik mevcut eğilimler ve gelecekteki maliyet ve bulunabilirlik konusundaki belirsizlik nedeniyle, tarım ürünlerinin kurutulmasında güneş enerjisinin kullanılması muhtemelen artacak ve yakın gelecekte ekonomik olarak daha uygun hale gelecektir. Güneş enerjisi, çevreyi kirletmeden günlük enerji sağlama potansiyeline sahip önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Ayrıca, insan enerjisi taleplerini karşılamak için enerji kaynaklarının devamlılığını sağlamak için güneş enerjisi hayati önem taşımaktadır. Güneş enerjisi aynı zamanda en kolay bulunabilen nihai ısı enerjisidir. Güneş enerjisi kullanımı artık hava veya su ısıtıcı sistemleri, klima sistemleri, kurutma, hidrojen üretimi ve elektrik kullanımında artmıştır. Bunun nedeni, güneş enerjisinin nesli tükenmemiş ve aynı zamanda çevre dostu doğal bir enerji kaynağı olmasıdır. Bu nedenle, aktif güneş enerjisi aktivasyonunun ilerlemesi o zamandan beri başlamıştır ve esas olarak gelişmekte olan ülkeler tarafından artmaya devam edecektir.

Kurutma, nemin üründen uzaklaştırılması örn. bozulma hızını yavaşlatabilecek ve kaliteyi koruyabilecek bir üründen su aktivitesinin azaltılması olarak tanımlanabilir (Anderson & Westerlund, 2014). Tarımsal ürün, kalan aktif besinler ile maksimum nemi uzaklaştırmak için kurutulursa, günlerce güvenle muhafaza edilebilir (Babu, Kumaresan, Raj, & Velraj, 2018). Aynı zamanda gıdalardaki serbest suyun önemli ölçüde azaldığı, böylece dokuya, gıdanın sağlıklılığına ve fiziksel görünümüne zarar vermeden kuru madde konsantrasyonuna yol açan bir süreçtir (Gungor, Erbay, & Hepbasli, 2011). Malzeme içindeki ısı ve kütle transferi bu kurutma işlemine dâhil edilir (Kagande, Musoni, & Madzore, 2012).

[1] TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, ORCID: 0000-0002-7540-7935

Güneş enerjisi yiyecekleri, tarımsal ürünleri, deniz ürünlerini, bitkileri vb. kurutmak için kullanılmaktadır. Şu anda, kurutma işlemi kumaş endüstrisi, kâğıt endüstrisi, seramik vb. Endüstrilerde yaygın olarak yürütülmektedir. Kurutma, doğrudan güneş ışığı ile veya kurutucular kullanılarak (dolaylı kurutma) yapılabilir. Doğrudan güneş ışığı, tropikal ve subtropikal ülkelerde tarım ürünlerini korumak için açık güneşte kurutma olarak bilinen geleneksel bir yöntemdir. Enerji kaynağı bedava ve sürdürülebilir olduğu için bu tip kurutma ile önemli ölçüde tasarruf sağlanabilir, kolaylıkla yapılabilir ve maliyetleri ucuzdur (Fudholi, Haw, Sopian, & Abdulmula, 2018; Fudholi & Sopian, 2018; Nazri et al., 2018; Zohri, Nurato, & Fudholi, 2017).

Sera kurutucusunun performansını iyileştirmek için çeşitli modifikasyonlar ve araştırmalar yapılmıştır. Literatürde aktif ve pasif sera güneş enerjisi kurutucularında uygulanan bazı değişiklikler şunlardır:

• PV entegre sera güneş enerjili kurutucu (S Janjai et al., 2009), (Nayak & Tiwari, 2008), (Ganguly, Misra, & Ghosh, 2010), (Serm Janjai, 2012), (Kaewkiew, Nabnean, & Janjai, 2012), (Prakash & Kumar, 2014b), (Nagarajan & Premkumar, 2014)

• Isı kaybını önlemek için yalıtım duvarı kullanımı (Sevda & Rathore, 2010), (Rathore & Panwar, 2010), (Adu, Bodunde, Awagu, & Olayemi, 2012), (Panwar, Kaushik, & Kothari, 2016), (Prakash & Kumar, 2014a), (Chauhan & Kumar, 2017)

• Kum, kaya yatağı, siyah boyalı beton zemin ve PVC levha gibi kullanılan termal depolama malzemeleri. Böylelikle sera güneş ışığı almayan dönemde kullanılabilir (Ayyappan, Mayilsamy, & Sreenarayanan, 2016), (S Janjai et al., 2009), (Sevda & Rathore, 2010), (Prakash, Kumar, & Laguri, 2016), (Belloulid, Hamdi, Mandi, & Ouazzani, 2017)

• Daha hızlı kurutma elde etmek için güneş hava ısıtıcısı ile birleştirilmiş seranın kullanılması (Chan, Dyah, & Abdullah, 2015), (Azaizia, Kooli, Elkhadraoui, Hamdi, & Guizani, 2017),

• Kurutma alanını artırmak için ek alan geliştirici paneller sağlanmıştır (Jitjack, Thepa, Sudaprasert, & Namprakai, 2016).

ISBN: 978-625-6971-84-4

2. HİBRİT KURUCULAR

Güneş, güneşle kurutma için ısı kaynağı görevi görür. Malzemelerin, olumsuz iklim koşullarından korunmadan doğrudan güneş ışığı altına yerleştirildiği doğal güneşte kurutma yoluyla elde edilebilir (Mezrhab, Elfarh, Naji, & Lemonnier, 2010) . Güneş enerjisiyle kurutmanın doğrudan kurutma ve dolaylı kurutma olarak sınıflandırılabileceği yaygın olarak kabul edilmektedir (Kumar & Rosen, 2011). Doğrudan güneş enerjisiyle kurutma için malzemeler şeffaf plastik veya camla kaplanmış bir kaba yerleştirilir ve güneş ışınımıyla kurutulur. Dolaylı kurutmada, hava güneş enerjisiyle ısıtılır ve ardından malzemelerin kurutulması için güneş ışınımının ve ısıtılmış havanın kombinasyonunu içeren kurutma veya karma kurutmada kullanılır. Güneş enerjisinin zaman farklılığından dolayı kurutma, gün batımı veya bulutlu günlerde kesintili çalışma olarak nitelendirilir . Bu nedenle, güneş enerjili kurutma sistemlerinin en büyük eksikliği, kurutulmuş ürünlerin kalitesi üzerinde kaçınılmaz olarak olumsuz bir etkiye sahip olan kesintili olmasıdır (Jain & Tewari, 2015). Benzer şekilde hibrit güneş sistemleri, ek bir ısı enerjisi kaynağı veya termal enerji depolama (TES) kullanarak bu sorunu çözebilir.

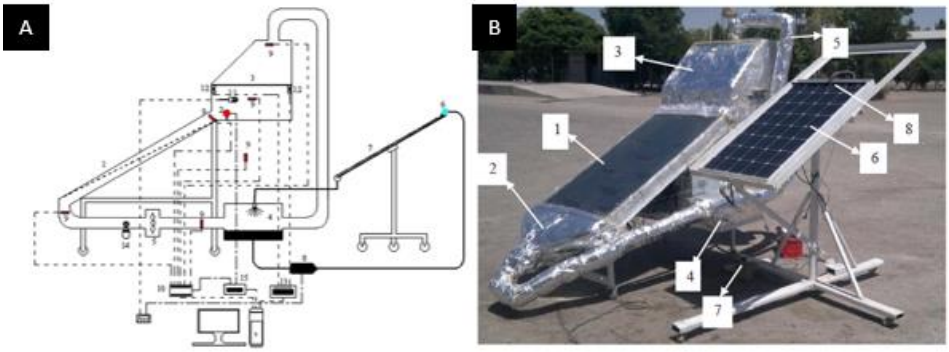
Literatürde sıkça kullanılan zorlanmış taşınımlı PV-T kurutucular aşağıda sıralanmıştır.

2.1. Fotovoltaik Termal (PV-T) Kurutuculu Sistemler

Sürdürülebilir kurutma, tarımsal ürünün çok az veya hiç fosil yakıt girdisi olmadan kurutulmasını ifade eder. Alternatif yakıtlar veya enerji kaynakları, gıda kurutmanın çevre üzerindeki etkisini azaltabilecek tarımsal ürün kurutmayı gerçekleştirmek için kullanılır. Bazı engellere rağmen, yenilenebilir enerji teknolojilerin gıda kurutma için uygun bir strateji olduğu ve düşük maliyet, yüksek verimlilik, artan istihdam fırsatları vb. gibi bazı faydalar sağladığı öngörülmektedir. Sürdürülebilir gıda kurutmaya yönelik iki ana araştırma yaklaşımı aşağıda sunulmaktadır (Kemp, 2012).

Yapılan bir çalışmada (Dorouzi, Mortezapour, Akhavan, & Moghaddam, 2018) domates dilimlerinin kurutulması için yeni bir güneş enerjili kurutucu deneysel olarak test edilmiştir. Kurutucunun sürekli kurutulması ve eşzamanlı olarak yenilenmesi için, PV panelinde biriken olumsuz ısıyı emebileceği çalışma akışkanı olarak sıvı kullanılan PV-T güneş kolektörü tasarlanmıştır. Çalışma, rejenerasyon sistemi olarak PV-T teknolojisinin benzer bir bileşik güneş kurutucu ile entegrasyonu hakkında bilgi sunmaktadır. 110 Wp'lik monokristalli PV mo-

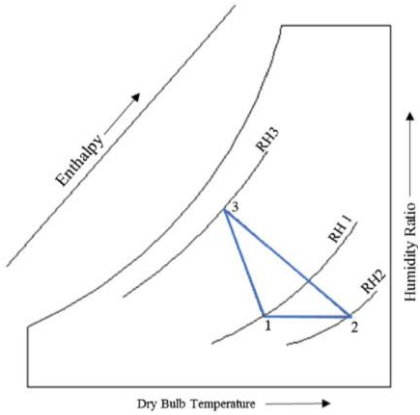
dülü olan PV paneli 65°C sıcaklıkta kurutma işlemi için gereken toplam elektriğin en az yarısını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 1'de deney setinin şematik gösterimi (Şekil 1a) ve fotoğrafı (Şekil 1b) yer almaktadır.



Şekil 1. A) Tasarlanan kurutucunun şematik diyagramı: 1- güneş kollektörü, 2- yardımcı ısıtıcı, 3- ürün tepsisi, 4- kurutucu yatağı, 5- üfleyici, 6-dağıtım borusu, 7- PV-T rejeneratör, 8- pompa, 9-sıcaklık sensörü, 10- sıcaklık vericisi, 11-RH sensörü, 12-yük hücresi, 13-yük hücresi vericisi, 14-anemometre, 15-wattmetre. B) Sıvılı PVT güneş enerjili kurutucunun bir fotoğrafı: 1- güneş kolektörü, 2- kollektöre hava girişi, 3- kurutma odası, 4- sıvı kurutucu yatak, 5- bağlantı borusu, 6- PV panel, 7- rejenerasyon sistemi pompası, 8- dağıtım borusu (Dorouzi et al., 2018).

Seyreltilmiş emici çözeltiyi PV panelinin üstüne yerleştirilmiş bir dağıtım borusuna vermek için nominal gücü 12 W olan bir 12V-DC pompa kullanılmıştır. Bağıl nem kontrollü kurutucu sistem, kurutma havasının RH'si belli bir değerin üstüne çıktığında (%18, %23, %28), RH kontrol ünitesi, seyreltilmiş emici çözeltiyi yeniden konsantreetmek için rejenerasyon pompasını etkinleştirecek şekilde geliştirilmiştir. Bu, kurutma sisteminin (kurutma odasının) nem emme potansiyelini arttırmış ve kurutma havasının bağıl neminin belirlenen değerlerin altında kalmasına neden oldu. Tasarlanan kurutucuda psikrometrik çizelge üzerinde gerçekleşen sürecin şeması Şekil 2'de gösterilmiştir. Süreç üç aşamadan oluşmaktadır: Aşama 1 (hat 1–2), güneş kollektörü boyunca hareket ederek kurutma havasının sıcaklığının arttığı aşama 1 ve yardımcı ısıtıcının üzerinde. Bu aşamada havanın mutlak nemi sabit kalır (Dorouzi et al., 2018).

ISBN: 978-625-6971-84-4



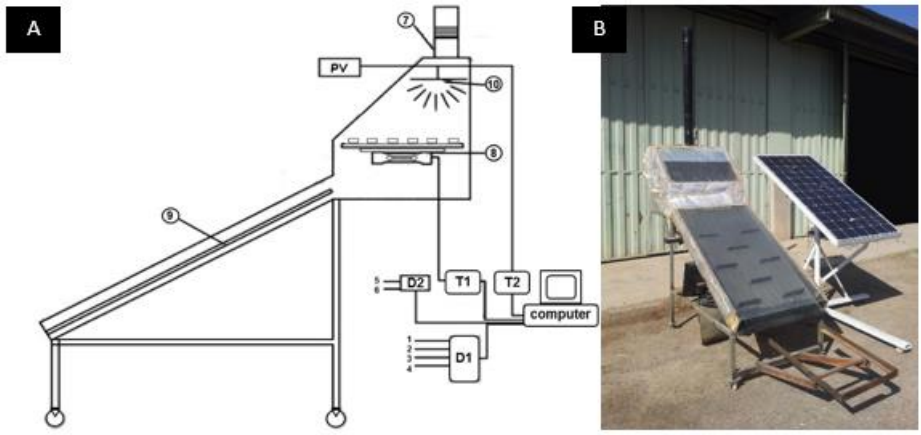
Şekil 2. Kurutma işleminin psikrometrik çizelgede şematik (Dorouzi et al., 2018).

Çalışmada, PV-T rejenerasyon sistemi ile donatılmış, farklı kurutma sıcaklıklarında ve rejenerasyonun aktivasyon bağıl neminde deneyler yapılmıştır. Çalışmada yapılan deneyler sonucunda;

- Bağıl nem kontrolü sayesinde (%28 bağıl nemden %18'e düştüğünde) kurutma süresi %27 oranında kısalmıştır. Ayrıca, kurutma havası sıcaklığının 60°C'den 70°C'ye çıkartılması sayesinde, kurutma süresi %10 oranında kısalmıştır.
- Maksimum elektrik enerjisi tüketimi% 28 aktivasyon bağıl nemiyle 70°C sıcaklıkta gözlenmiştir.
- Domates dilimlerinin 70°C yerine 60°C sıcaklıkta kurutulması sayesinde güneş enerjisi oranının ortalama değeri yaklaşık 2.2 kat daha yüksek hesaplanmıştır (Dorouzi et al., 2018).

Yapılan başka bir çalışma (Ziaforoughi & Esfahani, 2016), PV-T entegreli, aralıklı kızılötesi dalgalara sahip bir güneş kurutucunun kombinasyonu ile patateslerin kurutulmasına odaklanmıştır. Çalışmada üç farklı kurutma sıcaklığında (50, 60 ve 70°C) 3, 5 ve 7 mm'lik üç kalınlıkta kurutma işlemi sırasında bir patates dilim sıcaklığının nem kinetiğini ve zamansal gelişimini incelenmiştir. Ek olarak, aralıklı bir kızılötesi kurutucu ile karşılaştırıldığında güneş yardımlı bir aralıklı kızılötesi kurutucuda enerji tüketiminin miktarını ve kurutma işleminin süresi incelenmiştir. Şekil 3'te tasarlanan PV-T entegreli kızılötesi kurutuculu deney setinin şematik gösterimi ve fotoğrafı verilmiştir. Kurutma tepsisi üzerine kuvar infrared lambalar yerleştirilerek ürünün kurutulması sağlanmıştır. Ayrıca, kurutulan ürünün yüzey sıcaklığı kontrol edilerek, lambanın açılıp kapanması

sağlanmıştır. Patetes dilimleri 50, 60, 70°C'ye ulaştığında lamba sönecek, bu sıcaklıkların altına düşünce lamba tekrar yanacak şekilde sistemin tasarımı yapılmıştır. Böylece enerji tasarrufu sağlanmış olacaktır.



Şekil 3. Kurutucunun şematik gösterimi: sıcaklık sensörleri (1-4), nem ve sıcaklık sensörleri (5 ve 6), baca (7), yük hücresi (8), alüminyum emici plaka (9), kızılötesi kaynak (10), fotovoltaik panel (PV), sıcaklık veri kaydedicisi (D1), sıcaklık ve nem veri kaydedicisi (D2), yük hücresi vericisi (T1), wattmetre vericisi (T2) (Ziaforoughi & Esfahani, 2016).

- Güneş enerjili kurutucunun elektrik enerjisi tüketimi, kızılötesi kurutucuya kıyasla ortalama % 54; kuruma süresi ise % 41 oranında azaltılmıştır.
- Patates dilimlerinin kalınlığının artırılması ile elektrik enerjisi tüketiminde azalma oranı sırasıyla % 46, % 22 ve % 20 oranında arttırılmış, kuruma süresinde azalma 50, 60 ve 70°C'de % 67, % 78 ve % 72 oranında artırılmıştır.
- Güneş enerjili kurutucuda sıcaklığın 50°C'den 70°C'ye yükselmesi, kurutma süresinin azaltılması üzerinde önemli bir etkiye sahip olmamıştır.
- Sıcaklık artışı daha fazla enerji tüketimine yol açtığından ve destekli kurutucudaki kurutma süresinin azaltılmasına önemli bir etkisi olmadığından, destekli kurutucuda patates kurutması için 50°C'lik sıcaklık önerilir.
- Önerilen yardımlı kurutucunun kullanılması, kurutma süresinin yaygın güneş kurutuculara kıyasla önemli ölçüde azalmasına neden olur.
- Önerilen sistemin toplam enerji tüketimi güneş enerjisi ile sağlanmaktadır.

Kütle debisi 0.01 kg/s hava kütle akış hızında ortalama ısıl verim (ηth), elektriksel verim (ηel) ve genel ısıl verim (ηov,th) sırasıyla %26.68, %11.26 ve %56.30 olarak bulunmuştur (Azaizia et al., 2017). PVT entegreli sera kurutucular yazılım desteği ve hesaplama teknolojisi geliştirme alanında çalışan bilim adamları ve araştırmacılara yardımcı olacaktır.

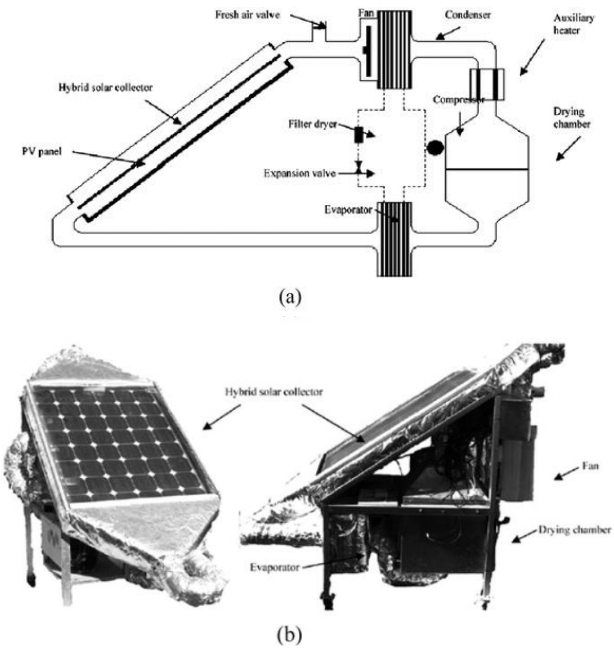
Elde edilen sonuçlara ve mevcut güneş enerjisine göre ve fotovoltaik sistemle sağlanabilen düşük bir elektrik enerjisi tüketimi, sunulan kurutucunun, kurutucu endüstrilerinde kullanım potansiyeli ve kızılötesi ve güneş kurutucular için bir alternatif olarak önerilmektedir (Ziaforoughi & Esfahani, 2016).

2.2. Isı pompası Destekli PV-T kurutucular

Isı pompası sistemlerinde atık ısının geri kazanımı sayesinde enerji tüketimini azaltarak verimli ve çevre dostu teknolojiler sunar. Bir ısı pompası sisteminin bir sıcak hava kurutucusu ile entegrasyonu, geleneksel sıcak hava kurutucularından daha fazla verimlilik sunan bir ısı pompalı kurutucunun ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Ayrıca ısı pompalı kurutucular daha kaliteli ürün üretir ve düşük sıcaklıklarda çalışabilme özelliklerinden dolayı ısıya duyarlı malzemelere uygundur (Hossain, Amer, & Gottschalk, 2008). Kurutma koşulları (sıcaklık, bağıl nem ve kurutma havasının akış hızı dahil), ortam hava koşullarına bağlı olmaksızın geniş bir aralıkta kontrol edilebilir (Chua, Chou, Ho, & Hawlader, 2002). Son zamanlarda birçok araştırmacı, daha verimli bir montaj elde etmek için ısı pompası sistemlerini PVT sistemiyle birleştirdi. Böyle bir bileşik sistemde, ısı pompasının evaporatörü, panel tarafından emilen ısıyı gelen güneş ışınımından uzaklaştırmak için bir PV panele bağlanır ve sonuç olarak panel sıcaklığını düşürür ve onu soğutur. Daha sonra emilen ısı, ısı pompasının yoğunlaştırıcısında geri kazanılır ve su veya alan ısıtma gibi termal kullanımlar için kullanılır. Bu basit işlem hem PV panelin elektriksel verimliliğini hem de ısı pompası ünitesinin performans katsayısını artırır (Ji et al., 2008).

Mortezapour ve arkadaşları (Mortezapour, Ghobadian, Minaei, & Khoshtaghaza, 2012), bir ısı pompası ile desteklenen bir PV-T güneş kurutucu tasarlamışlardır. Kurutucunun şeması, (Şekil 4a ve 4b.) İki ana bölümden oluşur: bir hibrit PV-T güneş kurutucu ve kapalı bir döngüde hava akışı oluşturmak için kullanılan bir ısı pompası ünitesi. Kurutma odasından çıkan sıcak ve nemli hava, nemi alınarak evaporatöre girer, soğutulan ve nemi alınan hava ise PV-T kollektörde PV sıcaklığının düşürmek üzere kollektör boyunca akar. Isıtılmış hava, buharlaştırıcıdan daha fazla ısıyı geri kazanabilir. Kurutma odasının girişinden hemen önce bir yardımcı elektrikli ısıtıcı yerleştirilmiştir. Bu sayede hava sıcaklığı istenen değere ayarlanabilmektedir. Güneş kollektörü için kullanılan PV paneli,

pili gün boyunca şarj edecek şekilde tasarlanmıştır. Tasarlanan güneş kollektörünün ve toplam güneş kurutma sisteminin termal ve elektriksel verimleri, ısı pompasının birleştirilmesiyle sonuçların iyileştiğini göstermiştir. Sonuçlar, bir ısı pompası kullanılmadan ısıl verimin % 30'dan az olduğunu ve elektrik verimliliğinin% 9,5 ile % 10,5 arasında değiştiğini göstermektedir. Isı pompasının kullanımıyla toplam kurutucu verimliliği, düşük akış hızında yaklaşık % 35 ve elektriksel verimin %11'lere çıktığı gözlenmiştir.



Şekil 4. A) Deney setinin şematik gösterimi, b) Deney setinin fotoğrafı (Mortezapour et al., 2012)

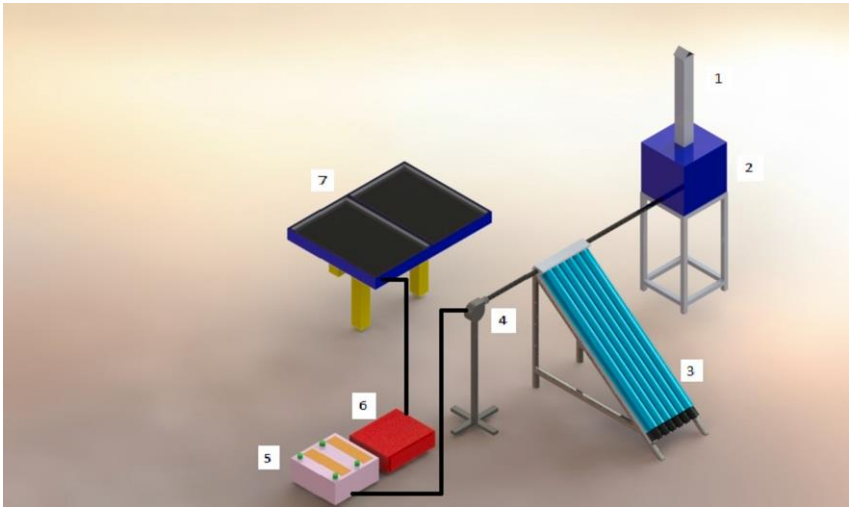
Yapılan çalışmada bir ısı pompası sistemi ile donatılmış bir hibrit PVT güneş kurutucu geliştirilmiştir. Üç seviyede hava kütle akış hızının, üç seviyede kurutma havası sıcaklığının ve iki farklı kurutucu modunun (ısı pompalı ve ünitesiz) kurutucunun çalışma parametreleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Hava sıcaklığının yükseltilmesi, kuruma süresini ve toplam enerji tüketimini azaltmıştır.

- Hibrit güneş kollektörünün ısıl ve elektriksel verimliliği hava akış hızı ile arttı. Üstelik hava debisini artırmak, kuruma süresini kısalttı ve toplam enerji tüketimini düşürdü.
- Isı pompası ünitesinin uygulanması güneş kollektörünün elektriksel verimini artırmış ve toplam enerji tüketimini ve kuruma süresini azaltmıştır. Güneş kollektörünün ısıl ve elektriksel verimi için en yüksek değerler sırasıyla% 28 ve% 10.8 idi.
- Isı pompası kullanımıyla 0.016 kg/s hava akış hızında ve 60°C hava sıcaklığında maksimum% 72 verim hesaplanmıştır.

2.3. Vakum Tipi PV-T Kurutucular

Vakum tüplü güneş kolektörü ve güneş PV paneli kullanılarak hibrit bir foto-voltaik termal (PV-T) güneş kurutucu geliştirilerek yapılan bir çalışmada ince tabaka manyok kurutma denemesi yapılmış ve performansı açık güneşte kurutma ile karşılaştırılmıştır. % 91.5 başlangıç nem içeriğine sahip manyok için% 10.67 denge nem içeriğine açık güneşte ve hibrit PV-T kurutucudaki kuruma süreleri sırasıyla 8 ve 13 saat olarak gözlenmiştir. Çalışmada, ısı kaybını önlemek için vakum tüplü brular kullanılmıştır. Bu durum çalışmaya özgünlük katmıştır. PV-T kullanımı sayesinde kuruma süresi % %39 oranında azaltılmıştır. Vakum tüp kullanımı sayesinde kuru havanın kazandığı ısı kaybının en aza indirilmesi sağlanmış olan çalışmada kuruma süresinin düşürülmesi bu tüpler sayesinde olduğu belirtilmiştir. Yapısal ve morfolojik çalışmalara göre, hibrit kurutulmuş manyokun güneşte kurutulmuş manyoktan boyut, şekil, renk, görünüm, doku ve kalite açısından daha iyi olduğu görülmektedir (Veeramanipriya & Umayal Sundari, 2021).



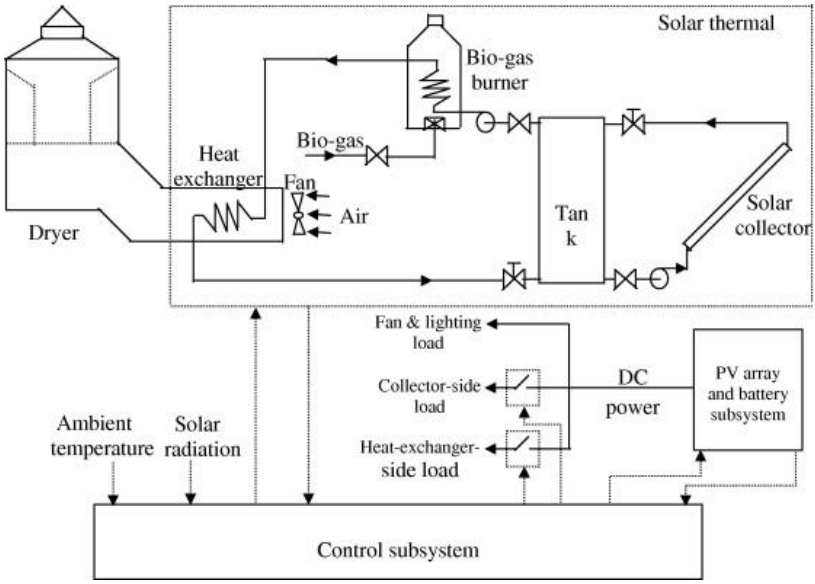
Şekil 5. Vakum tüplü zorlanmış taşınımlı solar kurutucu 1. Egzoz havası çıkışı, 2. Kurutma kabini, 3. Vakum tüp, 4. Bluer, 5. Bateri, 6. Invertör, 7. PV Panel.

Literatürde yer alan başka bir çalışmada ise Hünnap (Zizyphus mauritiana) meyvesinin kurutulması amaçlanmıştır. 18 kg ve %80 nem içeriğine sahip lifli yapıdaki meyve ince tabakalar halinde güneşte ve PV-T prototoipli kurutucuda kurutulmaya bırakılmıştır. %80 nem içeriğinden %20'deki denge nem içeriğine 240 saatte ulaşılmıştır (Poonia, Singh, & Jain, 2018).

2.4. Yardımcı Enerji Kaynaklı PV-T Kurutucular

Yardımcı enerji kaynakları, kurutma işlemine uygun ısı miktarının sağlanmasından sorumludur. Bu sistem güneş kolektörü, depolama tankı, biyogaz ısıtıcısı ve ısı değiştiricisi olmak üzere esas olarak dört bileşenden oluşur. Güneş kollektörünün ana işlevi, içinden geçen suyu ısıtmak için doğrudan güneşten gelen enerjiyi kullanmaktır. Ayrıca güneş kollektörü sistemdeki ana ısı enerjisi kaynağı olarak kabul edilmektedir. Belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılan kollektörden çıkan su, depolama suyu tankında depolanır. Tank, suyun kazandığı ısı enerjisini kullanım anına kadar muhafaza etmek için kullanılır. Tanktan çıkış suyunun sıcaklığı belirli bir değerin altındaysa, suyun sıcaklığının istenilen değere yükseltilmesi için yardımcı bir ısıtıcı (yani biyogazlı ısıtıcı) kullanılacaktır. Isı değiştirici, sıcak transfer akışkanının enerjisini aktarmak için kullanılır.

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 5. Yardımcı enerji kaynaklı PV-T kurutucu

Fargali ve arkadaşları (Fargali, Nafeh, Fahmy, & Hassan, 2008), kurutma odasına ek olarak bir güneş kolektörü, bir depolama sistemi, bir biyogaz ısıtıcısı ve bir ısı değiştiriciden oluşan bir sistemin modelleme prototipinin tasarımını yapmışlardır. Geliştirilen bu tasarımla kontrollü şifalı bitki kurutucu sistemi geliştirilmiştir. Bu kurutucu, kurutma havasını ısıtmak için düz plakalı bir güneş kolektörü ve bir biyo-gaz yakıtı ve kurutucunun elektrik yükünü beslemek için bağımsız bir PV sistemi kullanır. PV modülü, bir bataryaya fanın ihtiyaç duyduğu elektrik ve aydınlatma enerjisini karşılayacak şekilde depolanmıştır. Güneş enerjisi alt sistemi, kurutucuya gerekli miktarda ısı sağlamaktan sorumludur. Kollektörden çıkan ısıtılmış su, kullanım anına kadar suyun toplanan ısı enerjisini korumak için kullanılan bir depolama suyu tankında depolanır. Isıtılmış suyun sıcaklığı önceden belirlenmiş bir değerden düşük olduğunda, sıcaklığı istenen değere yükseltmek için yardımcı bir enerji kaynağı olan biyogaz ısıtıcısı kullanılır. Şifalı bitkilerin kurutulması, hasat sonrası önemli süreçlerden biridir ve hasat sonrası kayıpları azaltmak ve depolamada otların bozulmasını önemli ölçüde önlemek için yeterli potansiyele sahiptir. Kurutma işlemi, muazzam miktarda termal ve elektrik enerjisi gerektirir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının iyi bir şekilde kullanılmasına dayanan kontrollü-geleneksel olmayan bir kurutma yönteminin kullanılmasıyla kurutulacak ürünün kalitesinde bir iyileşme ve aynı zamanda kurutma maliyetinde ve süresinde azalma sağlanır (Stuetzle, 2002). Güneş termal alt sisteminin enerji dengesi ilkesi kullanılarak eksiksiz bir dinamik modellemesi geliştirilir

ve sistem sonuçları gösterilir. Sonuçlar, tasarlanan kontrol tekniğinin, geliştirilen bitki kurutucu sisteminin güneşli / bulutlu gündüz ve gece saatlerinde doğru ve sürekli çalışmasını sağladığını göstermektedir. Güneş kollektörü ve fotovoltaik, gündüz saatlerinde ana enerji kaynakları olarak kabul edilir ve ihtiyaç duyulduğunda sırasıyla biyo-gaz yakıt ve depolama bataryası ile desteklenir. Yardımcı enerji kaynakları (yani biyo-gaz yakıt ve batarya) gece saatlerinde tek enerji kaynağıdır (Fargali et al., 2008).

SONUÇLAR

Konveksiyonel açık güneş enerjisiyle kurutmanın kalite, kapasite, doğruluk ve proses verimliliği açısından bazı dezavantajları vardır. Fosil yakıtlı kurutma sistemleri hem ekonomik değildir hem de dünya için çekiciliğini yitirmektedir. Bu nedenle, sürdürülebilir kurutma yöntemlerinin uygulamaları, gıda kurutma proseslerinin karbonsuzlaştırılması sırasında geleneksel kurutma sistemlerinin darboğazının üstesinden gelmek için en uygun alternatif yöntemlerdir. Bu bağlamda tarım ürünlerinin kurutulmasına yönelik sürdürülebilir enerji, özellikle kayıpların çok büyük olduğu uzak bölgelerde hasat sonrası kayıpların azaltılmasında önemli bir rol oynayacaktır.

PV-T hava kollektörlü entegre sera kurutma sistemleri tasarlamanın temel amacı, kurutma sistemini kendi kendine sürdürülebilir hale getirmektir çünkü kurutma sistemi genellikle şebeke bağlantısının mevcut olmadığı kırsal alanlar için gereklidir. Bu tür bir sistemin termal modellemesi sadece tasarıma yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda gerekli iklim koşullarında mümkün olan en iyi kurutucuyu seçme esnekliği de sağlar. Geçmişte sera kurutucusunun doğal / pasif ve zorlamalı/aktif modlar altında termal modellenmesi üzerine yoğun araştırma çalışmaları yapılmıştır. Mevcut analizden aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

• PV-T hava kolektörlü entegre kurutma sistemi, diğer kurutma sistemlerine göre daha iyi sıcaklık kontrolüne sahiptir. Böylece, havanın kütle akış hızı ve hava kolektörü üzerindeki PV modülün paketleme faktörü değiştirilerek farklı ürünler (izin verilen farklı sıcaklıklara sahip) için tek bir kurutma sistemi kullanılabilir.

• Sera kurutucusunun zorlamalı konveksiyon modundaki performansı yüksek nem içeriğine sahip bitkilerde daha iyi bulunurken, doğal konveksiyon modunun performansı düşük nem içeriğine sahip bitkilerde daha iyi bulunmuştur.

• PV-T hava ısıtıcısı, alan ısıtma ve güneş enerjisiyle kurutmayı içeren çeşitli kullanımlar için havanın ön ısıtılması için uygun olabilir.

Bu çalışmada PV-T destekli kurutucuların kullanım alanları ve avantajlarının yanı sıra hibrit kurutucuların seralardaki performansı ele alınmıştır. Hibrit kurutucuların kullanım alanlarının çeşitliliği ve amacına göre birbirine göre üstünleri olduğu söylenebilir.

Kaynakça

Adu, E., Bodunde, A., Awagu, E., & Olayemi, F. (2012). Design, construction and performance evaluation of a solar agricultural drying tent. *International Journal of Engineering Research and Technology, 1*, 1-11.

Anderson, J.-O., & Westerlund, L. (2014). Improved energy efficiency in sawmill drying system. *Applied Energy, 113*, 891-901.

Ayyappan, S., Mayilsamy, K., & Sreenarayanan, V. (2016). Performance improvement studies in a solar greenhouse drier using sensible heat storage materials. *Heat and Mass Transfer, 52*(3), 459-467.

Azaizia, Z., Kooli, S., Elkhadraoui, A., Hamdi, I., & Guizani, A. (2017). Investigation of a new solar greenhouse drying system for peppers. *International Journal of Hydrogen Energy, 42*(13), 8818-8826.

Babu, A., Kumaresan, G., Raj, V. A. A., & Velraj, R. (2018). Review of leaf drying: Mechanism and influencing parameters, drying methods, nutrient preservation, and mathematical models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 90*, 536-556.

Belloulid, M. O., Hamdi, H., Mandi, L., & Ouazzani, N. (2017). Solar greenhouse drying of wastewater sludges under arid climate. *Waste and biomass valorization, 8*(1), 193-202.

Chan, Y., Dyah, N., & Abdullah, K. (2015). Performance of a recirculation type integrated collector drying chamber (ICDC) solar dryer. *Energy procedia, 68*, 53-59.

Chauhan, P. S., & Kumar, A. (2017). Heat transfer analysis of north wall insulated greenhouse dryer under natural convection mode. *Energy, 118*, 1264-1274.

Chua, K. J., Chou, S. K., Ho, J. C., & Hawlader, M. N. A. (2002). HEAT PUMP DRYING: RECENT DEVELOPMENTS AND FUTURE TRENDS. *Drying Technology, 20*(8), 1579-1610. doi:10.1081/DRT-120014053

Dorouzi, M., Mortezapour, H., Akhavan, H.-R., & Moghaddam, A. G. (2018). Tomato slices drying in a liquid desiccant-assisted solar dryer coupled with a photovoltaic-thermal regeneration system. *Solar Energy, 162*, 364-371.

Fargali, H. M., Nafeh, A. E.-S. A., Fahmy, F. H., & Hassan, M. A. (2008). Medicinal herb drying using a photovoltaic array and a solar thermal system. *Solar Energy, 82*(12), 1154-1160. doi:https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.05.016

Fudholi, A., Haw, L. C., Sopian, K., & Abdulmula, A. M. O. (2018). Primary study of tracking photovoltaic system for mobile station in Malaysia. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, *9*(1), 427.

Fudholi, A., & Sopian, K. (2018). Review on exergy and energy analysis of solar air heater. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, *9*(1), 420.

Ganguly, A., Misra, D., & Ghosh, S. (2010). Modeling and analysis of solar photovoltaic-electrolyzer-fuel cell hybrid power system integrated with a floriculture greenhouse. *Energy and buildings*, *42*(11), 2036-2043.

Gungor, A., Erbay, Z., & Hepbasli, A. (2011). Exergetic analysis and evaluation of a new application of gas engine heat pumps (GEHPs) for food drying processes. *Applied Energy*, *88*(3), 882-891.

Hossain, M. A., Amer, B. M. A., & Gottschalk, K. (2008). Hybrid Solar Dryer for Quality Dried Tomato. *Drying Technology*, *26*(12), 1591-1601. doi:10.1080/07373930802467466

Jain, D., & Tewari, P. (2015). Performance of indirect through pass natural convective solar crop dryer with phase change thermal energy storage. *Renewable energy*, *80*, 244-250.

Janjai, S. (2012). A greenhouse type solar dryer for small-scale dried food industries: development and dissemination. *International journal of energy and environment*, *3*(3), 383-398.

Janjai, S., Lamlert, N., Intawee, P., Mahayothee, B., Bala, B., Nagle, M., & Müller, J. (2009). Experimental and simulated performance of a PV-ventilated solar greenhouse dryer for drying of peeled longan and banana. *Solar energy*, *83*(9), 1550-1565.

Ji, J., Pei, G., Chow, T.-t., Liu, K., He, H., Lu, J., & Han, C. (2008). Experimental study of photovoltaic solar assisted heat pump system. *Solar Energy*, *82*(1), 43-52.

Jitjack, K., Thepa, S., Sudaprasert, K., & Namprakai, P. (2016). Improvement of a rubber drying greenhouse with a parabolic cover and enhanced panels. *Energy and buildings*, *124*, 178-193.

Kaewkiew, J., Nabnean, S., & Janjai, S. (2012). Experimental investigation of the performance of a large-scale greenhouse type solar dryer for drying chilli in Thailand. *Procedia Engineering*, *32*, 433-439.

Kagande, L., Musoni, S., & Madzore, J. (2012). Design and performance evaluation of solar tunnel dryer for tomato fruit drying in Zimbabwe. *IOSR Journal of Engineering*, *2*(12), 1-7.

Kemp, I. C. (2012). Fundamentals of energy analysis of dryers. *Modern drying technology, 4*, 1-45.

Kumar, R., & Rosen, M. A. (2011). A critical review of photovoltaic–thermal solar collectors for air heating. *Applied energy, 88*(11), 3603-3614.

Mezrhab, A., Elfarh, L., Naji, H., & Lemonnier, D. (2010). Computation of surface radiation and natural convection in a heated horticultural greenhouse. *Applied energy, 87*(3), 894-900.

Mortezapour, H., Ghobadian, B., Minaei, S., & Khoshtaghaza, M. H. (2012). Saffron drying with a heat pump–assisted hybrid photovoltaic–thermal solar dryer. *Drying Technology, 30*(6), 560-566.

Nagarajan, S., & Premkumar, M. (2014). Analysis of thermal performance in solar dryer. *IOSRJournal Mech Civil Eng, 11*, 71-74.

Nayak, S., & Tiwari, G. (2008). Energy and exergy analysis of photovoltaic/thermal integrated with a solar greenhouse. *Energy and buildings, 40*(11), 2015-2021.

Nazri, N. S., Fudholi, A., Bakhtyar, B., Yen, C. H., Ibrahim, A., Ruslan, M. H., . . . Sopian, K. (2018). Energy economic analysis of photovoltaic–thermal-thermoelectric (PVT-TE) air collectors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 92*, 187-197.

Panwar, N., Kaushik, S., & Kothari, S. (2016). Thermal modeling and experimental validation of solar tunnel dryer: a clean energy option for drying surgical cotton. *International Journal of Low-Carbon Technologies, 11*(1), 16-28.

Poonia, S., Singh, A., & Jain, D. (2018). Design development and performance evaluation of photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid solar dryer for drying of ber (Zizyphus mauritiana) fruit. *Cogent Engineering, 5*(1), 1507084.

Prakash, O., & Kumar, A. (2014a). Performance evaluation of greenhouse dryer with opaque north wall. *Heat and Mass Transfer, 50*(4), 493-500.

Prakash, O., & Kumar, A. (2014b). Thermal performance evaluation of modified active greenhouse dryer. *Journal of Building Physics, 37*(4), 395-402.

Prakash, O., Kumar, A., & Laguri, V. (2016). Performance of modified greenhouse dryer with thermal energy storage. *Energy reports, 2*, 155-162.

Rathore, N., & Panwar, N. (2010). Experimental studies on hemi cylindrical walk-in type solar tunnel dryer for grape drying. *Applied Energy, 87*(8), 2764-2767.

Sevda, M., & Rathore, N. (2010). Performance evaluation of the semicylindrical solar tunnel dryer for drying handmade paper. *Journal of Renewable and Sustainable Energy, 2*(1), 013107.

Stuetzle, T. (2002). Automatic control of the 30MWe SEGS VI parabolic trough plant [MS thesis]. *University of Wisconsin, Madison, Wis, USA*.

Veeramanipriya, E., & Umayal Sundari, A. R. (2021). Performance evaluation of hybrid photovoltaic thermal (PVT) solar dryer for drying of cassava. *Solar Energy, 215*, 240-251. doi:https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.12.027

Ziaforoughi, A., & Esfahani, J. A. (2016). A salient reduction of energy consumption and drying time in a novel PV-solar collector-assisted intermittent infrared dryer. *Solar Energy, 136*, 428-436.

Zohri, M., Nurato, N., & Fudholi, A. (2017). Photovoltaic thermal (PVT) system with and without fins collector: theoretical approach. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems, 8*(4), 1756.

ISBN: 978-625-6971-84-4



BÖLÜM 26

ISBN: 978-625-6971-84-4

BLOCKCHAİN TABANLI SİSTEMLERİN VE UYGULAMALARININ ANALİZİ

Oğuzhan ÖZER[1]

Dr. Öğr. Üyesi Esra ŞATIR[2]

Giriş

Günümüzün hızla değişen dijital dünyasında, blockchain teknolojisi önemli bir role sahip olmuştur. Bu bölümde, blockchain tabanlı sistemlerin ve uygulamalarının analizi yapılacak ve bu teknolojinin farklı sektörlerdeki etkileri incelenecektir. Blockchain teknolojisi dağıtık bir defter olarak çalışan ve kullanıcılar arasında güvenilir, şeffaf ve değiştirilemez bir veri kaydını tutan bir sistemdir. Blockchain teknolojisi başlangıçta Satoshi Nakamoto tarafından yayınlanan anonim bir makaleye dayandırılır. 2008 yılında Bitcoin için tasarlandı, ancak o zamandan beri birçok farklı uygulama ve sektörlerde kullanılmaktadır. İlk olarak sizlere kriptoloji kavramını ele alalım.

Kriptoloji Nedir?

Kriptoloji, matematiksel ve bilgisayar bilimlerini kullanarak iletişimi ve verileri gizlemek, korumak ve sızdırmamak için tasarlanmış bir bilim ve sanattır. Temel amacı, bilgiyi yetkisiz kişilerin anlamasını veya erişmesini engellemektir. Kriptoloji, iki ana kategoriye ayrılabilir: şifreleme ve deşifreleme.

Şifreleme: Kriptolojinin temel bileşenlerinden biri olan şifreleme, açık metni (okunabilir metin) veya veriyi anlaması zor veya imkansız hale getiren bir dönüşüm sürecidir. Şifreleme, matematiksel algoritmalar kullanarak veriyi şifreler ve yalnızca doğru anahtarla çözülebilir hale getirir. Bu, verilerin güvenli bir şekilde saklanmasını ve iletilmesini sağlar.

[1] Elektrik,Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Yüksek Lisans Öğrencisi, Düzce Üniversitesi, Konuralp, Düzce; ORCID : 0000-0001-6914-0480
[2] Düzce Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, Konuralp, Düzce;
ORCID: 0000-0003-1793-2472

Deşifreleme: Deşifreleme, şifrelenmiş veriyi doğru anahtar kullanılarak orijinal açık metin haline getirme işlemidir. Bu, verinin güvenli bir şekilde geri dönüştürülmesini sağlar.

Kriptoloji, gizlilik, veri bütünlüğü ve güvenli iletişim sağlama gibi bir dizi önemli uygulama alanına sahiptir. Ayrıca, kriptografi, dijital imza oluşturma, kimlik doğrulama, veri koruma, güvenlik protokolleri ve daha birçok alanın temelini oluşturur.

Bu bilim dalının birincil hedefi, yetkisiz erişim, veri hırsızlığı ve diğer siber tehditlere karşı verileri ve iletişimi güvence altına almaktır. Günümüzde, kriptoloji, dijital dünyada güvenliği sağlamak için hayati bir rol oynamaktadır ve her geçen gün daha da önemli hale gelmektedir.

Blockchain, kriptografi (şifreleme ve güvenlik teknikleri) algoritmalarını kullanarak verileri güvence altına alan bir teknolojidir. Blockchain, verilerin güvenli ve değiştirilemez bir şekilde saklanmasına ve işlenmesine olanak tanıyan bir dağıtık defter teknolojisidir. Kriptografi, blockchain'in güvenlik özelliklerini sağlamak için kullanılan bir dizi şifreleme ve güvenlik tekniğidir. Blockchain ve kriptografi, birlikte çalışan ancak farklı kavramlardır. Blockchain, kriptografik yöntemlerin kullanıldığı bir teknoloji olarak kabul edilir, ancak kendisi bir kriptolojik algoritma değildir.

Blockchain Teknolojisi Nedir?

Blockchain Teknolojisi, dağıtık defter teknolojileri arasında en bilinen ve yaygın olarak kullanılan teknolojidir. Blockchain, değer değişim işlemlerini (kripto paralar, tokenlar veya bilgi biçiminde) sıralı olarak gruplayan defter türüdür. Her bir blok, içeriğini tam olarak yansıtan bir imza içerir ve bir sonraki blok bu imzayı içerecek şekilde bir önceki bloklara bağlanır. Bu bağlantılar sayesinde, blokların başlangıç bloğuna kadar olan tam tarih sırasını oluşturur.

Bloklar, kriptografik güvence mekanizmalarını kullanarak eşler arası bir ağ üzerinde değiştirilemez bir şekilde kaydedilir. Kripto paralar, merkezi olmayan dijital para birimlerinin bir alt kümesini oluşturur ve bitcoin gibi örnekler, belirli algoritmalar ve protokoller üzerine kurulmuş, eşler arası (P2P), kriptografik ödeme mekanizması, takas aracı ve değer deposu işlevlerini yerine getirir (Gartner, 2018a). Bir token ise belirli bir işlemi gerçekleştirme hakkını veya bir değer nesnesini temsil eden bir dijital öğedir.

Eşler arası (P2P) ağı, finans kurumlarına ihtiyaç duymadan doğrudan finansal işlemleri gerçekleştirme olanağı sunar. Blockchain teknolojisi, sistemin iki aktörünün (düğümler olarak adlandırılır) bir P2P ağında işlem yapmasına ve bu

işlemleri dağıtık bir şekilde kaydetmesine olanak tanımaktadır (Back et al., 2014). Bu, işlem yapılan varlıkların sahiplerini ve işlemi kaydeder.

İşlemler, bir 'konsensüs mekanizması' tarafından ağ tarafından doğrulanan ve tüm ağdaki kaydı güncelleyen bir süreçle doğrulanır (Warburg, 2016). Konsensüs mekanizması, geleneksel olarak merkezi bir sistemde bir aracı veya yönetici tarafından sağlanan veri doğruluğunu sağlamak için kullanılan bir veri bütünlüğü, değiştirilemezlik ve tutarlılık sürecidir. Konsensüs mekanizması, önerilen işlemleri kabul etmek için dağıtık bir ağdaki kullanıcıların bir araya geldiği bir süreçtir. Bu mekanizma, önceki işlemlere dayanarak bir dizi işlem oluşturur, bu da bir defter gibi çalışır.

Blockchain teknolojisi en yaygın bilinen dağıtık defter teknolojilerinden biridir ve finans hizmetleri, sağlık hizmetleri, medya ve reklam, telekomünikasyon, perakende tedarik zinciri yönetimi, sigortacılık, turizm gibi birçok alanda önemli uygulamalara sahiptir.

Dağıtık Defter Teknolojisi Nedir?

Dağıtık defter teknolojisi, verilerin depolanma ve işlenme şeklini tamamen değiştiren bir yaklaşım sunar. Geleneksel veri tabanlarının yerini alarak, verileri daha güvenli, bütünlüğü koruyan ve herkes tarafından erişilebilir kılan bir sistemdir.

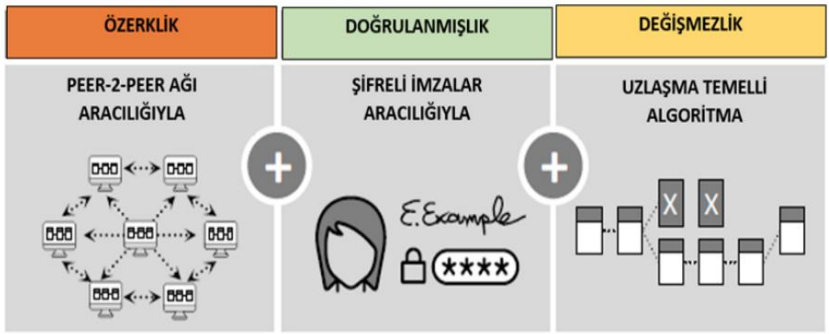
Neden Önemli?

Dağıtık Olma: Veriler artık tek bir yerde değil, birçok farklı yerde saklanır. Bu, verilere erişimin kesilmesi veya zarar görmesi durumunda dahi devam etmesini sağlar.

Güvenlik ve Şifreleme: Veriler güçlü şifreleme yöntemleri ile korunur. Her kopya, diğer kopyaların doğruluğunu matematiksel olarak kontrol ederek güncellenir.

Değiştirilemezlik: Veriler bir kez kaydedildiğinde geriye dönük olarak değiştirilmesi neredeyse imkansızdır. Bu, verilerin güvenilirliğini artırır.

Eşler Arası Ağ: Veriler, bir merkezi sunucuya ihtiyaç duymadan bir eşler arası ağ üzerinde saklanır. Bu, daha fazla güvenilirlik ve bağımsızlık sağlar.



Şekil 1 Blok Zincir Unsurları (Hackius ve Petersen, 2017)

Şekil 1'de blok zincir unsurları olan özerklik, doğrulanmışlık ve değişmezlik ağ ve algoritma yapıları gösterilmiştir.

Nasıl Kullanılır?

Bu teknoloji özellikle kripto paralar ve blockchain gibi alanlarda yaygın olarak kullanılır. Örneğin, blockchain, değer transferi işlemlerini güvence altına almak için kullanılır. Ancak dağıtık defter teknolojisi, finans sektörü dışında sağlık, lojistik, tedarik zinciri yönetimi gibi birçok alanda da kullanılabilir. Bu teknoloji, verilerin güvenliği ve işlemlerin izlenebilirliği açısından büyük bir öneme sahiptir.

Blockchain Teknolojisi Temel Özellikleri

Blockchain, verilerin bloklar adı verilen gruplarda saklandığı bir dağıtık defter teknolojisidir. Her blok, önceki bloğun özetini (hash) içerir ve bu şekilde bloklar bir zincir oluşturur. Bu bloklar, ağın tüm katılımcıları tarafından paylaşılan bir kopyada bulunur.

Blockchain'in temel özellikleri şunlardır:

Dağıtık Muhafaza: Veriler, ağdaki birçok düğüm (node) tarafından tutulur ve güncellemeler her düğüm tarafından onaylanır. Bu, verilerin merkezi bir sunucuda değil, ağın tamamında dağıtık bir şekilde saklanmasını sağlar. Bu da ağın güvenilirliğini artırır.

Kriptografi: Veriler, güvenli bir şekilde şifrelenir ve bloklar arasındaki bağlantılar matematiksel algoritmalar kullanılarak sağlanır. Bu, verilerin gizliliğini ve güvenliğini artırır ve yetkisiz erişimlere karşı koruma sağlar.

Değiştirilemezlik: Bir kez kaydedilen veriler, geriye dönük olarak değiştirilmesi zor veya imkansızdır. Bu özellik, geçmiş işlemlerin izlenebilirliğini ve güvenilirliğini sağlar.

Merkeziyetsizlik: Blockchain, herhangi bir merkezi kuruluşa veya otoriteye ihtiyaç duymaz. Bu, kullanıcılar arasında doğrudan peer-to-peer işlemlerin gerçekleştirilmesine olanak tanır ve merkezi hilelere karşı korur.

Şeffaflık: Tüm ağ katılımcıları, verilerin geçmişi ve mevcut durumu hakkında bilgi sahibi olabilir. Bu, ağın güvenilirliğini artırır ve işlem manipülasyonlarını önler.

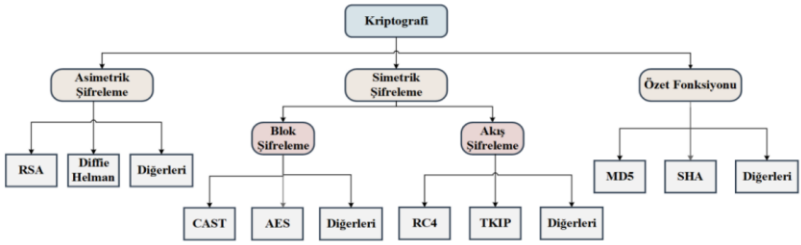
İşlem Güvencesi: İşlemler, ağdaki katılımcılar tarafından matematiksel olarak doğrulanır. İşlem güvencesi, sahte işlemlerin ve çift harcamaların engellenmesine yardımcı olur.

Blockchain teknolojisi, güvenilir veri değişimini ve işlemleri kolaylaştırmayı amaçlar. Bu teknolojinin potansiyel uygulama alanları arasında finans, sağlık, lojistik, akıllı sözleşmeler, oy verme sistemleri ve daha birçok alan bulunmaktadır. Akademik araştırmalar, blockchain teknolojisinin daha fazla geliştirilmesi, güvenirliği ve ölçeklenebilirliği artırılması ve farklı sektörlerde etkili bir şekilde kullanılmasının yollarını araştırmayı amaçlamaktadır.

Blockchain Şifreleme Yöntemleri

Blockchain şifreleme yöntemleri, verilerin güvenliğini ve gizliliğini sağlamak için kullanılan kriptografik teknikleri içermektedir. Blockchain şifreleme yöntemleri, blockchain ağlarının güvenilirliğini arttırmaktadır. Bu sayede verilerin korunmasını sağlamaktadır.

Blockchain teknolojisi şifreleme süreci asimetrik şifreleme mi simetrik şifreleme yöntemi mi kullanılır? Blockchain şifreleme sürecinde asimetrik şifreleme yöntemini kullanmaktadır. Kısaca sizlere asimetrik şifreleme ile simetrik şifreleme yöntemlerini açıklayalım.



Şekil 2 Kriptolojinin kategorik sınıflandırması (Kaya, A. & Türkoğlu, İ. (2023)).

Şekil 2'de kriptolojinin kategorik sınıflandırılması asimetrik, simetrik şifreleme ve özel fonksiyon akış şeması gösterilmiştir.

Asimetrik (Açık Anahtarlı) Şifreleme

Asimetrik şifreleme, farklı anahtarların kullanıldığı bir şifreleme yöntemidir ve genellikle "açık anahtarlı şifreleme" olarak da adlandırılır. Bu şifreleme türünde, iletişimde yer alan iki tarafın her biri için iki farklı anahtar bulunur: biri açık anahtar (public key) ve diğeri gizli anahtar (private key) olarak adlandırılır.

Asimetrik şifreleme yönteminin temel özellikleri şunlardır:

Açık Anahtar ve Gizli Anahtar: İletişimdeki her iki tarafın bir çift anahtarı vardır. Açık anahtar herkes tarafından bilinebilir ve veriyi şifrelemek için kullanılır. Gizli anahtar ise sadece sahibi tarafından bilinir ve şifrelenmiş veriyi çözmek için kullanılır.

Anahtar Çifti Eşleşmesi: Açık anahtar ile veriyi şifreleyen taraf, bu şifreyi yalnızca kendi gizli anahtarıyla çözebilir. Bu, iletişimde güvenliği artırır, çünkü herkes açık anahtarı bilebilir, ancak sadece gizli anahtar sahibi veriyi çözebilir.

Güvenli Anahtar Dağıtımı Sorunu Çözümü: Asimetrik şifreleme, anahtarların güvenli bir şekilde dağıtılması sorununu çözer. Her kullanıcı kendi açık ve gizli anahtar çiftini oluşturur ve açık anahtarını diğer kullanıcılarla paylaşılabilir.

Veri İmzalama: Asimetrik şifreleme aynı zamanda veri imzalama işlemleri için de kullanılır. Bir kişi, veriyi kendi gizli anahtarıyla imzalar ve diğerleri bu imzayı o kişinin açık anahtarı ile doğrulayabilir.

Yavaş İşlem: Asimetrik şifreleme işlem hızı genellikle simetrik şifrelemeye göre daha yavaştır. Bu nedenle genellikle daha küçük veri parçalarını şifrelemek ve çözmek için kullanılır.

Asimetrik şifreleme, özellikle güvenli iletişim ve dijital imza işlemleri gibi alanlarda yaygın olarak kullanılır. Örnek olarak, RSA (Rivest–Shamir–Adleman) ve ECC (Elliptic Curve Cryptography) gibi asimetrik şifreleme algoritmaları bulunur. Bu yöntem, açık anahtarlı altyapıyı kullanan çevrimiçi iletişim, e-posta şifrelemesi, güvenli internet bağlantıları ve diğer güvenlik uygulamaları için temel bir bileşen olarak hizmet verir.

Simetrik Şifreleme

Simetrik şifreleme, aynı anahtarın kullanıldığı bir şifreleme yöntemidir. Veriyi şifrelemek ve çözmek için aynı anahtar kullanılır. Bu nedenle, iletişimde iki taraf arasında güvenli bir şekilde veri alışverişi yapmak için aynı anahtarın paylaşılması gerekir.

Simetrik şifreleme yönteminin temel özellikleri şunlardır:

Aynı Anahtar: İletişimdeki her iki tarafın aynı şifreleme anahtarını kullanması gerektiği için bu yöntem "simetrik" olarak adlandırılır.

Hızlı İşlem: Simetrik şifreleme, veriyi hızlı bir şekilde şifrelemek ve çözmek için tasarlanmıştır. Bu nedenle işlem hızı yüksektir.

Veri Gizliliği: Şifreleme, verilerin gizliliğini sağlar, çünkü üçüncü tarafların şifrelenmiş veriyi anlamaları zordur.

Ancak simetrik şifreleme yönteminin temel bir zorluğu vardır: Anahtar paylaşımı. İki tarafın aynı anahtarı kullanabilmesi için anahtarın güvenli bir şekilde paylaşılması gerekir. Bu, anahtarın güvenliğini sağlamak için güvenilir bir iletişim kanalına ihtiyaç duyulmasına neden olabilir. Anahtar güvenliği sağlanmadığında, veriler risk altında olabilir.

Örnek olarak, popüler simetrik şifreleme algoritmalarından biri olan AES (Advanced Encryption Standard) kullanılabilir. İki taraf, aynı AES anahtarını paylaşarak verileri şifreleyebilir ve çözebilir. Ancak bu anahtarın güvende olduğundan emin olunmalıdır.

Blockchain şifreleme süreci tek yönlü mü çift yönlü mü sorusunun cevabı çift yönlüdür.

Blockchain, hem verileri güvenli bir şekilde şifrelemek hem de şifrelenmiş verileri çözebilmek için çift yönlü şifreleme yöntemlerini kullanır. Bu, blockchain'in işlem güvenliğini ve veri bütünlüğünü sağlamak için önemlidir.

Blockchain'deki veri şifreleme süreci aşağıdaki gibi işler:

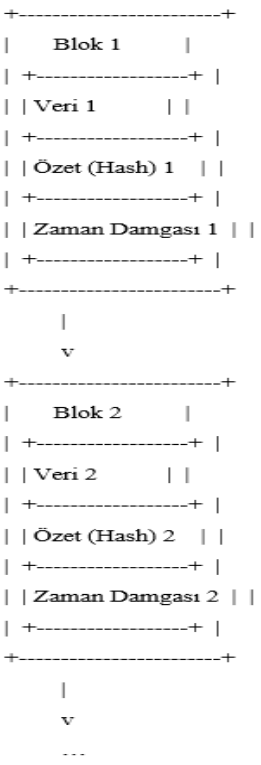
Şifreleme (Encryption): Veriler, açık anahtarlı şifreleme yöntemiyle şifrelenir. İşlemi gerçekleştiren taraf, alıcıların açık anahtarını kullanarak veriyi şifreler.

Çözme (Decryption): Şifrelenmiş veri, yalnızca alıcıların gizli anahtarı ile çözülebilir. Sadece gizli anahtarı olanlar, şifrelenmiş veriyi açabilir.

Bu süreç, blockchain işlemlerinin güvenliğini ve gizliliğini sağlar. Ayrıca, işlemlerin kayıtlarının değiştirilmesini veya sahtekarlığı engellemeye yardımcı olur.

Blockchain Şifreleme Süreci

Blockchain, verilerin bloklar halinde birbirine bağlı bir zincirde saklandığı bir dağıtık defterdir. Her blok, önceki bloğun özetini (hash) içerir ve bu sayede bloklar birbirine bağlıdır. İşte bir blockchain şeması:



ISBN: 978-625-6971-84-4

Her yeni blok, önceki bloğun özetini içerdiğinden, tüm bloklar birbirine bağlı bir zincir oluşturur. Bu, geçmiş işlemlerin ve verilerin değiştirilemezliğini ve izlenebilirliğini sağlar.

Blockchain veri şifreleme süreci, blockchain ağlarındaki verilerin güvenliğini sağlamak için kullanılan bir dizi kriptografik yöntemi içerir. İşte bu sürecin temel adımları:

Veri Oluşturma: Kullanıcılar veya işletmeler blockchain ağına yeni veriler eklerler. Bu veriler, örneğin bir işlem veya bir akıllı sözleşme olabilir.

Özet (Hash) Oluşturma: Eklenen veri, bir özet (hash) algoritması kullanılarak özetlenir. Bu algoritma, veriyi sabit bir uzunlukta bir dizeye dönüştürür. Bu özet, verinin benzersiz bir parmak izi gibidir ve verinin bütünlüğünü doğrulamak için kullanılır.

Şifreleme: Bazı blockchain ağları, veriyi daha fazla güvence altına almak için şifreleme teknikleri kullanır. Bu, verinin yalnızca yetkilendirilmiş kullanıcılar tarafından okunmasını sağlar.

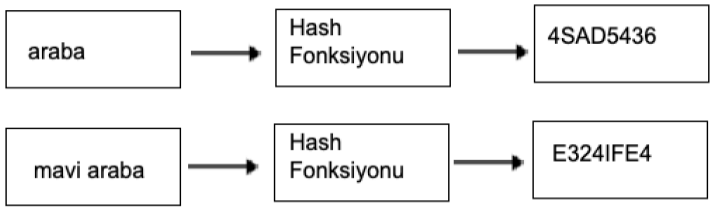
Özet Eklenmesi: Veri ve özet, yeni bir bloğun içine eklenir. Bu blok, ağın diğer düğümleri tarafından doğrulanır ve onaylanır.

Önceki Bloğun Özeti: Her blok, önceki bloğun özetini içerir. Bu, blokları birbirine bağlar ve değiştirilmesini zorlaştırır.

Bloğun Onaylanması: Yeni blok, ağdaki diğer düğümler tarafından matematiksel olarak doğrulanır. Blok, ağın konsensüs mekanizmasıyla onaylandığında, veri kalıcı hale gelir.

Dağıtım: Onaylanmış blok, ağdaki tüm düğümlere dağıtılır ve veri kopyaları eşzamanlı olarak güncellenir.

Bu süreç, her yeni veri eklemesi için tekrarlanır ve yeni bloklar blockchain'e eklenir. Şifreleme, özellikle hassas finansal veya kişisel verilerin güvence altına alınması için önemlidir. Blockchain, bu yöntemlerin bir araya gelmesiyle verilerin güvenliğini ve bütünlüğünü korurken, aynı zamanda verilerin değiştirilemezliğini ve izlenebilirliğini sağlar.



Şekil 3 Hash (Özet) Fonksiyonu

Şekil 3'de Hash fonksiyonları, herhangi bir girdi verisini sabit bir boyuttaki çıktıya dönüştüren matematiksel işlemlerdir. Örneğin, "araba" kelimesi için 4SAD5436 gibi sabit uzunluklu bir çıktı elde edilir. Aynı zamanda, "mavi araba" gibi daha uzun bir girdi de aynı sabit boyutta bir çıktı üretir. Bu, hash fonksiyonlarının herhangi bir girdiyi aynı çıktı uzunluğuna sıkıştırma özelliği taşıdığını gösterir.

Hash fonksiyonlarının önemli bir özelliği, tek yönlü olmalarıdır. Yani çıktıdan girdiye doğru dönüş yapmak pratik olarak imkansızdır. Örneğin, 4SAD5436 çıktısından "araba" kelimesini elde etmek mümkün değildir. Hash fonksiyonları, veriyi gizlemek veya korumak için kullanılabilir, ancak orijinal veriye geri dönüş sağlamazlar.

Bu nedenle hash fonksiyonları, verilerin güvenli bir şekilde depolanması, doğrulanması ve bütünlüğünün korunması gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Bu fonksiyonlar, veri güvenliği, şifreleme, parola koruma ve daha birçok alanda kritik bir rol oynar.

Blockchain SHA-256 Şifreleme

SHA-256 (Secure Hash Algorithm 256-bit), kriptografik bir karma işlemi için kullanılan ve genellikle verilerin bütünlüğünü doğrulamak veya dijital imzalar oluşturmak için kullanılan bir kriptografik karma işlemidir. SHA-256, SHA (Secure Hash Algorithm) ailesinin bir üyesidir ve özellikle kripto paraların ve blockchain teknolojisinin temelinde yer alır.

SHA-256'nın ana özellikleri şunlardır:

256 Bit Uzunluk: SHA-256 çıktıları her zaman 256 bit (32 bayt) uzunluğundadır.

Dizgiyi Karmalama: SHA-256, girdi olarak bir dizgiyi (veri veya metin) alır ve bu dizgiyi sabit bir uzunluklu bir kriptografik karma değeriyle temsil eden bir çıktı üretir.

Dijital İmza: SHA-256, dijital imzalar oluşturmak için kripto paralar ve blockchain gibi birçok uygulamada kullanılır. Bir verinin SHA-256 karması, verinin benzersiz bir temsili olarak kullanılabilir ve verinin değiştirilip değiştirilmediğini doğrulamak için kullanılır.

Bütünlük Kontrolü: SHA-256, bir dosyanın veya veri kümesinin bütünlüğünü kontrol etmek için kullanılabilir. Veri üzerinde herhangi bir değişiklik yapıldığında, SHA-256 çıktısı büyük olasılıkla tamamen farklı bir değere dönüşecektir.

Hızlı ve Güvenilir: SHA-256, verilerin hızlı bir şekilde karma değerlerine dönüştürülmesini sağlar ve bu işlem sırasında güvenilirliği garanti eder.

SHA-256, kriptografik işlemlerde kullanılan ve verilerin bütünlüğünü, güvenilirliğini ve kimlik doğrulamasını sağlayan önemli bir kriptografik karma işlemidir. Kripto paraların ve blockchain teknolojisinin temelinde yer alması, bu alanda büyük bir öneme sahiptir.

SHA-256 şifrelemesi için girilen değerler hash değerlerine dönüştürülür. Bu işlem tek yönlüdür ve oluşan hash değerleri geri çevrilemez. Bu yapıda dikkat edilmesi gereken nokta ise hash değerlerinin karmaşık düzenleri nedeniyle tahmin edilmemesi ve gizli sonuçların birbirinden tamamen farklı olmasıdır. Yani oluşan hash değerlerinin tahmin edilmesi imkansızdır. “ blockchain ” kelimesini SHA - 256 şifreleme çıkan şifrelenmiş 32 bit karakterli sonuca bakalım.

Örnek SHA-256;

ef7797e13d3a75526946a3bcf00daec9fc9c9c4d51ddc7cc5df888f74dd434d1

Blockchain sistemleri, günümüzün dijital işlemlerinin sırasında gerek duyduğu üst düzey güven ve güvenliği oluşturmaktadır. Bu güvenlik de şifreleme yönteminden geçmektedir.

SHA - 256 şifreleme algoritması ile işlemlerini yapmaktadır. SHA-256'nın özellik verilerini standart bir hale ve büyüklüğe çevirme işlevidir. Girilen veriler farklı boyutlarda ve donanımlarda olabilir. Sonuç olarak her zaman aynı yapı içinde olacaktır.

Blockchain'in Tarihçesi ve Gelişimi

Blockchain teknolojisi, dijital varlıkların ve işlemlerin güvenilir bir şekilde yönetilmesini sağlayan dağıtık defter teknolojisi olarak kabul edilir. Bu teknoloji,

kripto para birimi olan Bitcoin'in yaratıcısı Satoshi Nakamoto tarafından ilk olarak 2008 yılında önerilmiş ve 2009 yılında Bitcoin ağı ile hayata geçirilmiştir. Blockchain teknolojisinin tarihçesi, şu önemli aşamaları içermektedir

1. Bitcoin'in Ortaya Çıkışı (2009) Blockchain teknolojisi, Bitcoin'in temel altyapısı olarak kullanılmak üzere yaratıldı. Satoshi Nakamoto, Bitcoin beyaz kağıdını yayınlayarak, işlem güvencesi sağlamak ve merkezi olmayan bir dijital para birimi oluşturmak için blockchain'i tanıttı. Bu, blockchain teknolojisinin ilk uygulamaların başlangıcıydı.

2. İlk Alternatif Kripto Paralar (2011) Bitcoin'in başarısının ardından, başka kripto paralar ve blockchain projeleri geliştirilmeye başlandı. Litecoin (2011) ve Namecoin (2011) gibi alternatif kripto paralar, blockchain teknolojisinin gelişmesine katkıda bulundu.

3. Ethereum ve Akıllı Sözleşmeler (2015) Ethereum, blockchain teknolojisini daha da ileri taşıyan bir adımdı. Bu platform, akıllı sözleşmeleri uygulamak için tasarlandı. Akıllı sözleşmeler, koşullara bağlı olarak otomatik olarak çalışabilen kod parçacıklarıdır. Ethereum'un gelişimi, blockchain teknolojisinin daha geniş bir uygulama yelpazesi için kapılarını açtı.

4. İşletmelere Yönelik Blockchain Projeleri (2017) 2017 yılında, işletmeler ve büyük kuruluşlar, blockchain teknolojisinin potansiyelini fark etti. Bu dönemde, işletmelere özel blockchain projeleri ve konsorsiyumlar ortaya çıktı. Özellikle finans, lojistik ve sağlık sektörlerinde blockchain projeleri büyümeye başladı.

5. Interblock Zincir Teknolojileri (2020'lerin Başları) Blockchain teknolojisinin evrimi, interblok zincir teknolojileri ile daha da ilerledi. Bu teknolojiler, farklı blockchain ağlarını birleştirmek ve daha büyük ölçekte işlemleri işlemek için kullanılıyor. Bu, özellikle finans sektöründe ve uluslararası ticarette verimliliği artırmak için önemli bir gelişmeyi temsil ediyor.

6. Regülasyon ve Standartlar (2020'lerin Ortaları) Blockchain teknolojisinin yaygınlaşmasıyla birlikte, dünya genelinde regülasyon ve standartlar geliştirilmeye başlandı. Bu, blockchain projelerinin daha fazla benimsenmesini ve yasal bir çerçeve içinde faaliyet göstermelerini sağlamak için önemlidir.

Başlangıçta dijital para birimleri için kullanılan bir teknoloji olarak başlayan blockchain, şimdi birçok farklı sektörde kullanılan ve gelecekte daha da büyümesi beklenen bir teknoloji haline gelmiştir. Bu evrim, blockchain'in teknik, ekonomik ve toplumsal açıdan önemli bir konsept olduğunu vurgular.

ISBN: 978-625-6971-84-4

Blockchain Tabanlı Uygulamaların Çeşitleri

Blockchain dijitalleşen dünyanın yeniliklerini içerir. Blockchain her sektör için uygun sistem ve uygulamaları mevcuttur. Sağlık hizmetleri, kamu, finansal, seyahat, ulaşım, tedariz zinciri, perakende gibi birçok alanda hizmet vermektedir. Dünya'da kullanılan blockchain uygulamaları ve sistemleri analizi ve geliştirilmesi için neler yapılabilir.

Blockchain Teknolojisi Kullanıldığı Sektörler

- Tedarik Zinciri
- Sağlık Hizmetleri
- Perakende
- Medya ve Reklam
- Telekomünikasyon
- Petrol ve Gaz
- Sigortacılık
- Finansal Hizmetler
- Seyahat ve Ulaşım

Blockchain teknolojisi, dağıtık ve güvenilir bir yapı sunması nedeniyle birçok farklı sektörde geniş bir uygulama yelpazesi sunmaktadır. Blockchain tabanlı uygulamaların çeşitleri ve bu uygulamaların farklı sektörlerdeki etkileri ele alınacaktır.

1. Finans Sektörü

Blockchain, finans sektöründe büyük bir devrim yaratmıştır. Kripto paraların yanı sıra dijital varlık yönetimi ve ödeme sistemleri için kullanılan blockchain uygulamaları öne çıkmaktadır. Akıllı sözleşmeler, finansal işlemlerin otomatikleştirilmesine olanak tanırken, merkezi olmayan finans (DeFi) platformları, geleneksel finansal aracıları ortadan kaldırarak kullanıcılara doğrudan erişim sağlar.

2. Sağlık Sektörü

Sağlık sektörü, hastaların sağlık kayıtlarının güvenli bir şekilde saklanması ve paylaşılmasında blockchain teknolojisinden faydalanmaktadır. Bu sayede hasta

verilerinin gizliliği ve bütünlüğü korunurken, tıbbi araştırmalar için büyük veri kümesi oluşturulmasına olanak tanır.

3. Tedarik Zinciri Yönetimi

Blockchain, tedarik zinciri yönetimindeki verimliliği artırmak ve ürünlerin izlenebilirliğini sağlamak için kullanılır. Ürünlerin tedarik zinciri boyunca adım adım takip edilmesi, sahte ürünlerin önlenmesine yardımcı olur ve gıda güvenliği gibi kritik konularda güvenilirlik sağlar

4. Gayrimenkul ve Mülkiyet Yönetimi

Blockchain, mülkiyet kayıtlarının güvenli bir şekilde saklanmasını ve transfer edilmesini sağlar. Bu, emlak işlemlerinin hızlı ve güvenilir bir şekilde gerçekleşmesini kolaylaştırır.

5. Oylama Sistemleri

Oylama sistemleri için blockchain, seçimlerin güvenli ve şeffaf bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanır. Her oy kaydı, blok zincirinde şifrelenmiş ve değiştirilmez bir şekilde saklanır, bu da oy hırsızlığı ve manipülasyonu riskini azaltır.

6. Enerji Yönetimi

Blockchain, enerji üretimi ve dağıtımını izlemek ve optimize etmek için kullanılır. Bu, enerji verimliliğini artırırken, yeşil enerji kaynaklarının izlenmesine ve ticaretine olanak tanır.

7. Eğitim ve Akademik Kayıtlar

Eğitim sektörü, akademik kayıtların blockchain üzerinde güvenli bir şekilde saklanması ve doğrulanmasında faydalanır. Bu sayede diploma sahtekarlığı riski azalır.

Sonuç olarak, blockchain teknolojisinin farklı sektörlerdeki uygulama çeşitliliği, bu teknolojinin çok yönlü ve potansiyel olarak dönüştürücü bir araç olduğunu göstermektedir.

Her sektör, özel ihtiyaçlarına uygun şekilde blockchain'i kullanarak verimlilik artışı, güvenilirlik ve şeffaflık elde edebilir. Bu nedenle, blockchain tabanlı uygulamaların gelecekte daha fazla çeşitlilik ve büyüme göstermesi beklenmektedir.

ISBN: 978-625-6971-84-4

Blockchain Uygulamaların Sağladığı Avantajlar

Devlet Alanında Kullanım

- Tüm verileri ulaşılabilir olması
- Esnek ve değişemez olması
- Saldırılara karşı güvenli olması
- Az enerji tüketimi sağlaması
- Arşivlere kolay ulaşma imkanı

Gıda Alanında Kullanım

- Envanter oluşturma
- Tedarik zinciri verimliliği
- Marka güveni sağlanması
- Gıda israfı azaltmak ve gıda tazeliğini korumak
- Gıda güvenliği sağlanması
- Gıda sisteminde şeffaflık ve farkındalık oluşturma

Sağlık Alanında Kullanım

- Hasta tıbbı geçmişleri saklanması
- İlaç stoğu tutulması tutulması
- Doktor kayıtları tutulması
- Muayene kayıtları tutulması
- Ameliyat kayıtları tutulması
- Hastane kayıtları tutulması
- Sigorta kayıtları tutulması
- Ücret kayıtları tutulması

Regülasyon ve Güvenlik Konuları

Blockchain teknolojisi, dağıtık ve şifrelenmiş bir yapı sunarak güvenilir işlemlerin ve verilerin saklanması konusunda önemli faydalar sağlar. Ancak, bu teknolojinin hızla yayılması, regülasyon ve güvenlik konularını da beraberinde getirir. Bu çalışmada, blockchain teknolojisinin regülasyon ve güvenlik yönlerini inceleyerek bu konuların karmaşıklığını ve önemini anlamayı amaçlıyoruz.

Regülasyon Konuları

Yasal Çerçeve Belirsizliği: Blockchain teknolojisi ve kripto paralar, birçok ülkede hala net bir yasal düzenlemeye tabi değildir. Bu, işletmeler ve bireyler için belirsizlik yaratır ve bu teknolojinin kullanımını çekinceli hale getirir.

Vergilendirme: Kripto paraların vergilendirilmesi, uluslararası işlemlerde özellikle karmaşık bir meseledir. Farklı ülkeler, farklı vergi kuralları ve yönergelerine sahiptir, bu da uyumluluk sorunlarına yol açabilir.

Kimlik Doğrulama: Blockchain teknolojisi, kimlik doğrulama ve müşteri bilgisi paylaşımı konusunda yeni zorluklar sunar. Bu, özellikle finansal hizmetlerde ve "Müşteriyi Tanı" (KYC) süreçlerinde sorunlar yaratabilir.

Güvenlik Konuları

İşlem Güvencesi: Blockchain, işlemleri kriptografik olarak güvence altına alır, ancak kullanıcıların özel anahtarlarını kaybetmeleri veya çalınmaları durumunda kayıplara neden olabilir.

Madencilik Saldırıları: Bazı blockchain ağları, işlem doğrulama işlemleri için madencilik adı verilen süreçleri kullanır. Bu süreçler, çoğunluğu ele geçirme riski taşır ve bu, merkezi olmayan yapının zarar görmesine yol açabilir.

Ölçeklenebilirlik Sorunları: Bazı blockchain ağları, büyük işlem hacimlerini işlemekte zorlanabilir ve bu da işlem sürelerini ve ücretlerini artırabilir.

Merkezi Olmayan Borsalar: Kripto paraların merkezi olmayan borsalarda alınıp satılması, güvenlik riskleri taşır. Bu borsaların hacklenmesi veya sahtecilik, kullanıcıların kayıplarına yol açabilir.

Hizmetleri ve diğer alanlarda daha fazla benimsenmesi muhtemel olan özel kullanım durumlarına olanak tanır.

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 4 Blok Zincir Akıllı Sözleşme Platformları (GÜRFİDAN & ARISOY, 2021, 67)

Şekil 4'de blockchain akıllı sözleşme ücretsiz olarak hizmet veren platformlar gösterilmiştir.

Gelecekteki Yönelimler ve Beklentiler

Blockchain teknolojisinin gelecekteki olası gelişim ve kullanım alanlarına dair bazı yönelimler ve beklentiler şu şekildedir;

1. **Interblok Zincir Çözümleri:** Gelecekte, farklı blockchain ağlarını birbirine bağlayan ve daha büyük ölçekte işlemleri mümkün kılan interblok zincir (interchain) çözümleri önem kazanacaktır. Bu tür çözümler, farklı blockchain ağlarını birleştirerek işlemlerin hızını ve verimliliğini artırabilir. Ayrıca, farklı sektörler arasında daha iyi işbirliği sağlayabilir.

2. **Akıllı Sözleşmelerin Evrimi:** Akıllı sözleşmeler, gelecekte daha karmaşık hale gelecek ve daha fazla kullanım alanı bulacaktır. Bu, finans, sağlık, emlak ve diğer sektörlerde daha karmaşık işlemlerin otomatikleştirilmesine olanak tanır. Akıllı sözleşmeler, işlemleri koşullara bağlı olarak otomatik olarak gerçekleştirebilir.

3. **Merkezi Olmayan Finans (DeFi):** DeFi projeleri, geleneksel finansal aracıları ortadan kaldırarak ve merkezi olmayan uygulamalar kullanarak finansal hizmetler sunar. Gelecekte DeFi projelerinin büyümesi ve çeşitlenmesi beklenmektedir. Bu, borç alma, kredi verme, likidite havuzları ve daha fazlasını içerebilir.

4. **Özel Blockchain Ağları:** İşletmeler ve kamu kuruluşları, özel blockchain ağları oluşturarak daha fazla kontrol ve gizlilik sağlama eğilimindedir. Özel blockchain ağları, tedarik zinciri yönetimi, sağlık hizmetleri ve diğer alanlarda daha fazla benimsenmesi muhtemel olan özel kullanım durumlarına olanak tanır. Bu, işletmelerin kendi içinde güvenli ve verimli veri paylaşımı yapmasına yardımcı olabilir.

5. **Regülasyon ve Standartlar:** Blockchain teknolojisinin yaygınlaşmasıyla birlikte, dünya genelinde regülasyon ve standartlar geliştirilmeye başlanmıştır. Bu, blockchain projelerinin daha fazla benimsenmesini ve yasal bir çerçeve içinde faaliyet göstermelerini sağlamak için önemlidir. Regülasyonlar, kullanıcıların ve yatırımcıların güvencesini artırabilir.

6. **Enerji ve Çevre Uygulamaları:** Blockchain, enerji üretimini ve dağıtımını izlemek, sürdürülebilir enerji kaynaklarını teşvik etmek ve karbon ayak izini azaltmak için kullanılabilir. Gelecekte, bu tür çevresel uygulamaların blockchain üzerinde daha fazla geliştirilmesi beklenmektedir.

7. **Finansal Hizmetler:** Blockchain, finans sektöründe büyük bir etki yaratmıştır ve bu etki gelecekte daha da büyüyecektir. Özellikle uluslararası para transferleri ve sınır ötesi ödemelerde kullanımı yaygınlaşacaktır. Blockchain, işlemlerin hızını artırabilirken, aynı zamanda maliyetleri düşürebilir. Bu, bankaların ve finans kuruluşlarının verimliliğini artırabilir.

8. **Sağlık Sektörü:** Blockchain, sağlık kayıtlarının güvenli ve şeffaf bir şekilde saklanmasına yardımcı olabilir. Hasta bilgileri, güçlü şifreleme teknikleri ile korunabilir ve hasta verilerine daha güvenli bir şekilde erişim sağlanabilir. Aynı zamanda tıbbi araştırmalara ve ilaç geliştirmeye de katkıda bulunabilir.

9. **Eğitim:** Blockchain, akademik derecelerin ve sertifikaların güvence altına alınmasında kullanılabilir. Bu, diploma sahteciliğini önler ve işverenlere daha güvenilir bilgi sunar.

10. **Tedarik Zinciri Yönetimi:** Blockchain, ürünlerin kaynağını, taşıma sürecini ve depolama koşullarını izlemek için kullanılabilir. Bu, tedarik zincirlerini daha şeffaf ve izlenebilir hale getirir.

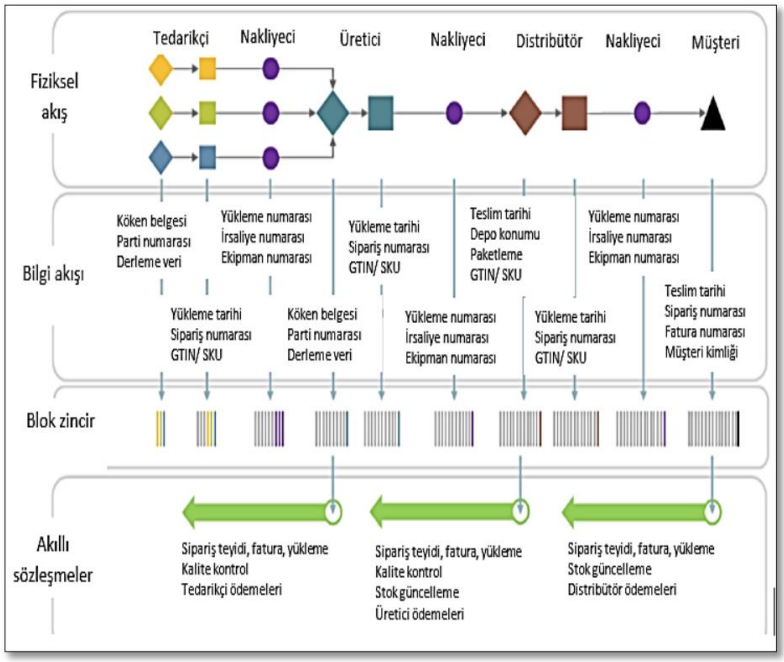
11. **Seçimler ve Oylama Sistemleri:** Blockchain, güvenilir ve şeffaf oy verme sistemleri oluşturmak için kullanılabilir. Bu, oy hilelerini ve manipülasyonları önleyebilir.

12. **Gayrimenkul:** Blockchain, emlak işlemlerini daha güvenli ve hızlı hale getirebilir. Mülkiyet hakları ve tapu kayıtları blockchain üzerinde güvenli bir şekilde saklanabilir.

13. **Oyun ve Eğlence Sektörü:** Blockchain, oyun içi varlıkların ve dijital koleksiyonların yönetimi için kullanılabilir. Bu, oyunculara daha fazla kontrol ve sahiplik hissi sunar.

ISBN: 978-625-6971-84-4

Bu gelecekteki beklentiler, blockchain'in birçok sektörde daha fazla benimsenmesini ve kullanılmasını öngörüyor. Ancak, teknolojinin karşılaştığı bazı zorluklar ve sorunlar da vardır, bu nedenle regülasyon, güvenlik ve ölçeklenebilirlik gibi konuların çözülmesi gerekecektir.



Şekil 5 Tedarik zincirinde blockchain uygulamaları (Bakan & Şekkeli, 2019, 12)

Şekil 5'de blockchain teknolojisinin tedarik zinciri yönetimini desteklemek için nasıl kullanılabildiği gösterilmiştir. Uygulama süresi boyunca fiziksel akış, bilgi akışı, blok zinciri ve akıllı sözleşmeler olmak üzere dört ana başlık altında toplanmaktadır.

Sonuç

Bu çalışma, blockchain teknolojisinin gelişimi, uygulamaları, avantajları, dezavantajları, regülasyon ve gelecekteki yönelimler konularına odaklanarak, bu yenilikçi teknolojinin önemini ve etkisini inceledi. Elde edilen bulgular ve analizler, aşağıdaki sonuçlara ulaşmasını sağlamıştır;

Blockchain teknolojisi, finans, sağlık, tedarik zinciri yönetimi, akıllı sözleşmeler, oylama sistemleri ve daha birçok alanda geniş bir uygulama yelpazesi sunmaktadır.

Blockchain'in temel avantajları, güvenli işlemler, şeffaflık, azaltılmış aracı maliyetler, hız ve verimlilik, dağıtık doğrulama ve işlem güvencesi gibi faktörleri içerir.

Dezavantajlar arasında enerji tüketimi, ölçeklenebilirlik sorunları, yasal belirsizlikler, vergilendirme karmaşıklığı ve güvenlik riskleri bulunmaktadır.

Regülasyon, blockchain teknolojisinin daha geniş bir benimsenmesi ve düzenlenmesi için önemli bir sorundur.

Dünya genelinde regülasyonlar ve standartlar geliştirmek, kullanıcıların güvenliğini artırabilir ve sektörler arası işbirliğini teşvik edebilir.

Gelecekteki yönelimler arasında interblok zincir çözümleri, akıllı sözleşmelerin evrimi, merkezi olmayan finans (DeFi) ve özel blockchain ağlarının genişlemesi yer almaktadır.

Sonuç olarak, blockchain teknolojisi, iş dünyası, toplum ve ekonomi üzerinde önemli bir etki yapmaya devam etmektedir.

Ancak, bu teknolojinin potansiyelini tam olarak gerçekleştirmek için regülasyon, güvenlik önlemleri ve endüstri işbirliği gerekmektedir. Gelecekteki çalışmalar, blockchain teknolojisinin daha fazla benimsenmesini ve geliştirilmesini desteklemek için önemli bir rol oynayacaktır.

KAYNAKÇA

Allessie, D., Sobolewski, M. ve Vaccari, L., Dijital hükümet için Blockchain, Pignatelli, F. editör(ler), EUR 29677 EN, Avrupa Birliği Yayın Ofisi, Lüksemburg, 2019, ISBN 978-92-76 -00581-0, doi:10.2760/942739, JRC115049. Erişim Tarihi : 05.10.2023

Blockchain in healthcare and life sciences industries | IBM, https://www.ibm.com/blockchain/resources/healthcare/#section-1

IBM (2016). Healthcare rallies for blockchain: Keeping patients at the center. https://www.ibm.com/downloads/cas/BBRQK3WY IBM BlockchainPulse

Protect pharmaceutical product integrity with the pharmaceutical utility network. https://www.ibm.com/blogs/blockchain/2019/12/protectpharmaceutical-product-integrity-with-the-pharmaceutical-utility-network/

Ünsal, E. ve Kocaoğlu, Ö. (2018). Blok Zinciri Teknolojisi: Kullanım Alanları, Açık Noktaları ve Gelecek Beklentileri . Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (13), 54-64. DOI: 10.31590/ejosat.423676

Topaloğlu, B. (2021). Kripto Paraların Devlet Otoritleriyle Entegrasyonu . Düşünce ve Toplum Sosyal Bilimler Dergisi, (4), 244-258.

https://dergipark.org.tr/en/pub/dusuncevetoplum/issue/63163/936520 adresinden erişildi.

Avunduk, H. & Aşan, H. (2018). Blok Zinciri (Blockchain) Teknolojisi ve İşletme Uygulamaları: Genel Bir Değerlendirme . Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi , 33 (1) , 369-384 . DOI: 10.24988/deuiibf.2018331746

Yavuz, M. (2019). EKONOMİDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM: BLOCKCHAIN TEKNOLOJİSİ VE UYGULAMA ALANLARI ÜZERİNE BİR İNCELEME . Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi , 4 (1) , 15-29 . DOI: 10.29106/fesa.498053

John Wiley & Sons, Inc. (2017), "Blockchain For Dummies®, IBM Limited Edition" https://www.ibm.com/account/reg/us-en/signup?formid=urx-16905

Bakan, İ. & Şekkeli, Z. H. (2019). Blok Zincir Teknolojisi ve Tedarik Zinciri Yönetimindeki Uygulamaları . OPUS International Journal of Society Researches , 11 (18) , 2847-2877 . DOI: 10.26466/opus.563240

Kırbaş, İ. (2018). Blokzinciri Teknolojisi ve Yakınki Uygulama Alanları . Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9 (1), 75-82. DOI: 10.29048/makufebed.365066

Tribis, Y., El Bouchti, A., Bouayad, H., ve El Ghazi, H. (2018). Supply chain management based on Blockchain: A systematic mapping study. MATEC Web of Conferences, vol. 200, p. 20 doi:10.1051/matecconf/201820000020

Ammous, S. (2016). Blockchain technology: What is it good for?. Available at SSRN 2832751.

Petersen, M., Hackius, N., & von See, B. (2018). Mapping the sea of opportunities: Blockchain in supply chain and logistics. it-Information Technology, 60(5-6), 263-271.



BÖLÜM 27

ISBN: 978-625-6971-84-4

İKLİM DEĞİŞİMİ, GIDA ZİNCİRİ VE ANTİBİYOTİK DİRENCİ

Mevhibe TERKURAN[1]

1. Giriş

Dünya, küresel ısınmanın sonucu olarak, insanlığın ve yeryüzündeki diğer milyonlarca yaşam türünün, hayatta kalması açısından olumsuz sonuçlar doğuran insanların ekosisteme zararlı uygulamaları sonucu oluşan bir iklim krizinin ortasındadır. İklim değişikliği, doğrudan insanla bağlantılı morbidite/ mortalite sebebi olabilen ve sağlık hizmetlerinin olumsuz yönde etkilendiği, acilen düzeltilmesi gereken, büyük bir karbon ayak izi sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak, bu durumun temel etkenleri, fosil yakıt kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyonlarıdır. İklimin olumsuz etkilerini yaşama riski pek çok canlıya ve insanlığa etkide bulunurken, değişim sera gazı emisyonları (en zengin %10) nüfus tüm karbon emisyonlarının %52'sinden sorumludur (Gore, 2020). Etiyolojisi ne olursa olsun, iklim değişikliği, halihazırda insan sağlığını etkilemeye devam etmekte ve muhtemelen giderek daha sert ve ciddi şekillerde etkilemeye de devam edecektir (Watts ve ark., 2020). İklim değişikliğinin insan üzerindeki olumsuz etkilerine örnek verilirse; sağlık sorunları, ısıya bağlı ölümler ile gıda güvensizliğini ve mahsul veriminin azalması gibi durumlar görülebilir. Ayrıca, bulaşıcı hastalıkların artışı, yükselen deniz seviyeleri, kardiyovasküler hastalıklara bağlı ölümler, giderek şiddetlenen orman yangınları ve sayısız sağlık sorunları sayılabilir. Bununla birlikte, aşırı hava olaylarından kaynaklanan etkiler; özellikle de sel ve kuraklık gibi sorunlar, iklim değişikliğinin getireceği olumsuzlukların önemli çeşitleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu değişiklikler, en çok da düşük ve orta gelirli ülkelerde yaşayanlar ile düşük sosyo-ekonomik statüye sahip insanları olumsuz yönde etkileyebilecektir (Gore, 2020; Watts ve ark., 2020).

[1] Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, 80760, Osmaniye, Türkiye
ORCID: 0000-0002-3150-459X

Tüm dünyada ve ülkemizde, mevcut sağlık sistemimizin işlevselliğini ayakta tutan temel direklerden biri, bakteriyel enfeksiyonlara karşı etkili antibiyotiklerin bulunmasıdır. Etkili antibiyotikler olmadan ameliyatlar, kanser tedavisi, organ nakli ve pek çok enfeksiyon hastalıkları ölümcül olabilir. Ancak, antibiyotik direnci nedeniyle her yıl, milyonlarca kişi daha hayatını kaybetmektedir. Nitekim günümüzde, dünya çapında her yıl en az 700.000 kişi antimikrobiyal direnç (AMR) nedeniyle ölüyor. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), yeni ve daha iyi tedaviler olmadığında bu sayının 2050 yılına kadar 10 milyona çıkabileceğini öngörerek, ikincil öneme sahip olmayan bir sağlık sorununa dikkat çekmektedir (Mancuso ve ark., 2021). İklim değişikliği, insan sağlığı ve gıda güvenliği meselesi olmasının yanı sıra, gıdalarda bulunan bazı fırsatçı patojen bakterilerin antibiyotik direnci kazanması ile de yakından ilişkilidir. Değişen iklimle birlikte bu durum kırılma noktasına yaklaşacaktır, Çünkü iklim değişikliği ve antibiyotik direnci yakından bağlantılıdır (Mancuso ve ark., 2021; Burnham, 2021).

Bütün bu nedenler doğrultusunda bu derlemede, iklim değişikliğinin antibiyötik direnci ile ilişkisi, gıda zincirinin bu denklemdeki yeri, yapılması gereken proaktif uygulamalar hakkında güncel literatür bilgileri irdelenerek özetlenmeye çalışılacaktır.

2. Sıcaklık ve Antibiyotik Direnci ilişkisi

Sıcaklık. bakteriyel süreçler ve enfeksiyonlarla yakından bağlantılıdır. Antibiyotik direncinin kazanılmasında önemli bir mekanizma olan yatay gen transferi, sıcaklıkların artmasıyla artar. Ayrıca, sıcaklıktaki artışlar genellikle bakteri üreme oranlarını/proliferasyonunu da artırır. Bakteriyel enfeksiyon oranlarının sıcaklıktaki artışlarla ilişkili olduğuna dair önemli kanıtlar bazı çalışmalarda bildirilmiştir (Pietikäinen ve ark., 2005; Philipsborn ve ark., 2016). Örneğin; uluslararası yapılan ve toplam 22 şehri kapsayan bir araştırmada, ekvatordan uzaklığın ve sosyoekonomik faktörlerin Gram-negatif bakteriyemi riskiyle ilişkili olduğunu ortaya çıkarmıştır. Kış aylarında, özellikle antibiyotiğe duyarlı olan *Acinetobacter* spp. enfeksiyonlarının daha az görüldüğü bazı çalışmalarda bildirilmiştir. Başka bir çalışmada, nem, aylık yağış ve sıcaklığın hastanede yatan hastalarda Gram-negatif kan dolaşımı enfeksiyonları oranlarıyla ilişkili olduğunu ortaya çıkarmıştır (Fisman ve ark., 2014; Burnham ve ark., 2019).

Sadece enfeksiyon oranları sıcaklıkla artmaz, aynı zamanda antibiyotik direnci de artan sıcaklıklarla yakından ilişkilidir. Yerel sıcaklığın ve nüfus yoğunluğunun artması, antibiyotik direnci oranlarının artmasına neden olmaktadır. Sıcaklık ve popülasyon yoğunluğu arasındaki ilişki, her yerde

bulunabilen patojenler, örneğin; *Escherichia coli, Klebsiella pneumoniae* ve *Staphylococcus aureus* için de geçerlidir. Sözgelimi; Mac Fadden ve ark., yaptıkları bir çalışmada; antibiyotik direncindeki artışların, iklim değişikliği nedeniyle yükselişte olan ortalama minimum sıcaklık değeriyle ilişkili olduğunu bildirmişlerdir (MacFadden ve ark., 2018). Artan sayıda enfeksiyon ve giderek artan antibiyotiğe dirençli patojenlerin birleşimi, iklim değişikliği kötüleştikçe/arttıkça, kaçınılmaz olarak daha fazla antibiyotiğe dirençli patojenlerin oluşmasına yol açacaktır (MacFadden ve ark., 2018; NCEI, 2018).

Ayrıca, küresel çapta en önemli ishal etkeni patojenlerinden biri olan *Salmonella* spp.'yi irdelediğimizde; ısı ve nem, giderek antibiyotiğe dirençli hale gelen ''Salmonelloz'' oranlarını arttırmaktadır. Ayrıca kümes hayvanlarının bağırsaklarında *Salmonella* spp. kolonizasyonu ısı stresi nedeniyle artış göstermektedir. Milyonlarca küresel vaka, artan vaka sayıları, hayvanlarda artan kolonizasyon oranları ve artan antibiyotik direncinin birleşimiyle iklim değişikliği, dünya çapında ''Salmonellozun'' yükünü ve morbiditesini önemli ölçüde artırma potansiyeline sahiptir (Aik ve ark., 2018; Farag ve Alagawany, 2018).

Daha yüksek sıcaklıkların henüz yeterince araştırılmamış bir sonucu da COVID-19 salgını nedeniyle, her türlü tıbbi karşılaşma için giderek daha fazla kullanılan gereksiz antibiyotik reçetelerinin (COVID-19 salgınıyla ilgisi olmayan ziyaretler) artmasıyla ilişkilendirilmiştir; antibiyotikler reçete edilmekte ve hastalar daha memnun olmaktadır (Martinez ve ark., 2019; Foster ve ark., 2019). Medikal alanda gereksiz antibiyotik kullanımının artması ve yerel reçete yazma uygulamaları, antibiyotik direnci için bilinen risk faktörleri olduğundan bu durumun önemli sonuçları olabilir (MacFadden ve ark., 2018; Foster ve ark., 2019).

3. Afetler ve Enfeksiyonlar

İklim ısındıkça, atmosferin su tutma kapasitesi katlanarak artmaktadır, bu da fırtınaların daha şiddetli olacağı ve daha fazla yağışla birlikte geleceği anlamına gelmektedir. Daha fazla yağış sele, sele bağlı enfeksiyonlara, nüfusun yer değiştirmesine, mültecilere ve aşırı kalabalığa yol açabilir. Aşırı kalabalık da enfeksiyon oranlarındaki artışla yakından ilişkilidir. Su baskını, kirli suyun kanalizasyon hatlarından taşması veya çiftlik hayvanlarının kirlenmesi nedeniyle su kaynaklı enfeksiyonların yayılmasına neden olabilir.

Su baskını ile sonuçlanan aşırı hava olayları, zayıf sanitasyon altyapısını daha güçlü bir şekilde bozacak, zaten kalabalık olan bölgelerdeki kalabalığı artıracak ve antibiyotiğe direnç genleri için bilinen bir rezervuar olan kanalizasyonun

yayılmasıyla antibiyotik direncinin yayılmasına neden olabilecektir. Antibiyotik direncinin yayılmasıyla birlikte, geniş spektrumlu antibiyotiklerin aşamalı kullanımı gerekli olacak ve bu da antibiyotik direncinin gelişmesi ve yayılması şeklinde ölümcül bir döngüye yol açabilecektir (Karkman ve ark., 2018).

Azotlu gübreler, antibiyotik direncini arttırma yönünde pozitif etki gösterir. Dolayısıyla iklim değişikliği nedeniyle, şiddetli su baskını sırasında azotlu gübrelerle sel suyunun kirlenmesi sonucunda antibiyotik direnci de artıracaktır. Su baskını nedeniyle daha da kötüleşebilen ötrofikasyon, antibiyotik direncini arttırma yönünde etki eder ve dirençli patojenlerin ve antibiyotik direnç genlerinin yayılmasına yol açabilir (Forsberg ve ark., 2014; Li ve ark., 2020).

4. Kirlilik ve Antibiyotik Direnci

Giderek artan daha yoğun yağışlar, akışın artmasına ve kaçınılmaz olarak suyumuzdaki kirlilik seviyelerinin artmasına neden olacaktır. Kirleticilerin antibiyotik direnç genlerinin ekspresyonunu ve ‘’bakteriyel mutajenezi’’ tetiklediği bilinmektedir (Chen ve ark., 2019). Tarımsal akışın artması (yani gübrelerden kaynaklanan ötrofikasyon), su sistemlerinde bakteri çoğalmasını artıracak ve yüksek bakteri konsantrasyonları, antibiyotiğe direnç genlerinin transferi olasılıklarını/fırsatlarını da artıracaktır. İmalat ve endüstriyel uygulamalardan kaynaklanan ağır metaller de dahil olmak üzere kirleticiler, iklim değişikliğinin hızlandırdığı aşırı hava olaylarıyla daha şiddetli hale gelecek olan sellerle çevreye yayılabilir. Topraktaki metallerin antibiyotik direncini arttırdığı bilindiğinden bu süreç antibiyotik direncinin yaygınlaşmasına neden olabilecektir (Knapp ve ark., 2011; Seiler ve Berendonk, 2012; Coates-Marnane ve ark., 2016)**.**

4.1. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Kirlilik ve Antibiyotik Direnci Yayılımı

Ortaya çıkan kirletici olarak antibiyotik kalıntıları ve/ veya antibiyotikler, sulu ortamında toksik etkiler gösterebilen ve biyolojik olarak aktif moleküllerdir. Genel olarak bu farmasötikler, farklı çevresel bağlamlarda yaygın olarak bulunmaları ve izleme için özel düzenlemelerin bulunmaması nedeniyle artan endişe yaratan kirleticiler olarak kabul edilmektedir. Avrupa Komisyonu, üye devletleri çevredeki antibiyotiklerin konsantrasyon seviyelerine ilişkin veri toplamaya ve bu substratların izlenecek öncelikli maddeler olarak kabul edilip edilemeyeceğini, değerlendirmeye teşvik etmek amacıyla, antibiyotikler de dahil olmak üzere çeşitli maddelerden oluşan bir ‘’İzleme Listesi’’ oluşturmuştur. Özellike, Florokinolon, siprofloksasin, amoksisilin, azitromisin, klaritromisin ve eritromisin antibiyotikleri yukarıda bahsedilen izleme listesine dahil edilmiştir (Pepi ve Focardi, 2021). Antibiyotikler genellikle, su ürünleri yetiştiriciliğinde yeme ek olarak veya kapalı kaplara daldırma yoluyla uygulanır. Antibiyotiklerin

eklenmesinden sonra su sütununda, kafes altındaki çökeltilerde ve balıklarda konsantrasyonları artar. Antibiyotiklerle değiştirilmiş ve balıklar tarafından sindirilmeyen gıdanın bir kısmı, su ürünleri yetiştiriciliği alanlarının altındaki ve yakınındaki çökeltilerde birikmektedir (Sørum ve ark., 2006; Sapkota ve ark., 2008; Cabello ve ark., 2013; Pepi ve Focardi, 2021)

5. Antibiyotik Direnci, Su Kaynaklı Enfeksiyonlar ve Sanitasyon

İklim değişimine bağlı oluşan su baskınlarına ek olarak, aşırı hava olayları da bazı bölgelerde kuraklığa yol açabilecektir. Kuraklık sırasındaki su kıtlığı, sanitasyonda azalmaya ve aynı su kaynağını paylaşan insan yoğunluğunun artmasına neden olur (Van Huynh ve ark., 2019). Kalabalık ve ortak su kullanımı nedeniyle, su kaynaklı enfeksiyonlar, artan salgınlara hazır hale gelebilmektedir. Bu bağlamda, su ve yiyecek kıtlığı aynı anda ortaya çıkabileceğinden ishal vakalarında artışa ve yetersiz beslenmeye de yol açabilir. Özellikle de çocukların antibiyotiğe dirençli enterik patojenlere yakalanma riski; yetersiz beslenme, kalabalık ve kötü hijyen koşullarından etkilenir (Brander ve ark., 2017). Kaçınılmaz olarak bu durum, daha şiddetli ishale ve daha yüksek ölüm oranlarına yol açabilecek, özellikle de daha yüksek antibiyotik direnci oranları da etkili tedavinin uygulanmasını engelleyebilecektir. Bir diğer kirletici grubu olarak ‘’mikroplastikler’’ ise su kaynaklarındaki bakterilerde gen değişimini artırır ve bu da antibiyotik direncinin daha fazla yayılmasına yol açabilir. İklim ısındıkça, okyanusların ısınması nedeniyle ‘’*Vibrio*’’ türlerinin yaygınlığının ve artabileceği öngörülebilir. Mikroplastikler nedeniyle antibiyotiğe daha dirençli hale gelen bu bakteriler ve antibiyotiğe dirençli ‘’kolera’’ ve ‘’nekrotizan fasiit’’ salgınlarına yol açabilir (Arias-Andres ve ark., 2018; Logar-Henderson ve ark., 2019).

6. Aşağı Yönlü (Dolaylı) Antibiyotik Direnci

İklim değiştikçe bakteriyel ve viral enfeksiyonlar da etkilenebilecektir. Vektör habitatları genişleyecek ve bu da vektör kaynaklı enfeksiyonların sayısının artmasına yol açabilecektir. Daha yüksek sıcaklıklar, aynı zamanda böcek vektör aktivitesini de arttırabilmektedir (Estallo ve ark., 2015; Watts ve ark., 2020). Örneğin; kuraklık, sivrisinek yırtıcılarının (sivrisineklerin yaşamalarına engel olan canlılar) ortadan kaldırılmasına yol açarak onların durgun su birikintilerinde engellenmeden çoğalmalarına olanak tanır. Bir diğer konu da; daha önce tecrübesiz olan popülasyonların (vektör kaynaklı enfeksiyonlara maruz kalmamış) maruz kalmasıyla birlikte, vektör kaynaklı hastalıklardan dolayı hastaneye başvuranların sayısında artış olabilecektir. Özellikle de yoğun bakım gerektiren ağır hastalığı olanların, hastaneye

yatışlarının artmasının sonucu, genellikle antibiyotiğe dirençli olan invaziv cihazlar ve hastane kaynaklı enfeksiyonlarla geçirilen sürenin uzaması da söz konusu olabilecektir (Chamchod ve Ruan, 2012; Chase ve ark., 2017; Watts ve ark., 2020). Ayrıca, kritik hastalığı olan hastaların, antibiyotik direncinin üreme alanı olan bakım evlerine veya rehabilitasyon merkezlerine taburcu edilme olasılıkları daha yüksek olabilecektir. Bu yoldan artan verim (yani vektör kaynaklı hastalıklardan kaynaklanan), antibiyotiğe daha fazla dirençli enfeksiyonlarla sonuçlanabilir. İklim değişikliğinin bir sonucu olarak; vektör kaynaklı hastalıklar açısından risk altındaki nüfusun yalnızca artması beklenmektedir; 2050 yılına kadar 500 milyon kişinin daha risk altında olacağı tahmin edilmektedir (Ryan ve ark., 2019).

Sıtma vektörlerinin çeşitliliği arttıkça, daha önce hiç sıtmaya yakalanmamış olanlar ile ciddi enfeksiyonlara (ve hastane kaynaklı enfeksiyonlara) yakalanma olasılığı daha yüksek olan kişiler de enfeksiyonlara yakalanabilecektir. Genişleyen vektör aralığıyla, ‘’antimalaryal direncin’’ nispeten kontrol altına alındığı alanlar genişleyecek ve yayılabilecektir, bu da ‘’antimalaryal ajan direncinin’’ küresel yükünü arttırabilecektir. İklim değişikliği nedeniyle, ortalamanın üzerinde yağış alan sıtmanın endemik olduğu bölgelerde ise artan durgun su nedeniyle, sivrisinek çoğalması artabilir. Nitekim, iklim değişikliğinin halihazırda sıtmanın daha önce endemik olmayan yerlere yayılmasına da neden olduğu bazı çalışmalarda bildirilmiştir (Lafferty, 2009; Watts ve ark., 2020).

İklim değişikliğine bağlı antimikrobiyal direncin artabileceği bir diğer enfeksiyon türü ise tüberkülozdur. Etkeni ‘’*Mycobacterium tuberculosis”* olan bu enfeksiyon, özellikle akciğerlerde etkili olmakla birlikte vücudun pek çok organını da tutabilmektedir. Kalabalık ortamlar, tüberkülozun bulaşma oranlarını arttırmaktadır. Ayrıca, iklim değişimine bağlı mülteci ve artan nüfus yoğunluğu/kalabalıkla birlikte, kaçınılmaz olarak, tıbbi tanı ve bakıma erişimin olmaması, antibiyotiğe dirençli büyük bir tüberküloz salgınıyla sonuçlanabilecek şekilde yayılmanın da artmasına neden olabilecektir. Antibiyotiğe dirençli tüberkülozla ilgili olarak yapılan bir çalışmada; nem oranının azalmasının (iklim kaynaklı kuraklıktan etkilenen bölgelerde meydana gelebilen) antibiyotiğe dirençli tüberküloz oranlarının daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Özellikle, nüfus yoğunluğu, tüberkülozun yayılmasına yardımcı olmasının yanı sıra diğer organizmalardaki antibiyotik direnciyle de ilişkilidir (Clark ve ark., 2002; Liu ve ark., 2015).

İklim değişikliğinin bir sonucu olarak, bazı bölgelerde daha fazla yağış görülürken bazı bölgelerde daha fazla kuraklık ve kuraklıkla birlikte orman yangınları yaşanabilmektedir. Büyük orman yangınları nedeniyle, insan

kayıpları ve biyolojik çeşitlilik kaybının yanı sıra hayatta kalanlarda solunum sorunları da ortaya çıkabilecektir. Bu durumun kanıtı ise; hem kısa vadede hem de uzun vadede artan kardiyovasküler morbidite ve mortaliteyle sonuçlanabildiği bazı çalışmalarda bildirilmiştir (Du ve ark., 2016; Yap ve ark., 2019; Tapia ve ark., 2020). Ayrıca, ateşe doğrudan maruz kalmak, akciğerde kalıcı yara izi oluşmasına ve bronşektaziye yol açabilmektedir. Bronşektazili hastaların antibiyotiğe dirençli enfeksiyon bakterilerini barındırdıkları ve iklim değişikliği ile antibiyotik direncini birbirine bağlayan ortak nihai yolun bir başka kolu olan birden fazla enfeksiyona/alevlenmeye sahip oldukları bilinmektedir. İklim değişikliği bir kaynak darboğazı yarattığından, çiftçilik ve hayvancılık üreticileri, mahsul ve hayvan verimlerini en üst düzeye çıkarma konusunda giderek daha fazla baskı altında kalabileceklerdir. Geçmişte üründe/et veriminde artış genellikle antibiyotiklerle sağlanmaktaydı. Çiftçilik/hayvancılıkta gereksiz antibiyotik kullanımı azaltılabilmiş olmasa da, baskı altındaki kaynaklar ekosistemlerde antibiyotik direncinin yeniden canlanmasına ve yayılmasına neden olabilecektir (Imam ve Duarte, 2020; Mac Aogáin ve ark., 2020).

Son olarak Covid-19 salgınını irdelendiğinde; iklim değişikliğinin insanların ve hayvanların giderek daha fazla temasa halinde olmarına neden olabilmektedir. Bu durum da pandemik potansiyeli olan zoonotik ve vektör kaynaklı hastalıkların salgınlarına neden olabilmekte ve olmaya da devam edebilecektir. Pandemi ile birlikte, kişisel koruyucu ekipman sıkıntısı ve buna bağlı olarak hastane kaynaklı enfeksiyonlarda artışlar görülmüştür. Hastalıklar ortaya çıkmaya devam ettikçe ve potansiyel olarak örtüştükçe, bu eksiklikler ve bunun sonucunda hastane kaynaklı enfeksiyonlardaki (antibiyotiğe dirençli olma eğiliminde olan) artışlar daha da artabilecektir. İklimin Covıd-19 sonuçları üzerindeki etkilerine gelince, veriler karışıktır; bazı çalışmalar sıcaklığın ölüm oranı üzerindeki etkisini gösterirken diğerleri hiçbir ilişki bulamamıştır. Ancak iklim değişikliği, beraberinde gelen aşırı hava olayları ve partikül madde kirliliğiyle birlikte, kötü Covid-19 sonuçları için bilinen bir risk faktörü olan kardiyopulmoner morbiditeye katkıda bulunabilmektedir. Etkileşimin doğası ne olursa olsun, her yerde mevcut olması nedeniyle iklim değişikliğinin muhtemelen Covıd-19 salgınını ve kurbanlarını etkilemesi kuvvetle muhtemel olabilir (Islam ve ark., 2020; Jamshidive ark., 2020).

7. Gıda Kaynaklı Bakterilerin Direnç Geni Aktarım Mekanizmaları

Meyve ve sebzeler, doğrudan çiğ tüketimi ve dondurma, kurutma, soğutma, asitleştirme, pastörizasyon, UV ışınlaması, modifiye atmosfer koşulu vb. gibi bazı gıda muhafaza teknikleri nedeniyle edinilen (ARB) Antibiyotik Dirençli Bakterilerin ana yollarıdır. Bununla birlikte, bazı gıda muhafaza yöntemleri, gıda kaynaklı bakterileri ve belki de bakteriyel kontaminasyon potansiyelini azaltabilir. Örneğin; UV ışınlaması ve dondurma teknikleri bakteri hücrelerine zarar verebilir veya üzerindeki etkileri baskılayabilir ve bakterileri öldürebilir veya etkisiz hale getirebilir. Hücre duvarı hasarı nedeniyle ölü bakterilerin hücre duvarı parçalanır. Daha sonra olası (ARG) Antibiyotik Direnç genlerini içeren bakteriyel DNA çevreye salınır. DNA'nın bu dönüşümü, ARG'lerin yatay gen transfer mekanizmasıyla çevreye yayılmasında önemli bir rol oynamıştır (Nielsen ve diğerleri, 2007; Rico ve diğerleri, 2007). Bakterilerdeki antimikrobiyal direnç genleri, genellikle kromozomlara veya plazmidler, DNA, transpozonlar, integronlar ve genomik adalar gibi hareketli genetik elementlere yerleşebilir. Ayrıca direnç genleri, bakteriler arasında üç çeşit mekanizma kullanılarak aktarılabilmektedir. Bu mekanizmalar konjugasyon, transdüksiyon ve transformasyon olarak tanımlanmaktadır (Beutlichet diğerleri, 2011; Domingues ve diğerleri, 2012).

7.1. Gıda Zinciri (Hayvanlar, Gıda İşleyicileri ve Sulama) Nedeniyle Antibiyotik Direncinin Yaygınlaşması

Gıda endüstrisindeki, AR/MDR (Antibiotic Resistant-Antibiyotik Dirençli/Multi Drug Resistant-Çoklu İlaca Dirençli) bakterilerinin artmasında gıda işleme aşamalarının, gıda işleyicilerinin ve gıdayla ilgili diğer faktörlerin etkileri çok önemli olmuştur. Örneğin; toprak, yüzeyinde uzun süre yaşayabilen bakteriler nedeniyle AR/MDR bakterileri için önemli bir kaynaktır. Üstelik organik gübreleme, toprakta daha dirençli bakterilerin oluşmasına da katkı sağlayabilir. Bu nedenle meyve ve sebzeler kirlenebilir ve topraktan daha dirençli mikroorganizmalar birikebilir. Hasat, taşıma, kesme, pişirme, paketleme, depolama ve diğer gıda işleme faaliyetleri, AR/MDR bakterilerinin gıda endüstrisinde yayılmasında etkili kontaminasyon faktörleri olabilir (Huijbers ve ark., 2015; Bengtsson-Palme, 2017). Bu nedenle gıda üretim süreçlerinin her aşamasında dirençli bakterilerin önlenmesi faaliyetleri planlanmalı ve uygulanmalıdır.

Çevresel alanda kommensal bakteriler ve patojenler, çok çeşitli konakçılarda dolaştıkları için, genetik materyallerini mobil genetik elementler aracılığıyla çevreye yaymaktadırlar. Bu da MDR türlerinin kısa sürede ortaya çıkması açısından büyük kolaylık sağlar. Bu, evrensel olarak farklı rezervuarlarda meydana gelebilir. Başka bir deyişle besin zincirinde, hayvanların ve insanların gastrointestinal

ISBN: 978-625-6971-84-4

kanallarında ve küreselleşmenin önemli rol oynadığı çevrede görülmektedir (Jones-Dias ve ark., 2016). Bakterilerin genetik transfer elemanları, örneğin transpozonlar, plazmidler, ve bakteriyofajlar, bakterilerde patojenite faktörlerinin kazanımını arttırır. Böylece bakterilerin yeni yerlere uyum sağlama yeteneği artar. Bu durum bakteriyel hastalıkların sayısının artmasına yol açabilmektedir (Jones-Dias ve ark., 2016; Ghaly ve ark., 2017).

Bazı önemli antibiyotiğe dirençli gıda kaynaklı bakteriler ve bunların antibiyotiklere karşı dirençleri aşağıda kısaca özetlenmiştir:

***Salmonella* spp.:** Bu bakterilerin, tetrasiklinler, sülfonamidler, kanamisin kloramfenikol, streptomisin, sefalosporinler ve penisilinler gibi bazı antimikrobiyallere karşı çoklu ilaç direnci kazandıklarını bazı çalışmalar göstermiştir (Olsen ve ark., 2004).

***Campylobacter* spp.:** Bazı çalışmalara göre *Campylobacter* spp. β-laktamlar, kotrimoksazol, makrolidler, kinolonlar, ampisilin, kloramfenikol, linkozamidler, tetrasiklin, aminoglikozitler ve tilosin gibi bazı önemli antibiyotiklere dirençli bulunmuştur (Alfredson ve ark., 2007; Koluman ve ark., 2013).

***Staphylococcus aureus*:** Bu bakteriler genellikle hem hayvanlar hem de insanlar için patojen olarak kabul edilir (Huttner ve ark., 2013).

Süt ürünlerinde antibiyotiğe dirençli *Staphylococcus aureus* suşları hayati öneme sahip olup, pişmiş yemekler, genellikle bu bakteriler tarafından kontamine olmakta ve catering sektöründe gıda kaynaklı hastalıklara neden olabilmektedir.

Türkiye'de yapılan bir araştırmada; antibiyotiğe dirençli *Staphlococcus aureus* ve *Salmonella* spp. çiğ ve tüketime hazır et ürünlerinde bulunmuştur. Bu çalışmada; *S. aureus*'un penisilin-G, oksitetrasiklin, sülfametoksazol, tetrasiklin, eritromisin ve ampisiline dirençli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca tanımlanan *Salmonella* spp. türleri, penisilin-G, sülfametoksazol, eritromisin ve ampisiline dirençli bulunmuştur (Bozkurt, 2018).

***Enterococcus* spp.:** Bu bakteriler, insanların ve sıcakkanlı hayvanların bağırsaklarında bulunur ve gıda ürünlerinin hijyenik kalitesi açısından gösterge olan bakteriler olarak tanımlanır. Enterokoklar, farklı zorlu koşullarda (örneğin düşük veya yüksek pH, sıcaklık ve tuzlu su) hayatta kalabilirler. Zorlu koşullara uyum sağlamaları, onları hastane ortamında tedavisi çok zor olan toplum kökenli enfeksiyonlar ve nozokomiyal (hastane enfeksiyonu) Vankomisine Dirençli Enterokok (VRE) enfeksiyonlarının önemli bir etkeni haline getirmiştir (Werner ve ark., 2013; Staley ve ark., 2014).

***Yersinia* spp.:** Bu cins, *Y. pestis*, *Y. enterocolitica* ve *Y. Pseudotuberculosis* dahil olmak üzere çeşitli patojenik türler içerisinde yer almaktadır. Bu türler ge-

nellikle deniz ürünlerinde bol miktarda bulunur. Klinik ortamlarda; *Y. enterocolitica* suşları septisemi, septik artrit, pnömoni, selülit, menenjit, ampiyem, osteomiyelit ve panoftalmi gibi bazı önemli enfeksiyonlara neden olabilir. Ayrıca sefoksitin ve amoksisilin veya klavulanik asite karşı da bazı suşların direnç gösterdiği bazı çalışmalarda bildirilmiştir (Pham ve ark., 1991; Canniel, 2002).

7.2. AR/MDR Bakterilerin Rezervuarları Olarak Hayvanlar ve Çevre

İnsanların yaşam alanları, gıda hayvanı üretim hatları dahil olmak üzere farklı çevresel alanlarda çeşitli MDR bakteri suşları bulunmuştur. Bazı çalışmalara göre çiftlik hayvanları, domuzlar, kümes hayvanları/tavuklar, hindiler, tavşanlar, böcekler ve evcil hayvanlar gibi diğer bazı hayvanlar da antibiyotiğe dirençli bakteriler taşımaktadır. Ayrıca bazı çalışmalarda da, besi hayvanları, vahşi hayvanlar, böcekler, evcil hayvanlar, toprak ve yüzey suları dahil olmak üzere, doğal çevrede bu bakterilerin varlıklarını belgelemiştir. Bu bakteriler antibiyotiğe dirençli olmasa da antibiyotik direnç genlerini diğer bakterilere aktarabilecekleri için risk oluşturabilirler (Chaoui ve ark., 2019; Verkola ve ark., 2019; Brown ve ark., 2019).

MDR bakterileri, gübre ve atık lagünlerinde hayatta kalabilirler ve bu kaynaklardan çiftliklerin dışındaki alanlara yayılabilirler. Tıp ve veterinerlik gibi sektörlerde antibiyotiklerin sıklıkla kullanılması nedeniyle, çevresel yüzeyler AR/MDR bakterilerini de barındırabilmektedir. Örneğin; Kuzey Almanya'da yapılan bir araştırmada yüzey sularında çoklu ilaca dirençli bakterilerin varlığı değerlendirilmiştir. Sonuç olarak; yüzey sularından izole edilen suşların %58'inin, fenotipik olarak birden fazla ilaca dirençli olduğu bulunmuştur. Ayrıca, MDR izolatlarından ikisinin kolistin direnç geni olan *mcr-1*'i taşıdığı belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada, karbapenemaz enzimi üreten ve $bla_{\text{VIM-1}}$ genini taşıyan *Enterobacter kobei* suşu da tespit edilmiştir. Japonya'da yapılan bir başka çalışmada ise; bazı su kültür sistemlerinin aynı zamanda MDR bakterilerini de içerdiği rapor edilmiştir (Nonaka ve ark., 2012; Walsh ve Duffy, 2013; Falgenhauer ve ark, 2019).

8. Sıcaklığın Antibiyotik Direnci Üzerine Etkisi

Antibiyotikler, hücresel dengeyi değiştirerek bakteri hücrelerinin spesifik hedeflerine etki ederler. Sıcaklığın bakteri hücreleri üzerindeki etkileri değerlendirilirken de benzer değişiklikler görülmektedir. İlginç bir şekilde, antibiyotiklerin bakteri hücrelerinde neden olduğu değişiklikler, sıcaklık artışlarının neden olduğu değişikliklerle örtüşmektedir. Antibiyotiklerin ve sıcaklığın etkilerinin ortak olması nedeniyle, antibiyotik direncinde daha fazla bir artış yaşanabilir (McGough ve ark., 2000). Aminoglikozidler, hem ribozomlara bağlanarak hem de hücrelerde yanlış katlanmış proteinlerin artışını belirleyerek hücre yapılarına zarar veren bir antibiyotik sınıfıdır ve niteliksel olarak benzer

değişikliklere sıcaklık artışları ve ısı şoku stresi de neden olabilir (Greulich ve ark., 2005; Ramirez ve Tolmasky, 2010). Aminoglikozidler gentamisin ve tobramisin, sırasıyla *Bacillus subtilis* ve *P. aeruginosa*'da ısı şoku genlerini indükler (Lin ve ark., 2005; Kindrachuk ve ark., 2011). Aminoglikosid antibiyotik olan kanamisin, *E. coli* türünün bakteri hücrelerinde GroEL, GroES ve DnaK dahil olmak üzere birçok ısı şoku proteininin indüksiyonu gözlemlendiğinde, *E. coli'*de yanlış katlanmış proteinlerle benzer bir tepkiyi tetikleyebilir (Van Bogelen ve ark., 1990; Kohanski ve ark., 2008). Aminoglikozit antibiyotiklerden kanamisin ve streptomisin, *E. coli*'de ısı şoku altında oluşturulana benzer şekilde protein ekspresyon profilini indükler (Van Bogelen ve ark., 1990). Sıcaklığın neden olduğu protein açılmasının etkileri ile translasyonel yanlış okumaya bağlı olarak aminoglikozid kaynaklı yanlış katlanmış proteinlerin etkileri arasındaki benzerlik bazı çalışmalarda gösterilmiştir (Van Bogelen ve ark., 1990; Kohanski ve ark., 2008). *E. coli* türlerinde, 46 °C'ye maruz kalmanın hücresel etkileri ile aminoglikozit antibiyotiklerden gentamisin, tobramisin ve streptomisin'e maruz kalmanın neden olduğu etkiler arasında benzer bir eğilim bazı çalışmalarda gösterilmiştir (Cruz-Loya ve ark., 2019). Antibiyotik ve sıcaklık arasındaki bu ortak etki, fırsatçı insan patojeni olan *Acinetobacter baumannii*'de ısı şoku proteinleri DnaK (Hsp70) ve GroEL'in (Hsp60) ekspresyonunu artıran aminoglikozit antibiyotiklerden streptomisinin etkisi bazı çalışmalarda gösterilmiştir (Cardoso ve ark., 2010). Daha ileri araştırmalar, 30 dakika boyunca 45 °C'de ön işleme tabi tutulan *A. baumannii* hücrelerinin, daha sonra streptomisine maruz bırakıldığında, 37 °C'de ön işleme tabi tutulan hücrelere kıyasla daha iyi proliferasyon/çoğalma gösterdiği bildirilmiştir (Poole, 2012; Monem ve ark., 2020). *A. baumannii*'de aminoglikozid olan streptomisine karşı direnç, aminoglikozid kaynaklı protein yanlış katlanmasına karşı etki eden ‘’şaperoninlerden’’ kaynaklanmaktadır (Goltermann ve ark., 2013). *E. coli'*de ise; nitrofurantoin ve trimetoprim antibiyotiklerinin 44 °C sıcaklıkta ısıya maruz bırakıldığında, benzer etkilerle DNA'ya zarar verdiği kanıtlanmıştır. Isı stresinde DNA onarım mekanizmaları da devreye girmiştir. *E. coli*'de ısıya dayanıklı proteinler üzerinde yapılan araştırmalar, DNA onarımında yer alan *dnaQ, holC, priA, ruvA* ve *ruvC* genleri tarafından kodlanan çeşitli proteinlerin, 47 °C'de büyüme için gerekli olduğunu bildirmişlerdir (Murata ve ark., 2011; Rodríguez-Verdugo ve ark., 2020).

9. İklim Değişikliği ve Antibiyotik Direnci

İklim değişikliği, sıcaklık artışları yoluyla antibiyotik direncinin başlamasını etkileyebilir. Amerika Birleşik Devletleri'nde sıcaklık ve antibiyotik direnci

arasındaki ilişkiler hakkında yapılan bir çalışmada; 1980'den 2010'a kadar sıcaklık verileri toplanmış ve 41 eyaletteki yüzlerce hastane ve laboratuvardan antibiyotiğe dirençli bakteri türlerinin yüzdeleriyle ilgili veriler incelenmiştir. Sonuç olarak; dikkatler, endişe verici üç yaygın patojendeki direnç üzerinde yoğunlaşmıştır. Bunlar: Gram-negatif *E. coli* ve *Klebsiella pneumoniae* ile Gram pozitif *Staphylococcus aureus* bakterileridir. Bu çalışma, minimum sıcaklıktaki her 10 °C'lik artış için, dirençli suşların yüzdesinde anlamlı bir artış olduğunu vurgulamıştır; bu oran *E. coli*'de %4.2, *K. pneumoniae*'de %2.2 ve *S. aureus*'ta %2.7'dir (MacFadden ve ark., 2018). Bu, iklim değişikliğinin öngördüğü sıcaklık artışının, patojen bakterilerde antibiyotik direncinde artışa neden olacağını vurgulayan ve gösteren ilk çalışma olarak karşımıza çıkmaktadır. Avrupa'da 2000'den 2016'ya kadar gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise; 28 Avrupa ülkesinde sıcaklığın antibiyotik direnci üzerindeki etkilerini değerlendirilmiştir. Ayrıca, bakteriyel patojenler dört sınıf antibiyotik varlığında test edilmiştir; bu, ortamdaki minimum sıcaklığın antibiyotik direncinin artış oranları üzerinde uzun vadeli etkisini kanıtlamıştır. Sonuç olarak; *E. coli* ve *K. pneumoniae* patojenleri için tüm antibiyotik sınıflarında, ortam sıcaklığının 10 °C daha yüksek olduğu Avrupa ülkelerinde, incelemenin yapıldığı yıllar içerisinde antibiyotik direncinde daha hızlı artışlar olduğuna dikkat çekilmiştir. Aynı zamanda, antibiyotik direnci artışlarının %0.33/yıl ile %1.2/yıl arasında bir aralıkta yer aldığı belirlenmiştir (McGough ve ark., 2016; MacFadden ve ark., 2018). Çalışmanın bir diğer önemli bulgusu ise; sıcaklıktaki artış eğiliminin, antibiyotiğe dirençli bakteri yüzdesi değerleriyle aynı olmasıdır. Yani, bu durum, daha yüksek sıcaklıklar ile dirençli bakterilerin genel varlığındaki artış arasında bir korelasyon olduğunu kanıtlamaktadır. Çalışma aynı zamanda, daha yüksek sıcaklıklar ile aynı dirençli bakterilerin seviyelerindeki artan değişim oranları arasında bir korelasyon olduğunu da göstermektedir. Geçtiğimiz yirmi yılın sıcaklık değerlerinin, antibiyotik direnci açısından dikkatli bir şekilde değerlendirilmesinin yapıldığı bir başka çalışmada; Avrupa'nın büyük bölümünde antibiyotik direncinin geçici bir analizine olanak sağlanmıştır. Bu çalışmada, son yirmi yılda yapılan dikkatli ve titiz ölçümler, Avrupa'nın büyük bölümünde direncin zamansal analizine olanak sağlamıştır. Daha da önemlisi, genel antibiyotik tüketimi ve direnci etkileyen insan popülasyonu yoğunluğu, kontrol edildikten sonra bile hızlı bir direnç oranı gözlemlenmiştir (MacFadden ve ark., 2018). Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO), antimikrobiyal dirence ilişkin küresel eylem planının 2. Hedefi şu şekildedir: "Sürveyans ve araştırma yoluyla bilgi ve kanıt tabanını güçlendirmek" (WHO, 2015). 2017 EARS-Net gözetim raporunun, önceki yıllarda olduğu gibi, 2013-2016 dönemi için "Avrupa'da kuzeyden güneye ve batıdan doğuya bir eğimin belirgin olduğunu" vurguladığı göz önüne alındığında,

genel bir artış- özellikle de araştırılan Gram-negatif bakteriler için bu değişimin üzerindeki antibiyotik direnci prevalansı- söz konusudur (ECDC, 2017). Bu bilginin ardından Portekiz, İspanya, Kıbrıs, İrlanda, Almanya, Norveç ve Finlandiya'nın temsil ettiği EARS-Net kavramsal gradyanı üzerinde dağıtılan yedi ülkeyi kapsayan başka bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu araştırma, antibiyotik kullanımının ve çevre sıcaklığının çevredeki antibiyotik direncinin yayılmasında rol oynadığına dikkat çekmiştir. Aslında antibiyotiğe dirençli gen yükü güney ülkelerinde (Portekiz, İspanya ve Kıbrıs) kuzey ülkelerine (Almanya, Norveç ve Finlandiya) göre önemli ölçüde daha yüksek olarak bulunmuştur. Avrupa'nın kuzeyindeki ve güneyindeki ülkeler, insanlarda antibiyotik kullanım oranlarının yanı sıra sıcaklık, yağış veya evcil hayvanlarda ve büyükbaş hayvanlarda antibiyotik kullanımı gibi muhtemelen göz ardı edilemeyecek diğer faktörler açısından da farklılık göstermiştir. İkincisi, o bölgedeki antibiyotik veya antibiyotik direnç yükünün genel artışına katkıda bulunabilecek antibiyotik kalıntılarının da söz konusu olabileceği bazı çalışmalarda bildirilmiştir (Pärnänen ve ark., 2019). Su ürünleri yetiştiriciliği bağlamında ise, su ürünleri yetiştiriciliğinin çevresel değişimler açısından sürdürülebilirliğinin dikkate alınması önemlidir. Küresel ısınmanın ve antimikrobiyal direncin su ürünleri yetiştiriciliğini nasıl etkilediğine ilişkin araştırmalar, su ürünleri yetiştiriciliğinin antibiyotik direnç endekslerinin, insan klinik bakterileri, sıcaklık ve ülkelerin iklim hassasiyeti ile ilişkili olduğunu göstermektedir (WHO, 2015; ECDC, 2017; Pärnänen ve ark., 2019).

İlginç bir şekilde, enfekte balıkların ölüm oranı daha yüksek sıcaklıklarda daha yüksektir. Bu bağlamda, gelişmekte olan ülkelerin su ürünleri yetiştiriciliği sektörünün yanı sıra insan sağlığı üzerinde de büyük etkiye sahip olan, çok daha yüksek risklere sahip olması muhtemeldir ve bu durum acil eylem ihtiyacını vurgulamaktadır. Bu nedenle, antibiyotik kullanımını en aza indirecek ve sistem dayanıklılığını sağlayacak sürdürülebilir çözümlere ihtiyaç vardır (Reverter ve ark., 2020). Sıcaklıktaki değişiklikler, tamamı patojen olmasa da insandaki patojen bakterilere geçebilecek antibiyotiğe dirençli genlerin rezervuarını temsil eden bakterilerde, antibiyotik direncinin gelişmesine yol açabilir. Bu nedenle, hem klinik olarak ilgili patojenlerde hem de patojenik olmayan çevresel bakterilerde antibiyotik direncinin ortaya çıkışını ve kalıcılığını incelemek önemlidir. Bu amaçla sıcaklığın etkilerini bir bütün olarak değerlendiren multidisipliner bir yaklaşıma ihtiyaç vardır. Küresel ısınma da dahil olmak üzere, iklim değişikliği ile su ürünleri yetiştiriciliğindeki bakterilerde antibiyotik direncinin ortaya çıkması arasındaki ilişkiler, su ürünleri yetiştiriciliği bağlamlarında yayılan patojenik bakterilerle enfekte olan suda yaşayan

hayvanların ölümleri üzerindeki sıcaklığın etkisi incelenerek bazı çalışmalarda kanıtlanmıştır. Patojenik bakterilerle kirlenmiş balıkların, daha yüksek sıcaklıklarda daha yüksek ölüm olaylarına işaret ettiği gözlemlenmiştir. Çoklu Antibiyotik Bakteriyel Direnç İndeksi (MAR), çoğu ülkenin su ürünleri yetiştiriciliği ile ilişkili bakterilerin MAR indekslerinin yüksek olduğunu ve bunun da insan sağlığı sorunları olan insan klinik bakterilerinden elde edilen MAR indeksleri ile korele olduğunu göstermiştir (Reverter ve ark., 2020; Rodríguez-Verdugo ve ark., 2020).

Sonuçlar ve Öneriler

Gıdalarda ve çevrede AR/MDR bakterilerini en aza indirmek için bazı önemli önleyici faaliyetlerin uygulanması gerekmektedir. Bunlar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

1. Ortamda bulunan bakteriler ile meyve sebze gibi gıdalar, gıda hayvanları ve atık su numunelerinde tespit edilen antibiyotiğe dirençli bakterilerin kullanımına yönelik ulusal ve uluslararası otoriteler tarafından bazı yasal düzenlemeler yapılmalıdır (WHO, 2014; Carvalheira ve ark., 2017).

2. Veteriner hekimliği alanında; "Küresel Eylem Planı"na göre gıda üretim sektörlerinin her bir parçasının tüm ihtiyaçları karşılaması gerekmektedir. FAO tarafından 2016-2020 yılları için yayınlanan bu plan, önleyici kullanım, artan hayvan yoğunlukları, kötü hijyen, kirli su ve çoğunlukla yem veya su yoluyla verilen ucuz yem kaynaklarının da izlenmesini gerektirmektedir. Ayrıca, antibiyotik direnç genlerinin toprakla kirlenmiş sebzeler/mahsuller aracılığıyla doğrudan veya kirlenmiş suyla, sulama yoluyla aktarılabileceği yollar açıkça belgelenmelidir (FAO/OIE/WHO, 2016).

3. Tıp alanında; hijyen önlemleri ve sağlık hizmetlerinde MDR, TB (Tüberküloz) ve MRSA (Metisilin Dirençli *Staphylococcus aureus*) ile mücadeleye yönelik çabalar (enfekte hastaların test edilmesi ve izolasyonu dahil) bu enfeksiyonların kontrolüne katkıda bulunmuştur (Huang ve ark., 2013; Suzuki ve ark., 2013).

Ayrıca Avrupa Klinik Mikrobiyoloji ve Enfeksiyon Hastalıkları Derneği, hastanelerde MDR Gram-negatif bakterilerin bulaşmasını azaltmaya yönelik bir kılavuz yayınlamıştır. Bu uygulamalardan bazıları veterinerlik, hayvancılık ve gıda işleme sektörlerinde de faydalı olabilir (Doyle ve ark., 2013; Tacconelli ve ark., 2014).

4. Gıda/çevresel ve klinik suşlar arasındaki olası ilişkileri belirlemek için bazı genetik yöntemler kullanılabilir (dünya çapında mantıksal yayılım ölçülebilir).

Darbeli Alan Jel Elektroforezi (PFGE), bugüne kadar gıda ve klinik türlerin genetik ilişkilerini belirlemek için başarıyla kullanılmıştır. Sonuçların tekrarlanabilir ve kolay yorumlanabilir olması nedeniyle PFGE'nin ayırt etme gücü oldukça yüksektir; genotipik tanımlamada, özellikle hastane enfeksiyonlarının izlenmesinde referans yöntem olarak kabul edilmektedir (Singh ve ark., 2006; Van Belkum ve ark., 2006).

Multilocus Sequence Typing (MLST) yöntemi, bakteri suşlarının çeşitliliğini bulmak için kullanılmış ve farklı laboratuvarlar arasında karşılaştırmalı bir analiz sağlamak için yararlı sonuçlar üretmiştir (Sabat ve diğerleri, 2013). MLST'nin yakından ilişkili suşları çözümleme yeteneği, prensip olarak, şemanın kapsadığı lokusta bulunan mutlak dizi çeşitliliği ve bu dizi çeşitliliğinin, kategorize edilecek popülasyon arasında nasıl dağıtıldığı ile sınırlıdır. MLST şemaları korumalı PCR primer bağlanma bölgeleri gerektirdiğinden, yöntemin iyi çalışması için hedeflerin de yeterince korunması gerekir ve bu, klasik MLST'nin olası sonuçlarını sınırlandırır. Ayrıca meta-transkriptomik, proteomik, metabolomik, yeni nesil dizileme (NGS) yöntemi, tam genom dizilimi (WGS) gibi diğer bazı genetik yöntemler, gıda güvenliğini sağlamak için NGS'nin gelecekte entegrasyonuna yol açabilir (Jolley & Maiden, 2014; Ronholm ve ark., 2016; Moran-Gilad, 2017).

İklim değişikliğinin kontrolsüz ilerlemesi, dünya çapında düşük ve orta gelirli ülkelerdeki insanların sağlığını ve refahını orantısız bir şekilde etkileyecektir. Bu nedenle, yaklaşmakta olan iklim felaketinin gidişatını tersine çevirmek için, her düzeyde harekete geçilmelidir. Bakterilerin antibiyotiğe dirençli olmasının hiçbir maliyeti yoktur ve bu nedenle, iklim değişikliğinden kaynaklanan antibiyotik direncini daha sonra düzeltmeye çalışmak yerine şimdiden önlenmesi gerekmektedir. Antibiyotik direnci ve iklim değişikliği yakından bağlantılıdır. AR/MDR bakterileri mikroorganizmalarda yaygınlaşmış ve yeni MDR suşları dünya çapında çok hızlı bir şekilde yayılmıştır. Ortaya çıkan bu sorun, yalnızca beşerî tıpta ve hayvancılıkta büyük miktarlarda antibiyotik kullanan gelişmiş ülkeler için değil, aynı zamanda gelişmekte olan ülkeler için de geçerlidir. Sonuçta gelişmekte olan ülkeler, bu konuda gelişmiş ülkelere göre daha riskli hale gelmiştir. Çünkü bu yerlerde antibiyotiklerin kullanımı, satışı ve dağıtımı konusunda yeterli denetim mekanizmaları bulunmamaktadır. Antibiyotiklerin insan ve veteriner hekimliğinde, tarımda ve su ürünleri yetiştiriciliğinde yaygın/yoğun kullanımı, daha yüksek direnç derecesine sahip mikroorganizmaların seçilmesine yol açmaktadır. Bu nedenle, yaygın enfeksiyonların tedavi maliyetleri önemli ölçüde artmaktadır. Çevrenin her parçası antibiyotiğe dirençli bakterilerin yayılması için olası bir kaynak haline

gelmekte, iklim değişikliği de bu durumu tetiklemektedir. Kaynak bazen insanlar, bazen çiftlik ortamları ve gıda hayvanları/diğerleridir (hayvanlar/böcekler ve bunların beslenme malzemeleri). Diğer önemli bir kaynak ise antibiyotikle kirlenmiş toprak veya sudan etkilenen taze meyve ve sebzelerdir. Bazı gözetim raporlarına göre; bazı çoklu ilaç dirençli patojenlerinin azaldığına dair çeşitli raporlar olmasına rağmen, diğer birçok patojende MDR'de bir artış eğilimi vardır.

Özetle; İklim değişiminin antibiyotik direnç gelişimini arttırması da göz önünde bulundurularak; antimikrobiyallerin doğru/akıllı kullanımını sağlayacak stratejilerin insan ve veteriner hekimliği ile tarımın yanı sıra su ürünleri sektörlerinde ve tüm dünya ülkelerinde uygulanması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Aik, J., Heywood, A. E., Newall, A. T., Ng, L. C., Kirk, M. D., & Turner, R. (2018). Climate variability and salmonellosis in Singapore–A time series analysis. *Science of the Total Environment*, *639*, 1261-1267.

Alfredson, D. A., & Korolik, V. (2007). Antibiotic resistance and resistance mechanisms in Campylobacter jejuni and Campylobacter coli. FEMS microbiology letters, 277(2), 123-132.

Arias-Andres, M., Klümper, U., Rojas-Jimenez, K., & Grossart, H. P. (2018). Microplastic pollution increases gene exchange in aquatic ecosystems. *Environmental pollution*, *237*, 253-261.

Bengtsson-Palme, J. (2017). Antibiotic resistance in the food supply chain: where can sequencing and metagenomics aid risk assessment?. *Current Opinion in Food Science*, *14*, 66-71.

Beutlich, J., Jahn, S., Malorny, B., Hauser, E., Hühn, S., Schroeter, A., & Helmuth, R. (2011). Antimicrobial resistance and virulence determinants in European *Salmonella* genomic island 1-positive *Salmonella enterica* isolates from different origins. *Appl. Environ. Microbiol.*, *77*(16), 5655-5664.

Bozkurt, B. (2018). Çiğ ve yarı-pişmiş bazı et ürünlerinde *salmonella* spp. Ve *staphylococcus aureus*' un belirlenmesi ve antibiyotik dirençliliklerinin araştırılması (Master's thesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Brander, R. L., Walson, J. L., John-Stewart, G. C., Naulikha, J. M., Ndonye, J., Kipkemoi, N., ... & Pavlinac, P. B. (2017). Correlates of multi-drug non-susceptibility in enteric bacteria isolated from Kenyan children with acute diarrhea. *PLoS neglected tropical diseases*, *11*(10), e0005974.

Brown, E.E., Cooper, A., Carrillo, C., & Blais, B. (2019). Selection of multidrug-resistant bacteria in medicated animal feeds. *Frontiers in microbiology*, 10.

Burnham, J. P., Feldman, M. F., & Calix, J. J. (2019, June). Seasonal changes in the prevalence of antibiotic-susceptible Acinetobacter calcoaceticus-baumannii complex isolates result in increased multidrug resistance rates during winter months. In *Open Forum Infectious Diseases* (Vol. 6, No. 6, p. ofz245). US: Oxford University Press.

Cabello, F. C., Godfrey, H. P., Tomova, A., Ivanova, L., Dölz, H., Millanao, A., & Buschmann, A. H. (2013). Antimicrobial use in aquaculture re-examined: its relevance to antimicrobial resistance and to animal and human health. Environmental microbiology, 15(7), 1917-1942.

Cardoso, K., Gandra, R. F., Wisniewski, E. S., Osaku, C. A., Kadowaki, M. K., Felipach-Neto, V., ... & Simão, R. D. C. G. (2010). DnaK and GroEL are induced in response to antibiotic and heat shock in *Acinetobacter baumannii*. *Journal of medical microbiology*, *59*(9), 1061-1068.

Carniel, E. Plasmids and pathogenicity islands of yersinia. In: Hacker J, Kaper JB, (2002). Pathogenicity islands and the evolution of pathogenic microbes. Berlin, Heidelberg: *Springer*; *2002*. p. 89-108.

Carvalheira, A., Silva, J., & Teixeira, P. (2017). Lettuce and fruits as a source of multidrug resistant Acinetobacter spp. *Food microbiology*, *64*, 119-125.

Chamchod, F., & Ruan, S. (2012). Modeling methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in hospitals: transmission dynamics, antibiotic usage and its history. *Theoretical Biology and Medical Modelling*, *9*, 1-14.

Chaoui, L., Mhand, R., Mellouki, F., & Rhallabi, N. (2019). Contamination of the Surfaces of a Health Care Environment by Multidrug-Resistant (MDR) Bacteria. *International Journal of Microbiology*, 2019.

Chase, J. M., & Knight, T. M. (2003). Drought-induced mosquito outbreaks in wetlands. *Ecology Letters*, *6*(11), 1017-1024.

Chen, J., McIlroy, S. E., Archana, A., Baker, D. M., & Panagiotou, G. (2019). A pollution gradient contributes to the taxonomic, functional, and resistome diversity of microbial communities in marine sediments. *Microbiome*, *7*, 1-12.

Clark, M., Riben, P., & Nowgesic, E. (2002). The association of housing density, isolation and tuberculosis in Canadian First Nations communities. *International journal of epidemiology*, *31*(5), 940-945.

Coates-Marnane, J., Olley, J., Burton, J., & Grinham, A. (2016). The impact of a high magnitude flood on metal pollution in a shallow subtropical estuarine embayment. *Science of the Total Environment*, *569*, 716-731.

Cruz-Loya, M., Kang, T. M., Lozano, N. A., Watanabe, R., Tekin, E., Damoiseaux, R., ... & Yeh, P. J. (2019). Stressor interaction networks suggest antibiotic

resistance co-opted from stress responses to temperature. *The ISME journal*, *13*(1), 12-23.

Domingues, D. J. (2012). U.S. Patent No. 8,187,649. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Doyle M, Loneragan G, Scott H, &Singer R. (2013). Antimicrobial re-sistance: Challenges and perspectives. *Comp Rev Food Sci Food Safety*, *12*:234–248.

Du, Y., Xu, X., Chu, M., Guo, Y., & Wang, J. (2016). Air particulate matter and cardiovascular disease: the epidemiological, biomedical and clinical evidence. *Journal of thoracic disease*, *8*(1), E8.

Estallo, E. L., Ludueña-Almeida, F. F., Introini, M. V., Zaidenberg, M., & Almirón, W. R. (2015). Weather variability associated with Aedes (Stegomyia) aegypti (Dengue vector) oviposition dynamics in Northwestern Argentina. *PLoS One*, *10*(5), e0127820.

Falgenhauer, L., Schwengers, O., Schmiedel, J., Baars, C., Lambrecht, O., Heß, S., & Imirzalioglu, C. (2019). Multidrug-resistant, clinically relevant Gram-negative bacteria are present in German surface water samples. *Frontiers in Microbiology*, *10*, 2779.

FAO/OIE/WHO(Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Organisation for Animal Health, World Health Organization) (2016).The FAO action plan on antimicrobial resistance 2016-2020:Supporting the food and agriculture sectors in implementing the Global Action Plan on Antimicrobial Resistance to minimize the impact of antimicrobial resistance. *Rome: FAO*.

Farag, M. R., & Alagawany, M. (2018). Physiological alterations of poultry to the high environmental temperature. *Journal of thermal biology*, *76*, 101-106.

Fisman, D., Patrozou, E., Carmeli, Y., Perencevich, E., Tuite, A. R., Mermel, L. A., & Geographical Variability of Bacteremia Study Group. (2014). Geographical variability in the likelihood of bloodstream infections due to gram-negative bacteria: correlation with proximity to the equator and health care expenditure. *PLoS One*, *9*(12), e114548.

Forsberg, K. J., Patel, S., Gibson, M. K., Lauber, C. L., Knight, R., Fierer, N., & Dantas, G. (2014). Bacterial phylogeny structures soil resistomes across habitats. *Nature*, *509*(7502), 612-616.

Foster, C. B., Martinez, K. A., Sabella, C., Weaver, G. P., & Rothberg, M. B. (2019). Patient satisfaction and antibiotic prescribing for respiratory infections by telemedicine. *Pediatrics*, *144*(3).

Goltermann, L., Good, L., & Bentin, T. (2013). Chaperonins fight aminoglycoside-induced protein misfolding and promote short-term tolerance in Escherichia coli. *Journal of Biological Chemistry*, *288*(15), 10483-10489.

Gore, T. (2020). Confronting carbon inequality: Putting climate justice at the heart of the COVID-19 recovery.

Greulich, P., Scott, M., Evans, M. R., & Allen, R. J. (2015). Growth-dependent bacterial susceptibility to ribosome-targeting antibiotics. *Molecular systems biology*, *11*(3), 796.

Huang, Y., Zhang, L., Tiu, L., & Wang, H. H. (2015). Characterization of antibiotic resistance in commensal bacteria from an aquaculture ecosystem. *Frontiers in microbiology*, *6*, 914.

Huijbers, P. M., Blaak, H., de Jong, M. C., Graat, E. A., Vandenbroucke-Grauls, C. M., & de Roda Husman, A. M. (2015). Role of the environment in the transmission of antimicrobial resistance to humans: a review. *Environmental science & technology*, *49*(20), 11993-12004.

Huttner, A., Harbarth, S., Carlet, J., Cosgrove, S., Goossens, H., Holmes, A., & Pittet, D. for the World Healthcare-Associated Infections Forum participants, (2013). Antimicrobial resistance: a global view from the 2013 World Healthcare-Associated Infections Forum. *Antimicrob Resist Infect Control*, *2*(31), 2994-2.

Imam, J. S., & Duarte, A. G. (2020). Non-CF bronchiectasis: orphan disease no longer. *Respiratory Medicine*, *166*, 105940.

Islam, A. R. M. T., Hasanuzzaman, M., Azad, M. A. K., Salam, R., Toshi, F. Z., Khan, M. S. I., ... & Ibrahim, S. M. (2021). Effect of meteorological factors on COVID-19 cases in Bangladesh. *Environment, development and sustainability*, *23*, 9139-9162.

Jamshidi, S., Baniasad, M., & Niyogi, D. (2020). Global to USA county scale analysis of weather, urban density, mobility, homestay, and mask use on COVID-19. *International journal of environmental research and public health*, *17*(21), 7847.

Jones-Dias, D., Manageiro, V., Ferreira, E., Barreiro, P., Vieira, L., Moura, I. B., & Caniça, M. (2016). Architecture of class 1, 2, and 3 integrons from gram negative bacteria recovered among fruits and vegetables. *Frontiers in microbiology*, *7*, 1400.

Karkman, A., Do, T. T., Walsh, F., & Virta, M. P. (2018). Antibiotic-resistance genes in waste water. *Trends in microbiology*, *26*(3), 220-228.

Kindrachuk, K. N., Fernández, L., Bains, M., & Hancock, R. E. (2011). Involvement of an ATP-dependent protease, PA0779/AsrA, in inducing heat shock in response to tobramycin in Pseudomonas aeruginosa. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, *55*(5), 1874-1882.

Knapp, C. W., McCluskey, S. M., Singh, B. K., Campbell, C. D., Hudson, G., & Graham, D. W. (2011). Antibiotic resistance gene abundances correlate with metal and geochemical conditions in archived Scottish soils. *PloS one*, *6*(11), e27300.

Kohanski, M. A., Dwyer, D. J., Wierzbowski, J., Cottarel, G., & Collins, J. J. (2008). Mistranslation of membrane proteins and two-component system activation trigger antibiotic-mediated cell death. *Cell*, *135*(4), 679-690.

Koluman, A.,& Dikici, A. (2013). Antimicrobial resistance of emerging foodborne pathogens: status quo and global trends. *Critical reviews in microbiology*, *39*(1), 57-69.

Lafferty, K. D. (2009). The ecology of climate change and infectious diseases. *Ecology*, *90*(4), 888-900.

Li, X. D., Chen, Y. H., Liu, C., Hong, J., Deng, H., & Yu, D. J. (2020). Eutrophication and related antibiotic resistance of enterococci in the Minjiang river, China. *Microbial ecology*, *80*, 1-13.

Lin, J. T., Connelly, M. B., Amolo, C., Otani, S., & Yaver, D. S. (2005). Global transcriptional response of Bacillus subtilis to treatment with subinhibitory concentrations of antibiotics that inhibit protein synthesis. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, *49*(5), 1915-1926.

Liu, Y. X., Pang, C. K., Liu, Y., Sun, X. B., Li, X. X., Jiang, S. W., & Xue, F. (2015). Association between multidrug-resistant tuberculosis and risk factors in China: applying partial least squares path modeling. *PLoS One*, *10*(5), e0128298.

Logar-Henderson, C., Ling, R., Tuite, A. R., & Fisman, D. N. (2019). Effects of large-scale oceanic phenomena on non-cholera vibriosis incidence in the United States: implications for climate change. *Epidemiology & Infection*, *147*.

Mac Aogain, M., Lau, K. J., Cai, Z., Kumar Narayana, J., Purbojati, R. W., Drautz-Moses, D. I., ... & Chotirmall, S. H. (2020). Metagenomics reveals a core macrolide resistome related to microbiota in chronic respiratory disease. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, *202*(3), 433-447.

MacFadden, D. R., McGough, S. F., Fisman, D., Santillana, M., & Brownstein, J. S. (2018). Antibiotic resistance increases with local temperature. *Nature Climate Change*, *8*(6), 510-514.

Martinez, K. A., Rood, M., Jhangiani, N., Boissy, A., & Rothberg, M. B. (2019). Antibiotic prescribing for respiratory tract infections and encounter length: an observational study of telemedicine. *Annals of internal medicine*, *170*(4), 275-277.

McGough, S. F., MacFadden, D. R., Hattab, M. W., Mølbak, K., & Santillana, M. (2020). Rates of increase of antibiotic resistance and ambient temperature in

Europe: a cross-national analysis of 28 countries between 2000 and 2016. *Eurosurveillance*, *25*(45), 1900414.

Mader, R., Damborg, P., Amat, J. P., Bengtsson, B., Bourély, C., Broens, E. M., ... & Madec, J. Y. (2021). Building the European antimicrobial resistance surveillance network in veterinary medicine (EARS-Vet). Eurosurveillance, 26(4), 2001359.

Mancuso, G., Midiri, A., Gerace, E., & Biondo, C. (2021). Bacterial antibiotic resistance: The most critical pathogens. *Pathogens*, *10*(10), 1310.

Monem, S., Furmanek-Blaszk, B., Łupkowska, A., Kuczyńska-Wiśnik, D., Stojowska-Swędrzyńska, K., & Laskowska, E. (2020). Mechanisms protecting Acinetobacter baumannii against multiple stresses triggered by the host immune response, antibiotics and outside-host environment. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(15), 5498.

Moran-Gilad, J.(2017).Whole genome sequencing (WGS) for food-borne pathogen surveillance and control–taking the pulse. *Euro Surveillance*, *22*pii=30547.

Murata, M., Fujimoto, H., Nishimura, K., Charoensuk, K., Nagamitsu, H., Raina, S., ... & Yamada, M. (2011). Molecular strategy for survival at a critical high temperature in Eschierichia coli. *PLoS One*, *6*(6), e20063.

Burnham, J. P. (2021). Climate change and antibiotic resistance: a deadly combination. *Therapeutic Advances in Infectious Disease*, *8*, 2049936121991374.

Nielsen, K.M., Johnsen, P. J., Bensasson, D., & Daffonchio, D. (2007). Release and persistence of extracellular DNA in the environment. *Environmental biosafety research*, *6*(1-2), 37-53.

Nonaka, L., Maruyama, F., Onishi, Y., Kobayashi, T., Ogura, Y., Hayashi, T., & Masuda, M. (2014). Various pAQU plasmids possibly contribute to disseminate tetracycline resistance gene tet (M) among marine bacterial community. *Frontiers in microbiology*, *5*, 152.

Olsen S.J., Ying M, Davis M.F., Deasy M, Holland B., Iampietro L. (2004). Multidrug-resistant *Salmonella Typhimurium* infection from milk contaminated after pasteurization. *Emerg Infect Dis. 10*(5):932–5. doi: 10.3201/eid1005.030484.

Pepi, M., & Focardi, S. (2021). Antibiotic-resistant bacteria in aquaculture and climate change: A challenge for health in the Mediterranean area. *International journal of environmental research and public health*, *18*(11), 5723.

Pärnänen, K. M., Narciso-da-Rocha, C., Kneis, D., Berendonk, T. U., Cacace, D., Do, T. T., ... & Manaia, C. M. (2019). Antibiotic resistance in European wastewater treatment plants mirrors the pattern of clinical antibiotic resistance prevalence. *Science advances*, *5*(3), eaau9124.

Pham J.N, Bell SM, Lanzarone JY. (1991). Biotype and antibiotic sensitivity of 100 clinical isolates of *Yersinia enterocolitica*. *J Antimicrob Chemother*, *28*(1):13–8. doi: 10.1093/jac/28.1.13.

Philipsborn, R., Ahmed, S. M., Brosi, B. J., & Levy, K. (2016). Climatic drivers of diarrheagenic Escherichia coli incidence: a systematic review and meta-analysis. *The Journal of infectious diseases*, *214*(1), 6-15.

Pietikäinen, J., Pettersson, M., & Bååth, E. (2005). Comparison of temperature effects on soil respiration and bacterial and fungal growth rates. *FEMS microbiology ecology*, *52*(1), 49-58.

Poole, K. (2012). Stress responses as determinants of antimicrobial resistance in Gram-negative bacteria. *Trends in microbiology*, *20*(5), 227-234.

Ramirez, M. S., & Tolmasky, M. E. (2010). Aminoglycoside modifying enzymes. *Drug resistance updates*, *13*(6), 151-171.

Reverter, M., Sarter, S., Caruso, D., Avarre, J. C., Combe, M., Pepey, E., ... & Gozlan, R. E. (2020). Aquaculture at the crossroads of global warming and antimicrobial resistance. *Nature communications*, *11*(1), 1870.

Rico, D., Martin-Diana, A.B., Barat, J.M., & Barry-Ryan, C. (2007). Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends in Food Science & Technology*, *18*(7), 373-386.

Rodríguez-Verdugo, A., Lozano-Huntelman, N., Cruz-Loya, M., Savage, V., & Yeh, P. (2020). Compounding effects of climate warming and antibiotic resistance. *IScience*, *23*(4).

Ronholm, J.,Nasheri,N.,Petronella,N.,&Pagotto,F.(2016).Navigating microbiological food safety in the era ofwhole-genomesequencing.*Clinical Microbiology Reviews*, *29*, 837–857.

Ryan, S. J., Carlson, C. J., Mordecai, E. A., & Johnson, L. R. (2019). Global expansion and redistribution of Aedes-borne virus transmission risk with climate change. *PLoS neglected tropical diseases*, *13*(3), e0007213.

Seiler, C., & Berendonk, T. U. (2012). Heavy metal driven co-selection of antibiotic resistance in soil and water bodies impacted by agriculture and aquaculture. *Frontiers in microbiology*, *3*, 399.

Singh A., Goering R.V., Simjee S, Foley S.L., Zervos M.J. (2006). Application of Molecular Techniques to the Study of Hospital Infection. *Clin. Microbiol. Rev*. *19*: 512-530.

Sørum, H. (2005). Antimicrobial drug resistance in fish pathogens. Antimicrobial resistance in bacteria of animal origin, 213-238.

Sapkota, A., Sapkota, A. R., Kucharski, M., Burke, J., McKenzie, S., Walker, P., & Lawrence, R. (2008). Aquaculture practices and potential human health risks: current knowledge and future priorities. Environment international, 34(8), 1215-1226.

Staley, C., Dunny, G. M., & Sadowsky, M. J. (2014). Environmental and animal-associated enterococci. In *Advances in applied microbiology* (Vol. *87*, pp. 147-186). Academic Press.

Suzuki, S., Ogo, M., Miller, T.W., Shimizu, A., Takada, H., & Siringan, M.A. (2013). Who possesses drug resistance genes in the aquatic environment ?: sulfamethoxazole (SMX) resistance genes among the bacterial community in water environment of Metro-Manila, Philippines. *Frontiers in microbiology*, *4*, 102.

Tacconelli, E., Cataldo, M.A., Dancer, S.J., De Angelis, G., Falcone, M., Frank, U., & Singh, N. (2014). ESCMID guidelines for the management of the infection control measures to reduce transmission of multidrug-resistant Gram-negative bacteria in hospitalized patients. *Clinical Microbiology and Infection*, *20*, 1-55.

Tapia, V., Steenland, K., Vu, B., Liu, Y., Vásquez, V., & Gonzales, G. F. (2020). PM2. 5 exposure on daily cardio-respiratory mortality in Lima, Peru, from 2010 to 2016. *Environmental Health*, *19*(1), 1-7.

Van Belkum A., Tassios P.T., Dijkshoorn L, Haeggman S., Cookson B., Fry N.K., (2007). Fussing V, Green J, Feil E, Gerner-Smidt P, Brisse S, Struelens M. Guidelines for the validation and application of typing methods for use in bacterial epidemiology. *Clinical Microbiology and Infectious Diseases*. *13*: 1–46.

VanBogelen, R. A., & Neidhardt, F. C. (1990). Ribosomes as sensors of heat and cold shock in Escherichia coli. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *87*(15), 5589-5593.

Van Huynh, C., van Scheltinga, C. T., Pham, T. H., Duong, N. Q., Tran, P. T., Nguyen, L. H. K., ... & Timmerman, J. (2019). Drought and conflicts at the local level: Establishing a water sharing mechanism for the summer-autumn rice production in Central Vietnam. *International Soil and Water Conservation Research*, *7*(4), 362-375.

Verkola, M., Pietola, E., Järvinen, A., Lindqvist, K., Kinnunen, P.M., & Heikinheimo, A. (2019). Low prevalence of zoonotic multidrug-resistant bacteria in veterinarians in a country with prudent use of antimicrobials in animals. *Zoonoses and public health*, *66*(6), 667-678.

Walsh, C., & Duffy, G. (2013). Antibiotic resistance in foodborne pathogens.

Watts, N., Amann, M., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Beagley, J., Belesova, K., ... & Costello, A. (2021). The 2020 report of the Lancet Countdown on health and

climate change: responding to converging crises. *The Lancet*, *397*(10269), 129-170.

Werner, G., Coque T.M., Franz, C.M., Grohmann, E., Hegstad, K., &Jensen, L. (2013). Antibiotic resistant enterococci-tales of a drug resistance gene trafficker. *Int J Med Microbiol. 303*(6-7):360–79.

WHO (WorldHealthOrganization) (2014).Antimicrobial resistance: Global report on surveillance http://apps.who. http://apps.who. Int/iris/bitstream/handle/10665/112642/ 9789241564748_eng.pdf.

WHO, World Health Organization (2015). 68th World Health Assembly: WHA Resolution 68.7; WHO: Geneva, Switzerland.

Yap, J., Ng, Y., Yeo, K. K., Sahlén, A., Lam, C. S. P., Lee, V., & Ma, S. (2019). Particulate air pollution on cardiovascular mortality in the tropics: impact on the elderly. *Environmental Health*, *18*(1), 1-9.

ISBN: 978-625-6971-84-4



BÖLÜM 28

ISBN: 978-625-6971-84-4

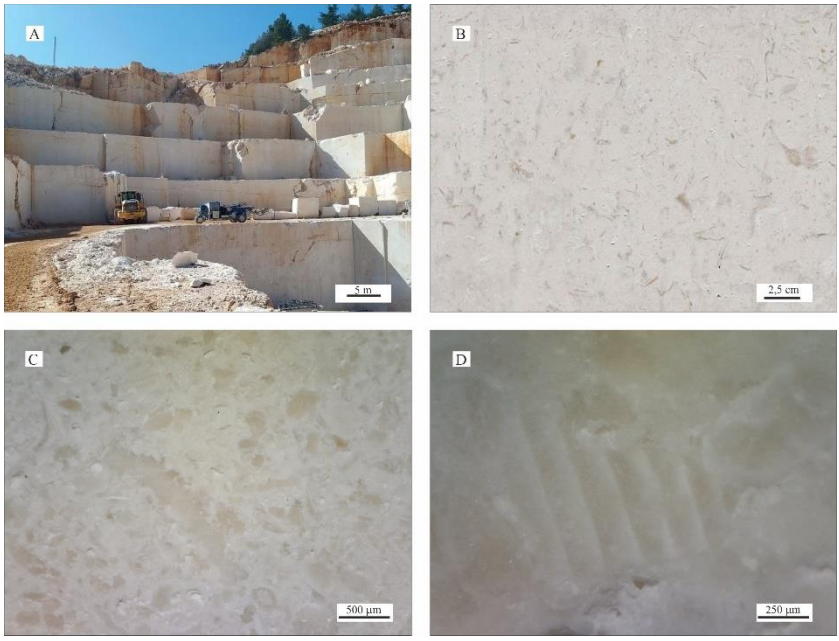
LİMRA TAŞININ (ANTALYA-DEMRE) DONMA-ÇÖZÜLME PERFORMANSI

Doç. Dr. Hakan ELÇİ[1]

1.Giriş

Limra olarak bilinen doğal yapı taşı beyaz-krem renkli, genelde homojen yapılı, içerdiği fosil miktarına bağlı olarak kırıntılı bir görünüme de sahip bir taştır (Şekil 1). Gözenekli yapısı nedeniyle ve diğer karbonat kökenli doğal yapı taşlarına nazaran daha düşük yoğunluğa sahiptir. Ülkemizde Antalya iline bağlı Finike ilçesinin kuzeyinde bulunan Demre bölgesinde yer alan taş ocaklarında üretimi yapılır (Şekil 2). Hem ülke genelinde satışı yapılan hem de ülke dışına ham blok halinde ya da işlenmiş olarak ihraç edilen bir yapı taşıdır. Yumuşak iklimlerin, donma-çözülme olayının görülmediği veya çok az görüldüğü Akdeniz iklimine sahip yerlerde kullanıldığında atmosferik olaylardan etkilenmez ya da çok az etkilenir. Bunun en büyük kanıtı üretimi yapılan bölgedeki antik yapıların inşasında da kullanılmış olması ve bu yapıların günümüze kadar ulaşmış olmasıdır. Son zamanlarda ise sahip olduğu homojen rengi ve deseni nedeniyle dünya genelinde tercih edilen bir yapı ve kaplama taşı olmaya başlamıştır. Bu durum, limranın sert iklimlerde, yoğun donma-çözülme döngülerinin görüldüğü bölgelerde kullanıldığında atmosferik olaylardan ne derece etkileneceği, kullanıldığı yapıda kendinden beklenen servis ömrünü sağlayıp sağlayamayacağı endişesini gündeme getirmiştir. Bu çalışmada Antalya, Demre yöresinde üretimi yapılan ve ticari ismi limra olarak bilinen doğal taşa laboratuvar ortamında TS EN standartları dikkate alınarak 56 donma-çözülme döngüsü uygulanmış ve bu döngüler sonunda limranın direnç ve kütle kayıpları dikkate alınarak performansı değerlendirilmiştir.

[1] Dokuz Eylül Üniversitesi Torbalı Meslek Yüksekokulu, Geoteknik Programı
ORCID: 0000-0003-2945-2548



Şekil 2. A: Antalya Demre bölgesi limra ocağı. B, C ve D limra taşı

2.Jeolojik Özellikler

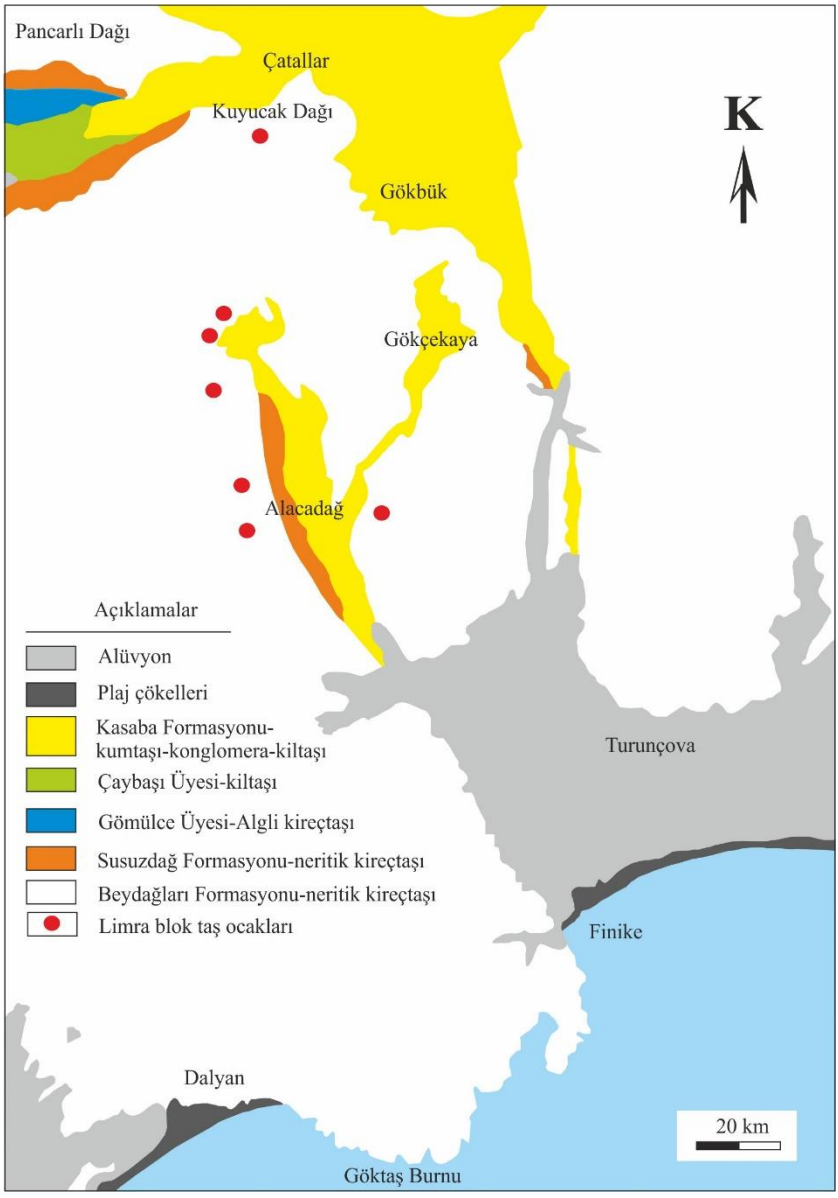
Antalya Demre bölgesi, Beydağları otoktonu içerisinde yer alır. Beydağları otoktonu Geç Kretase yaşlı Bey Dağları Formasyonu, Eosen yaşlı Susuzdağ Formasyonu, Miyosen yaşlı Sinekçi Formasyonu ve Kasaba Formasyonundan oluşur. Bey Dağları Formasyonu ve Susuzdağ Formasyonu neritik kireçtaşları ile, Sinekçi formasyonu algli kireçtaşları ve kiltaşları ile, Kasaba Formasyonu çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve kiltaşları (Şekil 1) ile temsil edilir (Şenel, 1997). Limra olarak adlandırılan doğal taşlar, Bey Dağları otoktonunda yer alan, Geç Kretase yaşlı Bey Dağları Formasyonundan üretilir. Beydağları Formasyonu, beyaz, krem açık gri, rudist fosilleri içeren kireçtaşlarından oluşmuştur. Bazı bölümlerinde dolomit ve dolomitik kireçtaşı düzeyleri içerebilir. Limraların üretildiği düzeylerdeki kireçtaşları ince kristalli bej, gri ve beyaz renkli kalın tabakalıdırlar. (Şenel, 1997).

3.Materyal Metot

Limranın mineralojik ve petrografik özelliklerini belirlemek için beş adet ince kesit hazırlanmış ve bu kesitler TS EN 12407 (TSE, 2013) standardına göre polarizan mikroskopta incelenmiştir. Limranın kimyasal özellikleri için, Pelkin Elmer Pinaccle 500 AAS cihazı ile yaş analiz metodu ile kimyasal analiz gerçekleştirilmiştir. Kullanılan yöntem ASTM C1301'den modifiye edilmiştir. Limranın doğal taş özellikleri TS 699 (TSE, 2009a)'da önerilen yöntemlere göre

ISBN: 978-625-6971-84-4

belirlenmiştir. Limraların donma-çözülme deneyleri için TS EN 12372 (TSE, 2022) standartlarında belirtilen 50x50x300 mm ölçülerinde 6 set ve her sette 6 tane olacak şekilde numuneler hazırlanmıştır. Toplam 56 donma çözülme döngüsü TS EN 12371 (TSE, 2011)'e göre gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Antalya Demre bölgesinin Jeolojisi (Şenel, 1997).

4. Limranın Malzeme Özellikleri

Limranın malzeme özellikleri; petrografik-mineralojik özellikleri, kimyasal özellikleri ve doğal taş özellikleridir.

4.1. Petrografik ve Mineralojik Özelikleri

Limra beyaz, krem renkli, belirgin fosil kırıntıları içeren karbonat kaya görünümlüdür. Seyreltilmiş (%5) HCl asit çözeltisiyle, olağan bir kireçtaşına benzer şekilde köpürerek reaksiyon verir. Kayaç içinde rastlanan allokemler küçük boylu biyoklastlar (fosil ve fosil parçaları), ve intraklastlardır. Biyoklastlar bol olarak orta kumdan silt boyuna değişen bivalvia kırıntıları, neritik foraminifer kırıntıları ve seyrek ekinid kırıntılarından oluşur (Şekil 3). Kayaç ortokimyasl bölümleri (su içinde doğrudan kristalleşen) mikrit aramaddeden (<4 mikron kalsit kristalleri) ve yersel sparkalsit çimentodan oluşur. Limra, tümsele yakın oranda (%100'e yakın) kalsit ($CaCO_3$) mineralinden yapılıdır. Kayaç tane destekli spar kalsit çimentolu bir dokuya sahiptir, kimyasal tortul kayalardandır ve Kireçtaşı olarak adlandırılmıştır. Ayrıntılı Folk (1959) bileşim ağırlıklı sınıflamasında biyomikrit-biyosparit, Dunham (1962) doku ağırlıklı sınıflamasında tanetaşı-istiftaşı olarak adlandırılmıştır (Şekil 3).

4.2. Kimyasal Özellikleri

Limranın kimyasal analiz sonuçları Tablo 1'de kalsit ve dolomit miktarları da Tablo 2'de verilmiştir. Kimyasal analiz sonucuna göre limra %99 oranında kalsit mineralinden %0,8 oranında dolomit minarelinden oluşur. Karbonat dışı, yabancı madde miktarı %0,13'dür.

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 3. Limranın ince kesit görüntüsü

Tablo 1. Limranın ana oksit yüzdeleri

SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MgO (%)	CaO (%)	KK* (%)	Toplam (%)
0,13	<0,01	0,01	0,38	55.47	44,0	100

*KK: Kızdırma kaybı

Tablo 2. Limranın karbonat miktarı

$CaCO_3$ (%)	$MgCO_3$ (%)	Asitte çözünmeyen Miktar (%)
99,05	0,80	0,13

4.3. Doğal Taş Özellikleri

Her bir doğal taş özelliğini belirlemede kullanılan standart ve belirlenen özelliğin değeri Tablo 3'de verilmiştir. Limra, karbonat kökenli doğal taşlara kıyasla daha düşük yoğunluklu (2279 kg/m³) fakat daha yüksek gözenekli (%11,45) bir kireçtaşıdır. Yüksek gözenekli olması taşın su emme değerini de artırmıştır. Basınç ve eğilme dayanımları bir doğal taş için yeterli sayılabilecek düzeydedir. Bununla birlikte aşınmaya karşı odlukça dirençsizdir (Tablo 3).

Tablo 3. Limranın fiziko-mekanik özellikleri

Görünür Yoğunluk (kg/m³)	2279 ± 12	TS EN 1936
Gerçek Yoğunluk (kg/m³)	2679 ± 31	
Açık Gözeneklilik (%)	11,450 ± 0,305	
Toplam Gözeneklilik (%)	14,655 ± 0,653	
Atmosfer Basıncında Su Emme (%)	5,010 ± 0,158	TS EN 13755
Sertlik	3	TS 6809
Basınç Dayanımı (MPa)	41,42 ± 9,83	TS EN 1926
Yoğun Yük Altında Eğilme Dayanımı (MPa)	6,38 ± 0,15	TS EN 12372
Aşınma Kaybı (Böhme Metodu) (mm^3)	62597 ± 6416	TS EN 14157
Aşınma Kaybı (Disk Aşındırma) (mm)	33,56 ± 0,88	
Kaymaya Karşı Direnç-Pandül		TS EN 14231
Cilalı Yüzey-Kuru (SRV)	87,87 ± 2,6	
Cilalı Yüzey-Yaş (SRV)	36,0 ± 2,5	
Saplama Deliğinde Kırılma Yükü, (N)	560,0 ± 63,4	TS EN 13364
Numune Kalınlığı, d, (mm)	30	
Ortalama d_1, (mm)	9,96 ± 0,11	
Ortalama, b_A, (mm)	24,65 ± 2,03	

5. Limranın Donma-Çözülme Döngüleri

Limralara uygulanan donma-çözülme döngülerin etkisi, kütle kaybı ve direnç kaybı olmak üzere iki şekilde belirlenmiştir. Bu amaç için TS EN 12372 (TSE, 2022) standartlarında belirtilen 50x50x300 mm ölçülerinde 6 set ve her sette 6 tane olacak şekilde numuneler hazırlanmıştır. Toplam 56 donma çözülme döngüsü TS EN 12371 (TSE, 2011)'e göre gerçekleştirilmiştir. Donma çözülme döngüleri için hazırlanan numunelerden ilk altı tanesi şahit numune olarak muhafaza edilmiş geri kalan örnekler öncelikle 105 C º de değişmez kütleye kadar kurutulup sonrasında her bir örneğin başlangıçtaki kuru ağırlıkları kayıt edilmiştir. Daha sonra örnekler suya doygun hala getirilerek (24 saat su içinde bekletilerek) donma çözülme döngülerine başlanmıştır. Her bir döngü 6 saatlik dondurma (-12 C º de) ve sonrasında 6 saat ada sıcaklığında (+ 22 C º de) suda çözülme işleminden ibarettir. 14. döngü sonunda tüm numuneler değişmez kütleye kadar kurutulup tartılmış ve ikinci sete ait 6 numuneye eğilme dayanımı (TS EN 12372: TSE, 2022) deneyi uygulanmıştır. Bu işlemler sırası ile 28. döngü, 42. döngü ve 56. döngü sonunda tekrarlanmıştır. Donma-çözülmenin etkisinin ölçüldüğü 14, 28, 42 ve 56 döngüler sonundaki eğilme dayanımları ve eğilme dayanımındaki direnç kaybı sonuçları Tablo 4'de verilmiştir.

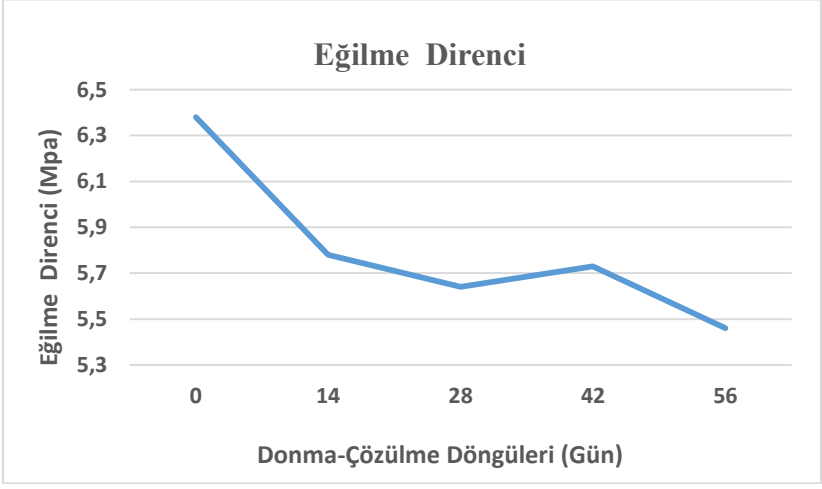
ISBN: 978-625-6971-84-4

Limranın eğilme dayanımı başlangıçta 6,38 MPa olarak belirlenmiştir. 14 döngü donma-çözülme sonrası 5,78 MPa, 28 döngü donma-çözülme sonrası 5,64 MPa, 42 döngü donma-çözülme sonrası 5,73 MPa ve 56 döngü donma-çözülme sonrasında 5,46 MPa olarak belirlenmiştir (Tablo 4 ve Şekil 4).

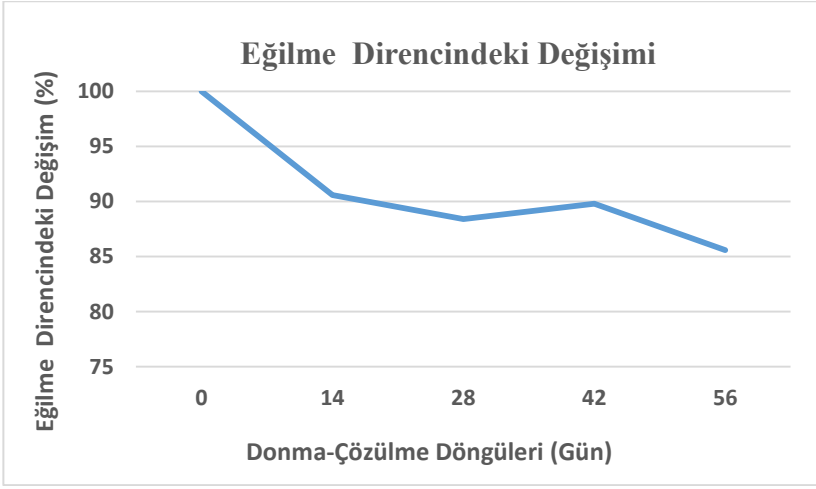
Tablo 4. Limranın donma-çözülme döngüleri sonrası eğilme dayanımı ve dayanımındaki değişimi

Donma Çözülme Döngüleri	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımında Değişim (%)	Standart
0	6,38 ± 0,15	0	TS EN 12371 ve TS EN 12372
14	5,78 ± 0,55	9,40	
28	5,64 ± 0,47	11,60	
42	5,73 ± 0,27	10,19	
56	5,46 ± 0,74	14,42	

Limranın eğilme dayanımındaki değişim ise 14. döngü sonrası %9,4, 28. döngü sonrası %11,60, 42. döngü sonrası %10,19 ve 56. döngü sonrası %14,42 olmuştur (Tablo 4 ve Şekil 5).



Şekil 4. Limranın donma-çözülme döngüleri sonrası eğilme dayanımları.



Şekil 5. Limranın donma-çözülme döngüleri sonrası eğilme dayanımlarındaki değişim.

Limranın 14 döngü donma-çözülme sonrası kütle kaybı 0,33 g, 28 döngü donma-çözülme sonrası 0,447 g, 42 döngü donma-çözülme sonrası 0,517 g ve 56 döngü donma-çözülme sonrasında 1,353 olarak belirlenmiştir (Tablo 5 ve Şekil 6). Kütle kaybındaki değişim ise 14. döngü sonrası %0,018, 28. döngü sonrası %0,029, 42. döngü sonrası %0,029 ve 56. döngü sonrası %0,076 olmuştur (Tablo 5 ve Şekil 7).

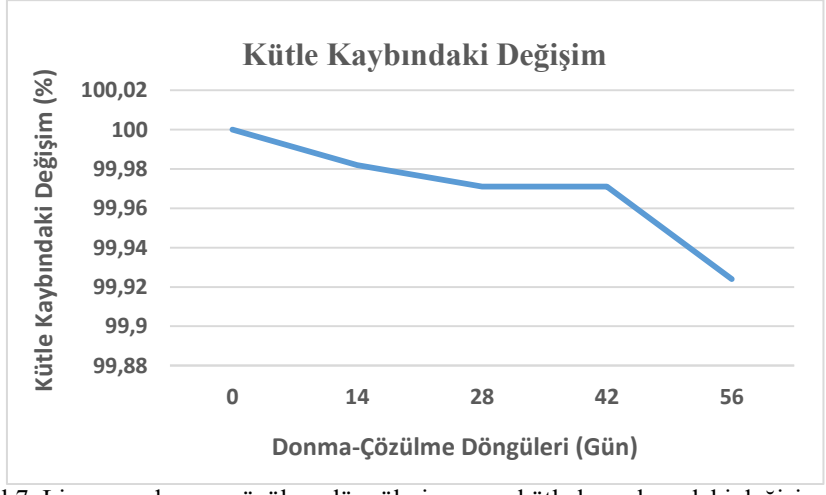
Tablo 5. Limranın donma-çözülme döngüleri sonrası kütle kaybı ve kütle kaybındaki değişim

Donma Çözülme Döngüleri	Kütle Kaybı (%)	Kütle Kaybındaki Değişim (%)	Standart
0	0,000 ± 0,000	0	TS EN 12371 ve TS 699
14	0,330 ± 0,042	0,018	
28	0,447 ± 0,020	0,029	
42	0,517 ± 0,065	0,029	
56	1,353 ± 0,147	0,076	

ISBN: 978-625-6971-84-4



Şekil 6. Limranın donma-çözülme döngüleri sonrası kütle kayıpları.



Şekil 7. Limranın donma-çözülme döngüleri sonrası kütle kayıplarındaki değişim

5. Sonuçlar

Antalya, Demre bölgesindeki taş ocaklarından üretimi yapılan limra taşı, beyaz/krem renkli, homojen yapılı, gözenekli bir kireçtaşıdır. Gözenekli yapısı nedeniyle diğer karbonat kökenli yapı taşlarına kıyasla daha hafiftir. Bununla birlikte gözenekli yapısı su emme değerini oldukça artırmakta ve taşı sert iklimlerin (donma-çözülme döngülerinin) görüldüğü yerlerde atmosferik olaylara karşı hassas bir duruma getirmektedir.

Laboratuvar ortamında limra taşına uygulanan 14 donma-çözülme döngüsü sonrası, eğilme dayanımı %10 azalmıştır. 28 ve 42. donma-çözülme döngülerinde eğilme dayanımındaki direnç kaybı %1-2 oranında değişim göstermiş, 56 donma-çözülme döngüsü sonrasında ise %15'e ulaşmıştır.

Tüm donma-çözülme döngüleri sonunda kütle kaybı ihmal edilebilir (<%0,1) düzeydedir.

Sonuç olarak limra taşı sert iklimlerde dış mekânda yapı taşı olarak kullanıldığında, don olayında etkilenmekte ve direnç kaybetmektedir. Bu nedenle, sert iklimlerde yapıların dış mekânında kullanılması durumunda kendisinden beklenen servis ömrünü kısaltacaktır.

6. Kaynaklar

Dunham, R. J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: W. E. Ham (ed.), Classification of Carbonate Rocks, American Association Petroleum Geologist, 1, 108-121.

Folk, R. L. (1959). Practical petrographic classifaction of limestones, American Association Petroleum Geologist, 43, 1-38.

Şenel, M. 1997. Antalya M10-M11 paftaları. MTA 1/100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, (6), 1-5

TS 699. (Mart 2009). Tabii Yapı Taşları – Muayene ve Deney Metotları. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS EN 1926. (Temmuz 2007). Doğal Taşlar – Deney Metotları – Basınç Dayanımı Tayini. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1936, 2010. Doğal taşlar- Deney metotları – Gerçek yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 6809/T1, 2012. Mohs sertlik cetveline göre sertlik tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 14157, 2005. Doğal taş-Aşınma direncinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12372, 2007. Doğal Taşlar – Deney Metotları – Yoğun Yük Altında Bükülme Dayanımı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2007.

TS EN 12407, 2019. Doğal Taşlar – Deney Metotları Petrografik İnceleme, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

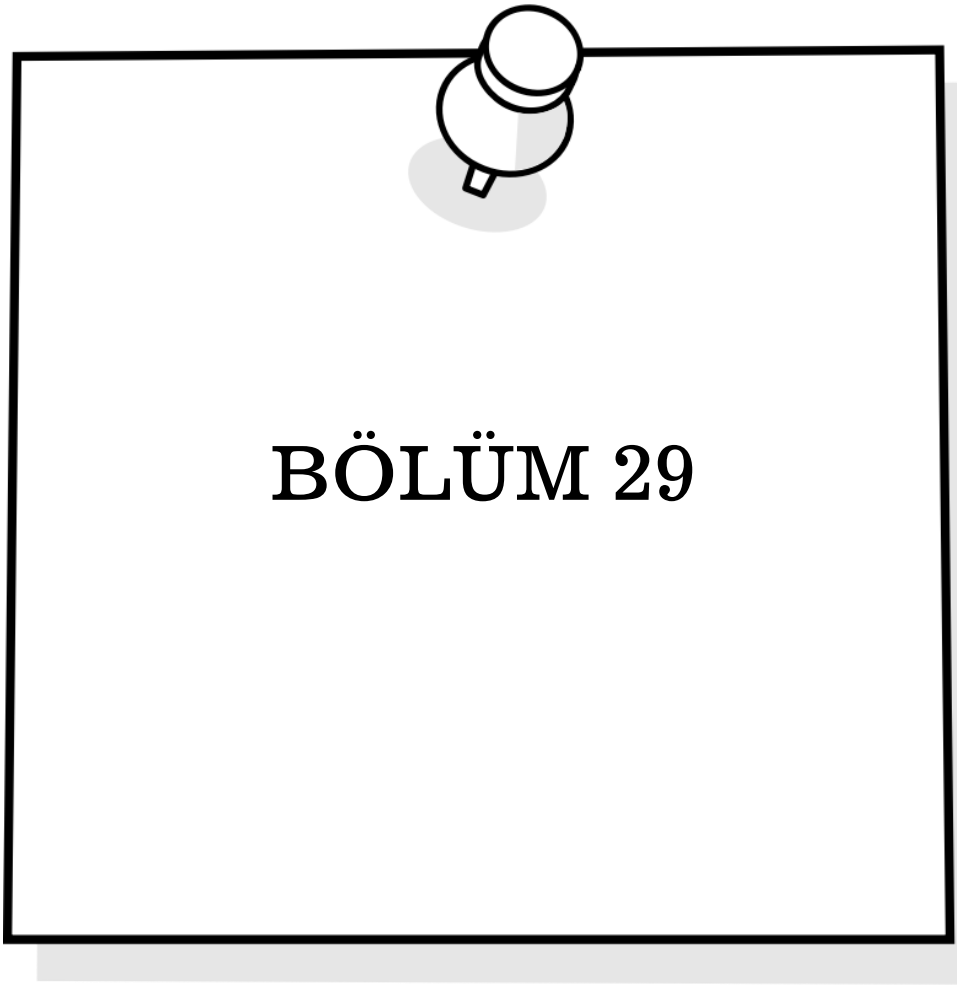
TS EN 13755, 2009. Doğal Taşlar- Deney Metotları- Atmosfer basıncında su emme tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

ISBN: 978-625-6971-84-4

TS EN 14157, 2017. Doğal Taşlar- Deney yöntemleri- Aşınma direncinin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 14231, 2004. Doğal Taşlar- Deney metotları- pandül deney donanımıyla kayma direncinin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 13364, 2003. Doğal taşlar-Deney metotları-Saplama deliğinde kırılma yükünün tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.



BÖLÜM 29

ISBN: 978-625-6971-84-4

DERİN ÖĞRENME YÖNTEMLERİ İLE ÇİLEK BİTKİSİNDE HASTALIK TESPİTİ

Arş. Gör. Fatmanur ATEŞ[1]

Prof. Dr. Ramazan ŞENOL[2]

GİRİŞ

Dünya üzerinde yaşamın başladığı ilk yıllardan beri var olan tarım, sürdürülebilir yaşamın devam etmesi için önemlidir. Tarım olmadan bir yaşam düşünülemez, çünkü hayvancılık gibi diğer alanların varlığı da tarıma bağlıdır. Ancak yaşamın başladığı ilk yıllardan bugüne kadar dünya nüfusunda artış gözlemlenmektedir. Nüfustaki artış, tarım ürünlerine olan ihtiyacı artırdığı gibi, mevcut tarım alanlarının da farklı amaçlarla kullanılabilmesine sebep olabilmektedir. Artan talebe yetişebilmek için tarım arazilerinin verimli kullanılması çok önemli bir konudur. Tarım ürünlerinin sağlıklı olmaları, ürün verimlerini ve kalitelerini önemli oranda etkiler. Dolayısı ile hassas tarımda bitkilerin varsa hastalıklarının tespitinin sağlanıp gerekli önlemin zamanında alınması verimi ve kaliteyi etkiler. Verim ve kalitenin, ihracatında önemli olduğu tarım ürünlerinden biri de çilektir.

Çilek ülkemiz için önemli tarım ürünlerinden biridir. Tarım ve Orman Bakanlığının 2022 yılında hazırlamış olduğu rapora göre Türkiye 2019-2020 yıllarında 487 bin ton, 2020-2021 yılında ise 547 bin ton çilek üretmiştir. Dünya çilek üretiminde Türkiye 5. Sırada yer alırken ihracatta 12. Sırada yer almaktadır. Üretimin artırılması için çiftçiye sağlanan mazot, gübre, organik tarım destek miktarlarına da raporda yer verilmiştir (Tarım ve Orman, 2022). Çilek talep gören bir meyvedir ancak birçok hastalık ve zararlısı da bulunmaktadır (Karaca, 2020). Dünya'da çilekte oluşan hastalıkların önemli ölçüde ekonomik kayba sebep

[1] Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, Orcid:0000-0001-5465-2483
[2] Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0002-7078-3229

olduğu bilinmektedir. Çilekteki hastalıklar bitkinin erken dönemde ölümüne sebep olmakta veya çiçeklenme döneminde çiçekleri kurutup üreticiyi zarara uğratabilmektedir (Aysan vd., 2019). Çilekte oluşabilecek hastalıkların zamanında tespit edilebilmesi önemlidir.

Literatürde çilek ve diğer tarım ürünlerinde hastalık tespitinde kullanımı yaygınlaşan derin öğrenme yaklaşımlarının kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Mukti vd. transfer öğrenme temelli CNN modeli kullanarak 38 farklı hastalıklı sınıftan bitki yaprağı görüntüsü ve sağlıklı yaprak görüntüleri ile derin öğrenme modellerini eğitip sınıflandırma yapmışlardır. Bitki hastalıklarını %99.80 doğrulukta sınıflandırabildiklerini ifade etmişlerdir (Mukti vd., 2019). Atik, 9 hastalıklı ve 1 sağlıklı sınıftan oluşan domates bitkisinin yapraklarından oluşan veri seti üzerinde GoogleNet, AlexNet, SqueezeNet, ShuffleNet ve ResNet-18 modellerini kullanarak sınıflandırma yapmıştır. Çalışmasında, en iyi performans gösteren modelin %95.18 doğruluk oranı ile GoogleNet olduğunu ifade etmiştir (Atik, 2022). Ertem ve Özbay, 9 hastalıklı ve 1 sağlıklı sınıftan oluşan 18.160 adet domates yaprağı görüntüsünü Cubic SVM sınıflandırıcı ve One-vs-All çok Sınıflı bileşen metodu ile %99.2 oranında doğru sınıflandırdıklarını ifade etmişlerdir (Ertem ve Özbay, 2022). Aksoy vd., elma yapraklarında meydana gelen uyuz, siyah çürük, pas hastalığına sahip görüntüleri ve sağlıklı yaprak görüntülerini AlexNet, DenseNet-121, ResNet-34, VGG16-BN ve Squeezenet1_0 mimarileri ile sınıflandırmışlardır. Çalışmalarında en yüksek performansı ResNet-34 modeli ile %99.52 oranında elde ettiklerini belirtmişlerdir (Aksoy vd., 2020). Afzaal vd., Mask R-CNN mimarisi ile çilek bitkisinde 7 farklı hastalık türünün tespitini ortalama %82,43 mAP değeri ile belirlemişlerdir (Afzaal vd., 2021). Ramdani ve Suyanto çilek bitkisinde sağlıklı görüntüler ve 3 farklı hastalık türü görüntülerini içeren verisetini ResNet-50 mimarisine sahip bir CNN modeli ile ortalama %99,5 doğrulukla sınıflandırmışlardır (Ramdani ve Suyanko, 2021). Ökten ve Yüzgeç, çeltik bitkisi için hastalık tespiti yapmışlardır. Bitkinin hastalıklı veya sağlıklı olma durumunu önermiş oldukları ESA temelli modelle %97.57 olarak tespit etmişlerdir (Ökten ve Yüzgeç, 2022).

Bu çalışmada yedi farklı çilek hastalığı görüntülerine sahip veri seti kullanılarak DenseNet121, VGG19, MobileNetV2 ve Xception derin öğrenme mimarileri ile hastalık tespiti yapılmıştır. “Imagenet” görüntüleri üzerinde eğitilen mimariler ile transfer öğrenme uygulaması yapılmıştır. Modellerin eğitim, tahmin ve test sonuçları farklı değerlendirme metrikleri ile verilmiştir. Çilek veri setini sınıflandırmada DenseNet121 Modeli %85,73 test başarısı ile en optimum sonucu vermiştir.

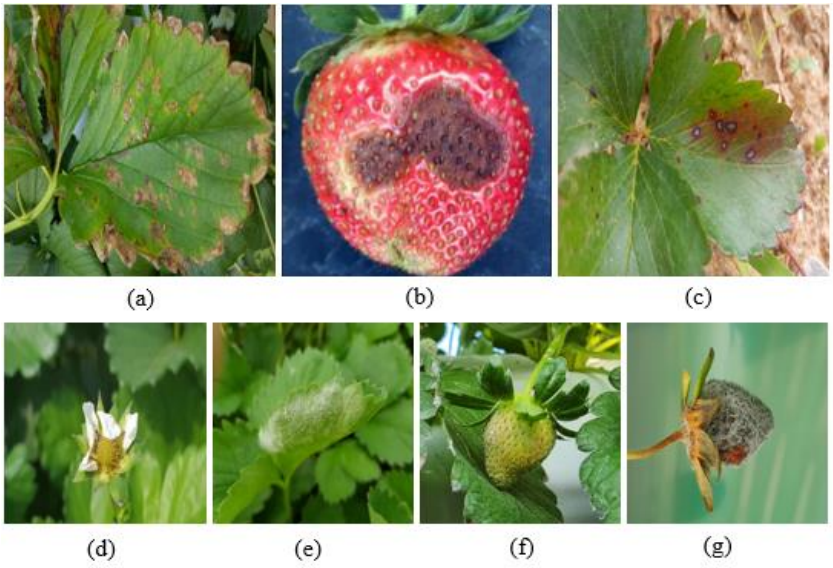
ISBN: 978-625-6971-84-4

MATERYAL VE METOT

Bu bölümde çalışmada kullanılan materyallerin kısaca açıklamaları verilmiştir ve çalışmanın yöntemi anlatılmıştır.

Veri Seti

Bu çalışmada Kaggle'dan açık erişimli olarak elde edilebilen 7 farklı çilek hastalığının görsellerinin olduğu veri seti kullanılmıştır (Kaggle, 2021). Veri setinin içerdiği 7 hastalığa sahip görseller Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çilek veri setine ait örnek görüntüler (a) Köşeli Yaprak Lekesi, (b) Antraknoz Meyve Çürüklüğü, (c) Yaprak Lekesi, (d) Çiçek Yanıklığı, (e) Yaprakta Külleme (f) Meyvede Külleme (g) Kurşuni Küf Hastalığı (Kaggle, 2021).

Çalışmada kullanılan veri seti toplamda 2500 görüntü içermektedir. Bu görüntülerden köşeli yaprak lekesi hastalığına ait toplamda 435 görüntü, antraknoz meyve çürüğü hastalığına ait toplamda 97 görüntü, çiçek yanığı hastalığına ait toplamda 208 görüntü, kurşuni küf hastalığına ait toplamda 477 görüntü, yaprak lekesi hastalığına ait 615 görüntü, meyvede külleme hastalığına ait 135 görüntü ve yaprakta külleme hastalığına ait toplamda 533 görüntü bulunmaktadır. Veri setinin içerdiği hastalık sınıflarının eğitim, tahmin ve test olarak ayrıldıkları görüntü sayıları tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Veri setinde bulunan görüntü sayıları

Hastalık Tipi	Eğitim	Tahmin	Test	Toplam (2500)
Köşeli Yaprak Lekesi	245	43	147	435
Antraknoz Meyve Çürüklüğü	52	12	33	97
Çiçek Yanıklığı	117	29	62	208
Kurşuni Küf Hastalığı	255	77	145	477
Yaprak Lekesi	382	71	162	615
Meyvede Külleme	80	12	43	135
Yaprakta Külleme	319	63	151	533

Transfer Öğrenme

Transfer öğrenme, uygulanacak bir problem için öncesinde benzer bir görevde eğitilmiş birçok veri seti kullanılarak problemin çözümüne ulaşılmasını sağlayan derin öğrenme yöntemidir. Bir veri setini baştan oluşturmak yerine transfer öğrenme sayesinde oluşturulmuş veri seti üzerinde değişiklikler yapmak çok daha hızlı ve pratik bir yöntemdir (Abdulghani, 2020). İnsanın doğasına bakıldığında transfer öğrenme ile benzerliği görülmektedir. Hayatta bir problemle karşılaşıldığında daha önceki tecrübelerle edinilen bilgilerle bir karar verilerek çözüme ulaşılması transfer öğrenme yaklaşımı olarak örneklendirilir.(Fırıldak ve Talu, 2019) Transfer öğrenme genel olarak zaman ve emekten kazanç sağlamak ve güvenilir bir kullanım sağlamak amaçlıdır.

Derin Öğrenme

Derin öğrenme günümüzde artık en çok kullanım alanına sahip akıllı makinelerin öğrenme yeteneğidir. Derin öğrenme yapay sinir ağlarının veri seti ile eğitilip sonuçların tahmininin gerçekleştirdiği makine öğrenim tekniğidir. Verilerin bilgisayarlara işlemesi yapay zekâyla öğretilir.

Xception

Inception extrem sürümü olarak nitelendirilen Xception, Google tarafından sunulan evrişimli sinir ağı modellerindendir. ResNet mimarisindeki gibi evrişim

blokları arasında kısa yollar bulunur. Xception mimarisi içerisinde evrişim bloklarını, filtre birleştirme, havuzlama katmanlarını (maksimum ve ortalama), tam bağlantı katmanını ve softmax fonksiyonunu bulundurmaktadır (Cholet, 2017; Bozkurt, 2021).

VGG-19

Oxford üniversitesi Görsel Geometri Grubu tarafından Vgg16 algoritmasından sonra oluşturulmuş olan evrişimli sinir ağı modelidir. İçerisinde ortaklama katmanı (Maksimum ortaklama), tam bağlantı katmanı, relu katmanı, sönümleme katmanı ve softmax katmanını bulundurur. Son katmanda sınıflandırma katmanıdır. Giriş katmanında görüntüler 224x224x3 boyutunda olmalıdır (Doğan ve Türkoğlu, 2018). ImageNet veriseti ile %88 doğruluk yakalamıştır (Karadağ vd., 2021).

MobileNetV2

MobileNetV1 modelinin geliştirilmiş versiyonudur. İçerisinde ters yapılı artık bloklar ve lineer darboğazları bulundurur. Tersine yapılı artık bloklar derinlemesine evrişimlerde giriş kanal sayısının sınırlı kalma problemine çözüm olmaktadır. Tersine yapılı artık blokta bulunan aktive işlevi ile öğrenme işlemi hızlandırılır (Demir, 2022).

DenseNet121

Yoğun Evrişimsel Ağ (DenseNet121), her bir katmanı ileri beslemeli şeklinde doğrudan birbirine bağlanılan, katmanlar arası yoğun bağlantıları bulunan mimaridir. Geleneksel evrişimsel ağlarda kaç katman varsa o kadar bağlantı kullanılırken, örneğin evrişimsel ağda n bağlantı varken, DenseNet121 ağında n(n+1)/2 bağlantı kullanılmaktadır. Doğayı korumak amaçlı olarak her bir katman kendinden önceki tüm katmanların girdilerini ve özelliklerini bir sonraki katmana aktarır (Ergün ve Kılıç, 2021; Duman ve Özsoy, 2022).

Performans Değerlendirme Metrikleri

Performans değerlendirme metrikleri derin öğrenme modellerinin değerlendirilmesinde kullanılır. Metrikler çoğunlukla ikili sınıflandırma için oluşturulan hata matrisinin kullanılmasıyla elde edilir. İkili sınıftan oluşan hata matrisi tablo 2'de verilmiştir (Ateş ve Şenol, 2021).

Tablo 2: Hata Matrisi (Ateş ve Şenol, 2021).

		Tahmin Sınıfı	
		Pozitif	**Negatif**
Gerçek Sınıf	**Pozitif**	Doğru Pozitif (DP)	Yanlış Negatif (YN)
	Negatif	Yanlış Pozitif (YP)	Doğru Negatif (DN)

Tablod ‘de;

- DP; sınıfı pozitif olan verilerin doğru etiketlendiği sayıyı,
- DN; sınıfı negatif olan verilerin doğru etiketlendiği sayıyı,
- YP; sınıfı negatif olan verilerin aslında pozitif olarak etiketlendiği sayıyı,
- YN; sınıfı pozitif olan verilerin aslında negatif olarak etiketlendiği sayıyı verir (Ateş ve Şenol, 2021).

Performans değerlendirme metriklerinden olan doğruluk, duyarlılık, kesinlik, ve F1 Puanı ise denklem 1-4 ile verilmiştir (Ateş ve Şenol, 2021).

$$Doğruluk = \frac{DP+DN}{DP+YP+DN+YN} \quad (1)$$

$$Duyarlılık = \frac{DP}{DP+YN} \quad (2)$$

$$Kesinlik = \frac{DP}{DP+YP} \quad (3)$$

$$F\ Ölçütü = \frac{2*Duyarlılık*Kesinlik}{Duyarlılık+Kesinlik} \quad (4)$$

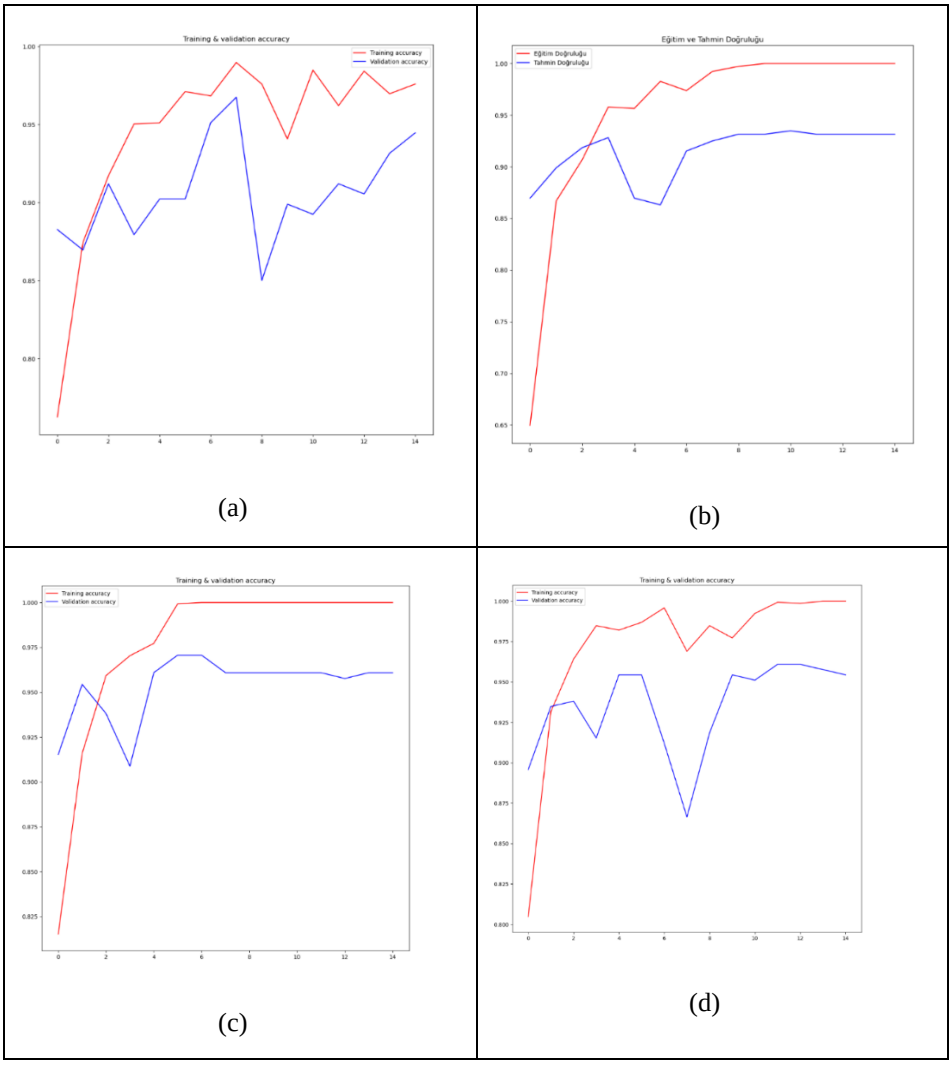
Ayrıca çalışmada kayıp değeri de kullanılmıştır. Kayıp değerinin sıfıra yaklığı ile modelin başarısı doğru orantılıdır (Şenalp ve Ceylan, 2022).

ARAŞTIRMA BULGULARI

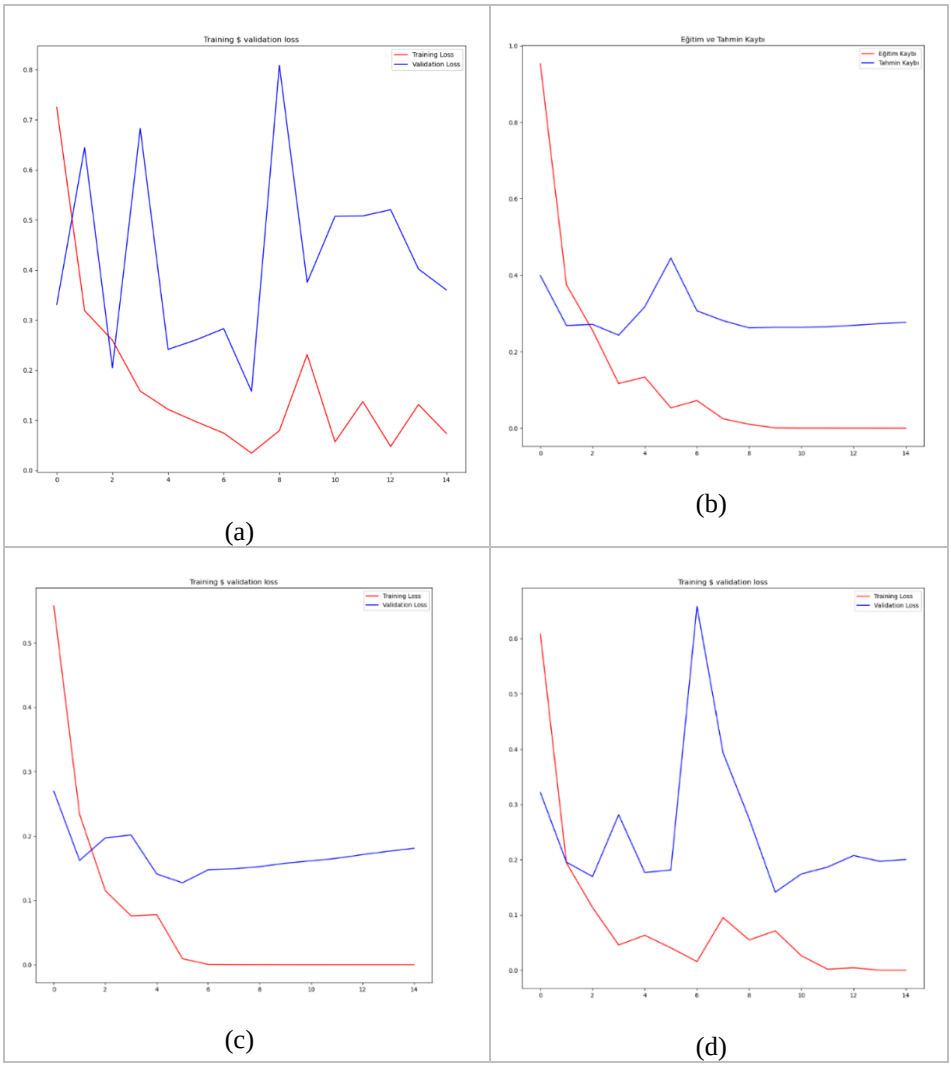
Çalışmada çilek bitkisinde oluşabilecek hastalık türlerinin derin öğrenme yöntemleri ile belirlenmesi üzerinde çalışılmıştır. Kullanılan veri seti 7 farklı hastalık türü içeren toplamda 2500 görüntüden oluşmaktadır. Eğitim işlemi için 1450 görüntü, tahmin işlemi için 307 görüntü ve test işlemi için

ISBN: 978-625-6971-84-4

743 görüntü kullanılmıştır. Modellere önce "imagenet" veri seti ile transfer öğrenme işlemi uygulanmıştır. Daha sonra veri setleri ölçeklendirilmiş ve Xception, VGG19, MobileNetV2 ve DenseNet121 mimarileri kullanılarak eğitilmiştir. Eğitimde 15 döngü kullanılmıştır ve eğitim son döngülere yaklaştığında performanslarda çok fazla değişim olmadığı gözlenmiştir. Eğitimlerin sonucunda elde edilen eğitim ve tahmin işlemlerinin doğruluk grafikleri şekil 2'de ve kayıp grafikleri şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada eğitilen mimarilerin doğruluk grafikleri (a) Xception, (b) VGG19, (c) MobileNetV2, (d) DenseNet121



Şekil 3. Çalışmada eğitilen mimarilerin kayıp grafikleri (a) Xception, (b) VGG19, (c) MobileNetV2, (d) DenseNet121

Çalışmada kullanılan mimarilerin eğitim işlemi için performans değerlendirmeleri tablo 3'te verilmiştir. Eğitim aşamasında VGG19, MobileNetV2 ve DenseNet121, Xception mimarisine göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

ISBN: 978-625-6971-84-4

Tablo 3. Eğitim İşleminin Performans Değerlendirme Sonuçları

Performans Değer-lendirme Metriği	Derin Öğrenme Metotları			
	Xception	**VGG19**	**Mobile Net V2**	**Dense Net 121**
Kayıp	0.0740	8.2033e-05	2.4175e-05	8.4420e-05
Doğruluk	0.9759	1.0000	1.0000	1.0000
F1 Puanı	0.9653	1.0000	1.0000	1.0000
Kesinlik	0.9779	1.0000	1.0000	1.0000
Duyarlılık	0.9759	1.0000	1.0000	1.0000

Çalışmada kullanılan mimarilerin tahmin işlemi için performans değerlendirmeleri tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'e göre MobileNetV2 modeli, DenseNet121 ile çok yakın sonuçlara sahip olmakla birlikte %96,09 oranı ile en yüksek doğruluğa sahiptir.

Tablo 4: Tahmin İşleminin Sonuçları

Performans Değerlendirme Metriği	Derin Öğrenme Metotları			
	Xception	**VGG19**	**Mobile Net V2**	**Dense Net 121**
Kayıp	0.3604	0.2770	0.1809	0.2003
Doğruluk	0.9446	0.9316	0.9609	0.9544
F1 Puanı	0.9093	0.8569	0.9218	0.9090
Kesinlik	0.9443	0.9346	0.9609	0.9575
Duyarlılık	0.9381	0.9316	0.9609	0.9544

Çalışmada kullanılan mimarilerin test işlemi için performans değerlendirmeleri tablo 5'te verilmiştir. Test sonuçlarına göre DenseNet121 modeli %85,73 oranında doğruluk başarısı elde etmiştir.

Tablo 5: Test İşleminin Sonuçları

Performans Değerlendirme Metriği	Derin Öğrenme Metotları			
	Xception	**VGG19**	**Mobile Net V2**	**Dense Net 121**
Kayıp	1.1148	2.0384	1.1379	0.8673
Doğruluk	0.7981	0.7254	0.8223	0.8573
F1 Puanı	0.7674	0.7005	0.7810	0.8173
Kesinlik	0.8085	0.7293	0.8263	0.8614
Duyarlılık	0.7900	0.7214	0.8129	0.8533

SONUÇ

Bu çalışmada derin öğrenme yaklaşımları kullanılarak çilek bitkisine ait yedi farklı hastalık türünün belirlenme başarısı artırılmaya çalışılmıştır. Çalışmada derin öğrenme mimarilerinden Xception, VGG19, MobileNetV2 ve DenseNet121 modelleri "imagenet" veri seti ile transfer öğrenme uygulanarak kullanılmıştır. Mimarilerden DenseNet121 modelinin test başarısı sırasıyla kayıp, doğruluk, f1 puanı, kesinlik ve duyarlılık değerleri 0.8673, %85,73, %81,73, %86,14 ve %85,33 olarak bulunmuştur. En optimum sonuçları DenseNet121 modeli elde ederken, kullanılan mimarilerden en düşük sonuçları test veriseti üzerinde kayıp, doğruluk, f1 puanı, kesinlik ve duyarlılık değerleri sırasıyla 2.0384, %72,54, %70,05, %72,93 ve %72,14 değerlerine sahip olan VGG19 modeli elde etmiştir. DenseNet121 mimarisinin çilek bitkisinde hastalık tespit etmede etkili bir yöntem olduğu söylenebilir.

REFERANSLAR

Abdulghani, S., Fadhil, A. ve Gültekin, S. S. (2020). Transfer learning using alexnet with support vector machine for breast cancer detection. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 423-430.

Afzaal, U., Bhattarai, B., Pandeya, Y. R. ve Lee, J. (2021). An instance segmentation model for strawberry diseases based on mask R-CNN. Sensors, 21(19), 6565.

Aksoy, B., Halis, H. D. ve Salman, O. K. M. (2020). Elma bitkisindeki hastalıkların yapay zekâ yöntemleri ile tespiti ve yapay zekâ yöntemlerinin performanslarının karşılaştırılması. International Journal of Engineering and Innovative Research, 2(3), 194-210.

Ateş, F. Ve Şenol, R. (2021). Hava Araçlarında Buzlanma Risk Derecesinin Yapay Zeka İle Tahmin Edilmesi. International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, 5(3), 457-468. Doi: https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.957478

Atik, İ. (2022). Derin Öğrenme Yöntemleri Kullanılarak Bitki Yaprağındaki Hastalıkların Sınıflandırılması. KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(2), 126-137.

Aysan, M., Özdemir, S. K. ve Erkiliç, A. (2019). Çilekte Rhizoctonia kök çürüklüğü (Rhizoctonia solani)'ne karşı bazı bitki aktivatörlerinin etkileri. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 16(2), 173-180. Doi: https://doi.org/10.33462/jotaf.521637

Bozkurt, F. (2021). Derin Öğrenme Tekniklerini Kullanarak Akciğer X-Ray Görüntülerinden COVID-19 Tespiti. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (24), 149-156. Doi: https://doi.org/10.31590/ejosat.898385

Chollet F., 2017, Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions, Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR-2017, Honolulu, 1251-1258.

Demir, F. (2022). Ultrason RF Sinyallerinden Göğüs Kanserinin Derin Öğrenme Tabanlı Yaklaşımlarla Tespit Edilmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 34(2), 761-768. Doi: https://doi.org/10.35234/fumbd.1142207

Doğan, F. ve Türkoğlu, İ. (2018). Derin öğrenme algoritmalarının yaprak sınıflandırma başarımlarının karşılaştırılması. Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences, 1(1), 10-21.

Duman, B. ve Özsoy, K. (2022). A deep learning-based approach for defect detection in powder bed fusion additive manufacturing using transfer learning. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 37(1), 361-375.

Ergün, E. ve Kılıç, K. (2021). Derin öğrenme ile artırılmış görüntü seti üzerinden cilt kanseri tespiti. Black Sea Journal of Engineering and Science, 4(4), 192-200.

Ertem, S. ve Özbay, E. (2022). Sınıflandırma Probleminde Derin Özellik Birleştirme Yaklaşımıyla Domates Yaprağı Görüntülerinde Hastalık Tespiti. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (44), 84-92.

Fırıldak, K. ve Talu, M. F. (2019). Evrişimsel sinir ağlarında kullanılan transfer öğrenme yaklaşımlarının incelenmesi. Computer Science, 4(2), 88-95.

Karaca, G. H. ve Kaya, F., (2020). Antalya ilinde yetiştirilen çileklerde hastalığa neden olan fungal etmenler. Mediterranean Agricultural Sciences, 33(1), 21-26. https://doi.org/10.29136/mediterranean.609519

Karadağ, B., Arı, A. ve Karadağ, M. (2021). Derin öğrenme modellerinin sinirsel stil aktarımı performanslarının karşılaştırılması. Politeknik Dergisi, 24(4), 1611-1622.

Kaggle, (2021). Strawberry Disease Detection Dataset. (Son Erişim Tarihi: 03.09.2023) https://www.kaggle.com/datasets/usmanafzaal/strawberry-disease-detection-dataset

Mukti, I. Z. ve Biswas, D. (2019, December). Transfer learning based plant diseases detection using ResNet50. In 2019 4th International conference on electrical information and communication technology (EICT) (pp. 1-6). IEEE.

Ökten, İ. ve Yüzgeç, U. (2022). Evrişimli Sinir Ağı ile Çeltik Bitkisi Hastalığının Tespiti. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11(1), 203-217.

Ramdani, A. ve Suyanto, S. (2021, July). Strawberry Diseases Identification From Its Leaf Images Using Convolutional Neural Network. In 2021 IEEE International Conference on Industry 4.0, Artificial Intelligence, and Communications Technology (IAICT) (pp. 186-190). IEEE.

Şenalp, F. M. ve Ceylan, M. (2022). Termal yüz görüntülerinden oluşan yeni bir veri seti için derin öğrenme tabanlı süper çözünürlük uygulaması. Politeknik Dergisi, 1-1. Doi: https://doi.org/10.2339/politeknik.904675

Türkite Tarım ve Orman Bakanlığı, 2022. "Tarım Ürünleri Piyasaları", Son Erişim Tarihi: 22.07.2023, https://arastirma.tarimorman.gov.tr