Mühendislik Alanında Akademik Çalışmalar

Editör
Doç.Dr. Yavuz ÖZDEMİR

DUVAR

MÜHENDİSLİK ALANINDA AKADEMİK ÇALIŞMALAR

Doç. Dr. Yavuz Özdemir



Mühendislik Alanında Akademik Çalışmalar
Editör: Doç. Dr. Yavuz ÖZDEMİR

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek
Kapak ve Sayfa Tasarımı: Duvar Design
Baskı: Aralık 2021
Yayıncı Sertifika No: 49837
ISBN: 978-625-75xx-xx-x

© Duvar Yayınları
853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir
Tel: 0 232 484 88 68

www.duvaryayinlari.com
duvarkitabevi@gmail.com

Baskı ve Cilt:REPRO BİR
Repro Bir Mat Kağ. Rek. Tas. Tic. Ltd. Şti.
İvogsan 1518. Sokak 2/30 Mat-Sit iş Merkezi Ostim
Yenimahalle/Ankara

İÇİNDEKİLER

1. Bölüm
ARAŞTIRMA HASTANELERİNDE İKLİMLENDİRME VE SOĞUTMA ALANLARINDA BAKIM VE SERVİS İŞLEMLERİ **7**
Ahmet ÇOŞGUN

2. Bölüm
UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANILARAK ORMAN YANGIN ŞİDDETİNİN ANALİZİ: 2021 BODRUM ORMAN YANGINI ÖRNEĞİ **23**
Ahmet USLU

3. Bölüm
İŞGÜCÜ ÇİZELGELEME: BİR HAVALİMANI GİRİŞ KAPISI İÇİN SENARYO ANALİZİ UYGULAMASI **37**
Tuğçen HATİPOĞLU, Ali İhsan BOYACI,Alpaslan FIĞLALI

4. Bölüm
KAPASİTE PLANLAMA VE TOPLAM EKİPMAN ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: ÖRNEK UYGULAMA **51**
Kübra BAŞKALAYCI, Alpaslan FIĞLALI

5. Bölüm
AMBALAJ TEKSTİLLERİNİN ÇEVRE AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ **71**
Okşan ORAL, Esra DİRGAR, Zümrüt BAHADIR ÜNAL[3] [71]

6. Bölüm
SİLİSYUM NİTRÜR ESASLI SERAMİKLER ve YENİ TİP SİNTERLEME KATKILARININ ETKİLERİ **87**
Fatih ÇALIŞKAN

7. Bölüm
SU VE ATIKSU ARITIMINDA DİYATOMELERİN KULLANIMI, ÜZERİNE YAPILAN BİLİMSEL ÇALIŞMALAR **109**
Abdullah YİNANÇ

8. Bölüm
COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ TABANLI ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME ÇALIŞMALARINDA TEMATİK HARİTALARIN STANDARDİZASYON YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ **129**
Ferit YAKAR

9. Bölüm
SÜRDÜRÜLEBİLİR MALZEME YÖNETİMİ İÇİN PLASTİK ATIKLARIN KİMYASAL OLARAK GERİ KAZANIMI **145**
Gamze GÜNDÜZ MERİÇ

10. Bölüm
ENERJİ HASATLAMA: DÜŞÜK VE YÜKSEK GÜÇTE **159**
Hasan DEMİR

11. Bölüm
BİGADİÇ BOR İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ TESİSLERİNDE ORTAYA ÇIKAN ATIK KİLİN YER KAROSU ÜRETİMİNDE KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI **175**
İlker ÖZKAN

12. Bölüm
YENİLENEBİLİR BİYOKÜTLE ENERJİSİ OLAN PELETLEMENİN ENERJİ TÜKETİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ANALİZİ **189**
Kübra TÜMAY ATEŞ

13. Bölüm
ÇALIŞMA ORTAMLARINDA AYDINLATMA SİTEMLERİ SEÇİMİ ve AYDINLATMA ŞİDDETİ DEĞERLERİNİN ÖNEMİ **203**
Mustafa Özgür KESKİN **203**

14. Bölüm
DOĞAL LİF/PARTİKÜL TAKVİYELİ EPOKSİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI **221**
Nilay KÜÇÜKDOĞAN

15. Bölüm
SAGALASOS ANTİK KENTİNİN MERMER-DOĞALTAŞ LİTOLOJİSİ ve PETRO-KİMYASAL KARAKTERİSTİĞİ **233**
Ramazan HACIMUSTAFAOĞLU , Hakan ELÇİ

16. Bölüm
GIDA SUÇLARI, İDARİ YAPTIRIMLAR ve ADLİ YARGI SÜRECİNDE BİLİRKİŞİLERİN ROLÜ **265**
Sibel ÖZÇAKMAK

17. Bölüm
ÜLKEMİZDE PETROL VE DOĞALGAZ HATLARINDA GALVANİK ANOTLU KATODIK KORUMAYA YÖNELİK ÇALIŞMALAR **273**
Tayfun KARAGÖZ, İsmail TOPÇU

18. Bölüm
SU KAYNAKLARININ BİLİNÇLİ KULLANIMINDA ÇEVRE EĞİTİMİNİN ÖNEMİ ÜZERİNE KISA BİR DERLEME ÇALIŞMASI **287**
Zeyneb KILIÇ

✔1. Bölüm

ARAŞTIRMA HASTANELERİNDE İKLİMLENDİRME VE SOĞUTMA ALANLARINDA BAKIM VE SERVİS İŞLEMLERİ

Ahmet ÇOŞGUN[1]

1 Dr., Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler MYO Kampüs/ ANTALYA acoskun@akdeniz.edu.tr

1.GİRİŞ:

Hastaneler, özel tasarım kriterlerine sahip, özel ve çeşitli uzmanlık alanları gerektiren işyerleridir. Araştırma Hastanelerinde mevcut iklimlendirme şartlarının yanında, özellikle ameliyathanelerin iklimlendirme tasarımı da çok özeldir. Ameliyathanelerin HVAC gereksinimleri, sıcaklık, bağıl nem, havanın temizliği, basıncı, dağıtımı seçenekleri tam sağlanmalıdır. Dolayısıyla hastanelerin mimari tasarımına, dekorasyon ve tefrişatına gösterilen önemden çok daha fazlasının iklimlendirme tasarımına gösterilmesi gerekmektedir.

Bir binanın 40 yıllık maliyetinin sadece %11'ini yapım maliyeti, %50'sini işletme maliyeti oluşturduğu göz önüne alındığında aynı maliyet dağılımının hastaneler için de geçerli olduğu düşünülebilmektedir (HVAC Tasarım Klavuzu, MMO). Araştırma Hastaneleri gece gündüz çalışan resmi kurumlardır. Hem sağlık hizmetinin aksamaması hem de bahsedilen işletme maliyetinin daha da fazla artmaması için, belirli uzmanlıklara sahip çalışanların daimi olarak hastanede bulunması, arıza, bakım ve onarımların vakit geçirilmeden yapılması gerekmektedir. Hastanelerde en basit bir makine elemanının zamanında yenilenmemesi daha fazla enerji tüketimine neden olabildiği gibi, yapılması gereken bir ameliyatın ertelenmesine, hijyen problemlerinin doğmasına, maddi ve manevi yönden telafisi güç veya imkansız kayıplarla sonuçlanabilmektedir. Bu nedenle hastanelerde Teknik Hizmetler Müdürlüğünün yerinde anında çözüm ile arıza ve bakımlarının yapılması çok önemli ve ivedi bir durumdur.

Bu bölümde, Hastaneler hakkında genel bilgiler verilmiş bakım yöntemleri hakkında literatür araştırılmış, örnek bir araştırma hastanesinde, Teknik Hizmetler Müdürlüğüne bağlı bulunan iklimlendirme ve Soğutma birim şefliğinde, meydana gelen bakım ve arızaların nasıl giderildiği uygulamalı olarak gösterilmeye çalışılmıştır. Bu uygulamalı hastane bakım örneklerinin dayandığı mevzuat hükümleri de bu bölümde değerlendirilmiştir.

2. HASTANELER VE BÖLÜMLERİ

Hastaneler üç şekilde sınıflandırılırlar,

a) Kalma uzunluğuna göre: Bu tip yerlerde hastanın 30 günden az kaldığı yerlerdir.

b) Hastanın sağlığına göre: İhtisas hastaneleri, kanser merkezleri, kadın ve çocuklar için merkezler veya ruh sağlığı merkezleri

c) Mülkiyet durumuna göre: Kamu hastaneleri, Özel hastaneler, Devlete ait olan hastaneler (Savunma Bakanlığına ait hastane) bir sınıflandırma yapılır **[2].**

Hastane içerinde ise birçok ünite mevcuttur Bunlar sırasıyla;

2.1. Hasta Bakım Üniteleri

a) Genel Medikal ve Cerrahi Üniteleri,
b) Havada Dolaşan Bulaşıcılar için Karantina odası,
c) Koruyucu Ortam Odası,
d) Kritik Hasta Bakıcılık Üniteleri,
e) Yeni Doğan Bebek Bakım Üniteleri,
f) Sancı Odası (Doğum Merkezi),
g) Kemik İliği Nakil Üniteleri,
h) Fizik Tedavi üniteleri,
ı) Sub Akut Üniteleri,

2.2. Teşhis ve Tedavi Merkezleri

1-Cerrahi Suitleri,
2-Kardiyak Kateterizasyon Suitleri,
3-Doğum Suitleri,
4-Acil /Tranva Merkezleri,
5- Görüntüleme merkezleri,
6- Labarauvar Süiti,
7-Labaratuvar,
8- Diyaliz Suiti, Endoskopi süitleri ve odaları

2.3. Destek Servisleri

1- Besin Bölümü,
2- Merkezi Steril Servisi,
3- Malzeme Yönetimi,
4- Eczane,
5- Cevresel ve Çarşaf Hizmeti,
6- Mühendislik ve Bakım Atölyeleri (Teknik Hizmetler Müdürlüğü)
7- Otopsi Morg,
8- Çöp ve Kompaktör Alanı,

Hastanelerin destek servisleri kısmında bulunan Mühendislik ve Bakım Atölyesi, günümüzde Teknik Hizmetler Müdürlüğü adıyla faaliyetlerini sürdürmektedir.

3.BAKIM YÖNTEMLERİ

Teknik hizmetler müdürlüğüne bağlı birimlerde yapılan bakımlar, plansız ve planlı bakım olarak ikiye ayrılmaktadır.

3.1.Plansız Bakım

Arıza olduğunda anlık olarak müdahale edilmesi ve uygulanması gereken yöntemdir.

3.2. Planlı Bakım

Makine, ekipman ve teçhizatın ilgili mevzuatı gereğince belirlenen sürelerde rutin olarak yapılması gereken bakımlardır. Kendi arasında, Koruyucu bakım, Kestirimci bakım ve Toplam Verimli bakım olarak üç gruba ayrılabilir.

3.2.1.Koruyucu Bakım

Belirli aralıklarla yapılan bakım türüdür. Koruyucu bakım ile olası bütün problemlerin önlenebilmesi her zaman mümkün olmadığı gibi tam tersi, bu bakım esnasında yeni problemler de ortaya çıkabilmektedir (Örneğin; Chiller grubu kondenserin ısı transferini iyileştirmek maksadıyla, taş asidi kullanılarak temizliğinin yapıldığı esnada, bakır borunun delinmesi ve buna bağlı olarak sistem içindeki gazın boşalması yeni bir arıza oluşturmaktadır.)

3.2.2.Kestirimci/Tahminleyici Bakım

Makina ve ekipmanlardan, belirli aralıklarda **ölçümler alın**ması esasına dayanan bu bakım türü, hem çalışanların hem de ekipmanların sağlık ve güvenliğinin takip edilmesi bakımından önemlidir. (Örneğin; bir elektrik motoru ile pompanın kaplin bağlantısında belirli bir süre sonra aşınmaya dayalı bir arızanın olmasının önlenmesi için belirli aralıklarla mil ölçüm kalınlığının alınması)

a) Titreşim analizleri: Genellikle dönel çalışan ekipmanların analizleri için gereklidir. (Örneğin, elektrik motoru ile santrifüj pompa milindeki eğikliğin tespiti için bu analizin yapılması gereklidir.)

b) Kızılötesi Termografik Denetim analizi: Elektrikli kapı panelleri, motorlar, kazan kapakları gibi ekipmanların yaydıkları radyasyonun Kızılötesi kamerası ile görüntülenmesi yöntemidir.

c)Motor akımı analizi: Genelde motor rotor sorunun saptamak için kullanılan bir analiz yöntemidir.

d) Yağ analizi: Bu analizler yağdaki kirleticilerin çeşitlerini ve aşınma metal sayısını göstermektedir.

e)Soğutucu analiz: Soğutucu akışkanın fiziksel özelliklerini nem ve asitlik seviyesinin belirlendiği analiz yöntemidir.

3.2.3. Toplam Verimli Bakım

Toplam verimli bakım(TVB) koruyucu bakımın bir ekip yerine tüm çalışanlara mal edildiği bakım türüdür. Bu bakım türünde bakım gereklerinin azaltılması, onarılabirliğin ve koruyucu bakımın geliştirilmesidir **[5].**

Burada özellikle Kış ve yaz döneminde mekanik tesisat sistemlerinin çalıştırılması ile işletme sonrasında kontroller önemli rol oynamaktadır.

Bu kontrollerde Aspiratör ve vantilatörlerin de hava sirkülasyonun düzgün devam edip etmediği kontrol edilmelidir. Motor ve fan elamanlarında normal olmayan seslerin gelip gelmediği, Aspiratör ve vantilatörlerin çektikleri akımların değerde olup olmadığı, kontrol edilmelidir, Diğer taraftan Elektrik kumanda panolarının sinyal lambalarında arıza gösterip göstermediği Çalışan tüm Elenaların sinyal lambalarının arızalı olup olmadığı, elektrik panolarında pano güç değerlerinin doğru gösterip göstermediği hususları sürekli kontrol edilmedir. Genellikle İklimlendirme ve soğutma şefliklerinde Aspiratör ve vantilatör bakımı, Klima santrallerinin filtre bakımları, Isıtıcı ve soğutucu bakımları, Pompaların bakımları, Hava soğutmalı kondenser bakımı, Soğutma grubu bakımı bu şefliklerde sürekli yapılması gerekmektedir. Genellikle yukarıda belirtilen bakımlar aylık ve yıllık bakımlar olarak periyotlar halinde yapılması sağlanmalıdır**.[6].**

4.ARAŞTIRMA HASTANELERİNDE MEKANİK TESİSATTA MEYDANA GELEN ARIZALAR VE GİDERİLME YÖNTEMLERİ ÖRNEKLERİ

4.1.Mekanik Tesisat Örneği

Hastanelerde hareketli olan tüm makine ve ekipmanlar kırılabilir ve arızalanabilir. Bu nedenle Araştırma ve Uygulama Hastanelerinde Teknik Hizmetler Müdürlüğü hastanenin kalbi durumundadır. Bakım arıza olduğunda, yapılan bakım türüne Reaktif bakım denilmektedir. Bu bakım türünde sadece ekipmanın bozulduğunda yenisi ile değiştirilmesi yapılmaktadır. Örneğin; soğutma grubuna ait bir kollektör grubunda meydana gelen pompa ve motor arızası değişim örneği verilebilir**(Şekil 1).**



Şekil 1: Bir araştırma Hastanesi Rampa altı pompasının arıza nedeniyle pompa ve elektrik motorunun yenisi ile değişimi

Hastane uygulamalarında genellikle Isıma ve Soğutma sistemleri, aynı mekanik tesisat üzerinden yapılmaktadır. Bunun amacı maliyeti düşük tasarım yapmaktır. Mekanik tesisatlarda hem ısıtma sisteminde hem de soğutma sisteminde kullanılan santrifüj tip sirkülasyon pompalarında bulunan mekanik salmastralar, suyun basıncı fazla olması, mekanik tesisat borusu içerindeki sistemin içindeki suyun kirli ise tortulu bulunması durumlarında mekanik salmastralar da bulunan aynanın yüzeyinin çizilmesine buna bağlı olarak da salmastranın su kaçırmasına neden olmaktadır**(Şekil 2).**



Şekil 2: Yatay Tip mekanik santrifüj pompa kollektör sisteminde santrifüj pompanın salmastradan su kaçırması örneği

Şekil 2'de görüldüğü üzere yatay tip santrifüj pompanın su kaçırması anında müdahale edilmemesi sebebiyle beton zeminde de belli bir deformasyonlarının olacağı kaçınılmaz bir durumdur. Görüldüğü gibi bir pompanın salmastra yüzünden su kaçırması hem mekanik tesisatta suyun azalmasına buna bağlı enerji aktarımının da azalmasına ve kayıplara neden olmaktadır.

4.2. Ameliyathane temiz odalarının incelenmesi ve örnek uygulamalar

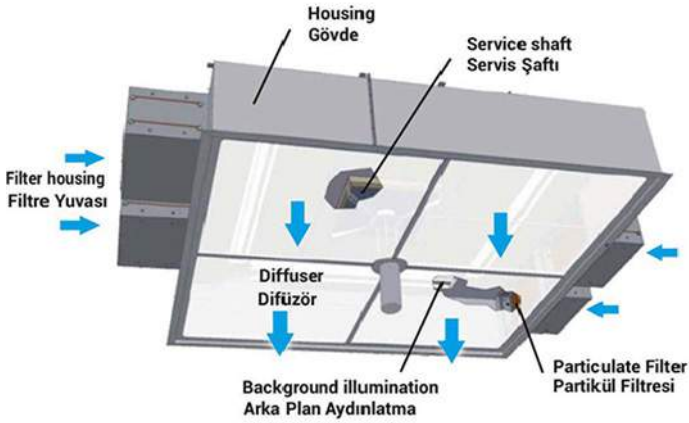
Türkiye'de, hastaneler ve steril ortamlar konusunda mevzuata bakıldığında TS ISO 14644–1/2/4/5/7 Standarttı ile 2002 tarihinde yayınlanarak günümüze kadar çeşitli değişiklikleri kapsayan Sağlık Bakanlığı "Özel Hastaneler Yönetmeliği verilebilir. Türkiye de Mekanik proje tasarımında daha çok uluslararası düzenlemelere itibar edilmektedir. Bunların arasında; US 209E, DIN 1946/4, ve birleştirilmiş, Avrupa standartı olan ISO 14644 standartları örnek olarak verilebilir. Ülkemizde hastane tesisatı mekanik proje tasarımında en çok DIN 1946–4 Standardının kullanılması alışkanlık halini almış ve kabul görmektedir Hastanelerde mimari tasarım özelliği olarak mikrop yayılmasının önlenmesi, personelin ve diğer hastaların korunması için riskli kabul edilen bölgenin kontrol altında tutulması kriterleri belirtilebilir. Gerek fonksiyon, gerekse hasta, personel ve malzeme sirkülasyonunun kontrolü için öncelikli tedbirlerin proje tasarım sürecinde belirlenmesi ancak koordineli çalışma ile mümkün olmaktadır[1].

Hastanelerde bulunan ameliyathaneler, yoğun bakım üniteleri, sterilizasyon, IVF üniteleri, genetik laboratuarlar vb. alanlar temiz oda olarak sınıflandırılır. Laminer akışlı temiz odalarda hava akışı, bir çizgi şeklinde akmaktadır. Birbirine paralel olan bu akım çizgilerinin her noktasında, havanın hızı sabittir (masa 0.22 m/sn-0.28 m/sn). Türbülanslı akışta ise hava akışı düzensiz hava akım çizgileri rastgeledir (0.35 m/sn-0.55 m/sn**).** Ameliyathanelerde verilecek olan hava, hijyenik klima sistemlerinden geçirilmeli DIN 24185'e uygun olarak "B2″ ve"C" filtrelemelerine uygunluk göstermelidir. Bu şekilde hazırlanan hava laminer flow tavan muhafazasında yüksek performans filtreler ile süzülür. Hava bu sistemden geçerek ameliyathaneye verilir. Hava giriş ısısı, ameliyathanenin ortalama ısısından daha düşük olacak şekilde fark 1-3 C olmalıdır, Ameliyat anında ortamın hava kalitesinin hijyen sınırları içerisinde olmaması, hastanın ameliyat sırasında enfeksiyona yakalanma riskini arttırmaktadır. Laminer flow üniteleri bu problemi gidermek için üretilmiştir. Bu üniteler ameliyat yapılan bölgede bulunan hasta ve doktorların üzerinde laminer akım oluşturarak, bakteri, virüs ve mikroplardan korunmasını sağlar**[3].**

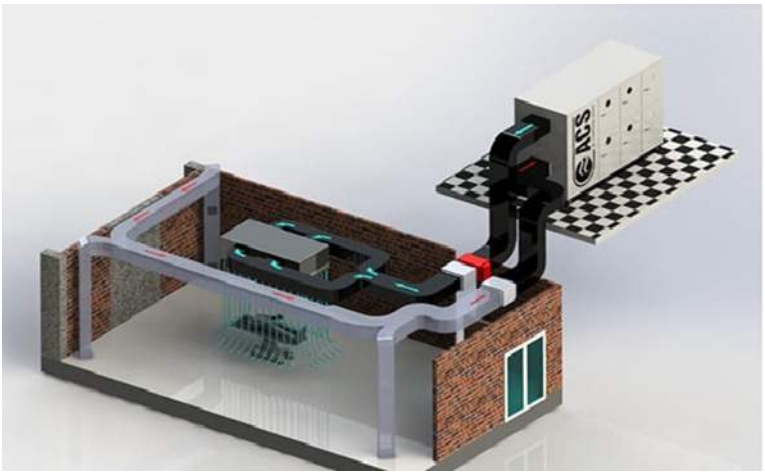


Şekil 4: Bir ameliyathanede bulunan laminar Flow akış ünitesi ile ameliyat masası görünümü

DIN 1964/4′ e göre ameliyathane hacimlerine gönderilmesi gereken minimum hava miktarı 2400 m³/h olup bu miktarın en az %50'si taze hava olmak zorundadır. Laminarizatör özel üretim tekstilden üretilmiştir. Alüminyum çerçeve üzerine gerildikten sonra sabitlenen laminarizatör plenum hücre içindeki yuvasına mandallar vasıtasıyla sabitlenmektedir. Laminarizatörler hepa filtre değişimi veya periyodik bakım ve temizlik için kolayca sökülüp takılabilir. Büyüklüğüne göre iki veya dört parçalı olarak yapılan laminarizatörlerin orta birleşim yerlerinde 250 x 250 mm ebadında bir açıklık bulunmaktadır. Ameliyathane lambası için bırakılan bu boşluk montaj sonrasında 125 mm delik içeren contalı bir yaka ile kapatılmaktadır**[3].**



Şekil 5: Ameliyathane temiz oda havalandırma sistemi modeli görünümü**[3]**.



Şekil 6: Yüzeyden Filtreli Laminar Flow Ünitesi görünümü**[4].**

Ameliyathanelerde ani sıcaklık düşümleri genelde olmaz ancak acil sıcaklık düşüşleri olduğu takdirde iklimlendirme ve soğutma uzmanları ameliyat olunan yere acil olarak gider, ameliyat da bulunan hastanın durumu doktor gözetiminde başka bir ameliyathaneye alınarak burada devam edilebilir. Bu nedenle hastanelerde bulunan ameliyathanelerde havalandırma sistemleri sürekli aktif ve çalışır halde 7 gün 24 saat çalışır durumdadır. Şekil 7'de bulunan örnekte ameliyathane içerisine hava gelmediği sıcaklığı yükseldiği şikayeti belirtilmesi üzerine, Araştırma Hastanelerinde bulunan Teknik Hizmetler Müdürlüğüne bağlı İklimlendirme ve soğutma birim şefliklerinin uzmanlık alanında olan iklimlendirme uzman teknikerleri ekip halinde Ameliyathane sterilizasyon koşullarına uygun olarak giyindikten sonra, özellikle hastanenin Ameliyathalerine bulunan laminar flow akış ünitelerinde sızdırmazlıkları %99,9 olan hepa filtreler kontrol edilir(Şekil 7 a-b).



Şekil 7 (a ve b): Hepa Filtrenin bulunduğu yerin sökülme hali görünümü.

Hepa filtre söküldüğü halde hava gelmediği görülmesi üzerine hepa filtre yenisi ile ivedi olarak değiştirmelidir(Şekil 8-a,b).



Şekil 8 (a ve b): Hepa Filtresin kirlenmiş ile yenisinin görünümü (a,b)

Hepa filtrenin yenisi ile değiştirilmesine rağmen havanın az miktarda geldiği anlaşılmakla, hijyenik klima santraline doğru geriye doğru hava basınç kontrolü yapılarak gidilmiştir**(Şekil 9-a,b).** Bu durumda klima santralinin bulunan fanlarda bir arıza olup olmadığı da teknik yönden incelenmiştir.



Şekil 9 (a ve b): Hijyenik Klima santrali ve iç kısmında bunan fanın görünümü

Hijyenik klima santralinde bulunan fanlar ve kayışlarda bir arıza olmadığı belirlenmiş ancak klima santrali içerisindeki toz torba filtrelerin ve serpantinlerin kirlenmiş olduğu belirlenmiştir(Şekil 10 a ve b).



Şekil 10 (a ve b): Hijyenik Klima santralinin serpantin ve torba filtrelerinin kirli olduğu görünümü**.**

Bu tip hijyenik klimalarda klima santralinin kapakları açıldıktan sonra torba filtreler yerlerinde bulunan yuvalardan düzgün bir şekilde çıkarılır. Akabinde Yüksek basınçlı su ile serpantin temizlenir. Hijyenik klima santralinin şekil 10' da görüldüğü üzere toz partiküllerinin çok fazla olması nedeniyle hava geçişinin azaldığı da görülmektedir. Bu tip hijyenik klima santrallerin temizlik ve bakımları 6 ay'ı geçmemelidir.



Şekil 11: Hijyenik bir klima santralinin basınçlı su ile serpantin temizliği görünümü

Şekil 11'de Hijyenik bir klima santralinin basınçlı su ile serpantin temizliği gösterilmiştir. Bu serpantin temizlik sonrasında yeterli kurulama işleminden sonra yeni torba filtreler yenisi değiştirilmiştir.Cihazların dış üniteleri de benzer şekilde kondanser temizlikleri de 6 ayı geçmemek koşulu ile basınçlı su ile temizliklerinin yapılması gerekmektedir(Şekil 12 a ve b).



Şekil 12 a ve b: Chiler dış ünite kondanserinin basınçlı su ile temizlenme anı görünümü ile temizlenmiş halinin görünümü

Hastane içerinde havalandırma kanal içleri özellikle hastaların yoğun olduğu poliklinik bölgelerinde hassas robot teknolojisi yöntemleri ile hava kanal içlerinin temizliği yapılmalıdır. Çıkış menfez kapakları temiz su ve kimyasallar vasıtasıyla 6 ayda bir temizlenmesi sağlanmalıdır. Şekil 13'de kirlenmiş bir menfezin durumu örnek olarak verilmiştir.



Şekil 13: Kirlenmiş bir havalandırma kanal menfezi görünümü

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

İşletmelerin en önemli hedeflerinin başında, mali yönden gücünü devam ettirebilmesi, ayakta kalabilmesi gelmektedir. Bu hedef doğrultusunda özellikle teknik donanımlara sahip işletmelerin iyi bir bakım organizasyonu kurmaları gerekmektedir. Kamuya sağlık hizmeti veren hastanelerde de durum farklı değildir. Sağlık hizmetinin kesintisiz verilmesinin sağlanabilmesi bakımından, teknik ekipmanların, makine ve teçhizatlarının etkin kullanılması önemlidir. Ancak, devamlılığın sağlanması kadar, bakım, onarım gibi işletme giderlerinin minimum maliyetle çözülebilmesi de önemlidir. Zira, rutin ve önleyici bakımları zamanında yapılmamış ekipmanlarda mevcut arızanın başka arızalara da sebep olabildiği, önce düşük bir maliyetle çözülebilecekken süre ve maliyet yönünden daha büyük sorunlara yol açılabildiği bilinmektedir.

Hastaneler sağlık hizmeti vermeleri nedeniyle, iş sağlığı ve güvenliği mevzuatı kapsamında "az tehlikeli" işyeri sınıfında yer almaktadır. Ancak, bünyesinde bulunan buhar kazanları, lpg tankları, boyler, asansör, kalorifer, klima vs tüm makine ve ekipmanların bakım ve onarımları çok tehlikeli sınıftadır. Ehil kişiler gözetimi ve denetiminde ve alanlarında uzman olan teknik kişilerce yürütülmesi gereken işlerdendir.

Hastanelerde kullanılan makine ve ekipmanlarda herhangi bir arıza meydana gelmesi, belirli bir süre için ilgili makinenin devreden çıkarılmasına, hatta yedeği yoksa o süre zarfında hizmet verilememesine neden olmaktadır. Hastanelerde, normal işletmelerden farklı olarak, arızadan etkilenecek kitle hasta insanlardır ve arızalar telafisi güç veya imkansız gecikmelere neden olabilmektedir. Bu bağlamda, makine ve ekipmanların bakımlarının ilgili mevzuatlarında öngörülen sürelerinde ihmal etmeksizin yapılması ve hatta önleyici/tahminleyici bakımları esas alan bir yönetim sisteminin benimsenmesi yerinde olacaktır. Böylelikle kontrollü bir kesinti ile hem sağlık hizmeti devamlılığı sağlanacak hem de maliyetler olabildiğince düşük tutulabilecektir.

KAYNAKÇA

[1]. Kırbaş, Celalittin, "Hastanelerde Mimari-Mekanik Proje Tasarımı ve Uygulama Esasları", Tesisat Mühendisliği, Sayı 127, syf 17, Ocak/Şubat 2012

[2]. Hastane ve Klinikler için HVAC tasarım kılavuzu, Yayın No: MMO/2009/503 ısbn:978-9944-89-788-4 , Ekim 2009, Ankara.

[3]. https://www.tesisat.org/laminer-flow-unitesi-nedir-nerelerde-kullanilir.html (Erişim Tarihi 18.11.2021)

[4]. https://www.cees.com.tr/urunlerimiz/yuzeyden-filtreli-laminar-flow-unitesi/(Erişim Tarihi 18.11.2021)

[5]. Bulgurcu, H., "İklimlendirme ve Soğutma Sistemlerinde Bakım Arıza Bulma ve Servis İşlemleri", ISKAV Teknik Kitaplar Dizisi No: 05, İstanbul 2011.

[6]. **"**Havalandırma Ve Klima Tesisatı", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Yapı İşleri Genel Müdürlüğü Teknik El Kitapları 9, 1985. Başbakanlık Basımevi, Ankara .

✔ 2. Bölüm

UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANILARAK ORMAN YANGIN ŞİDDETİNİN ANALİZİ: 2021 BODRUM ORMAN YANGINI ÖRNEĞİ

Ahmet USLU[1]

1 Öğr. Gör. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Tavşanlı Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü
e-mail: ahmet.uslu1@dpu.edu.tr ORCID ID: 0000-0001-8745-423X

1. GİRİŞ

Orman yangınları her yıl tüm dünyada milyonlarca hektar alanı tahrip etmekte, toprak-yüzey-atmosfer sistemini güçlü bir şekilde etkilemekte, farklı zamansal ve mekânsal durumlarda çok büyük ekolojik ve ekonomik zararlara neden olmaktadır (Jaiswal vd., 2002). Bu nedenle, orman yangını yönetiminin temel adımı olarak yanmış alanların ve yangın şiddetinin doğru bir şekilde haritalanması, yangın riskinin analizi ve iklim değişikliğinin ekosistemler üzerindeki etkilerinin belirlenmesi çok önemlidir (Amos vd., 2019; Gibson vd., 2020). Son yıllarda uzaktan algılama teknikleri ile yangın oluşumunu tespit etmek, yanmış alanın toplam boyutunu belirlemek ve yangın şiddeti düzeylerini değerlendirmek amacıyla yangın dinamiklerinin haritalanmasında benzeri görülmemiş ilerlemeler yaşanmıştır (Pereira vd., 2017). Uzaktan algılama tabanlı elde edilen uydu görüntüleri yangın sonucu ortaya çıkan yanmış alanların tespit edilmesi, farklı zamansal-mekansal ölçeklerde bilgi sağlaması ve yanık şiddeti düzeylerini değerlendirme açısından etkili bir veri kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır (Flannigan vd., 2009; Chen vd.,2016). Özellikle Sentinel-2 uydu görüntüleri, klorofil içeriği karakterizasyonuna uygun kırmızı kenar bantları dahil olmak üzere üstün spektral özellikleri nedeniyle yanmış alanları izlemek için çekici bir kaynak haline gelmiştir (Puletti vd., 2018). Bu durum yangın şiddetinin haritalanması için yeni endeksler yaratmanın yollarını sağlamaktadır (Puletti vd., 2018). Yangından etkilenen alanların tespitinde ve yangın şiddetinin belirlenmesinde farklı yaklaşımlar izlenmiştir. Bazı çalışmalarda yangın sonrası elde edilen tek uydu görüntüleri kullanılırken, diğer çalışmalarda ise yangın öncesi ve yangın sonrası elde edilen uydu görüntüleri kullanılmıştır. Önceki birkaç çalışma, spektral indeks olan Normaliz Edilmiş Yangın Oranı İndeksi (NBR) kullanarak yüksek derecede başarı ile orman yangınlarını ve yangın şiddetini haritalamak için değerlendirmiştir (Suresh Babu vd., 2018; Nasery ve Kalkan, 2021; Yılmaz vd., 2021; Polat ve Kaya, 2021). Bu indeks, yakın kızılötesi (NIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) yansımasını birleştirir (Key, 2006). Yanmış alanlarda NIR yansıması düşük iken, SWIR yansıması nispeten yüksektir (Key, 2006). Yangın öncesi ve yangın sonrası NBR görüntülerinin iki zamanlı farklılaşması, NIR ve SWIR yansımasında yangının neden olduğu değişiklikleri açıklayan, farklılaştırılmış Normalleştirilmiş Yanma Oranı İndeksi (dNBR) ile sonuçlanır (Key, 2006). Yangın kategorisi tabanlı dNBR, yanık şiddeti bilgisi elde etmek için pratik bir referans haline gelmiştir (Soverel vd., 2010). Bu çalışmada uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak hızlı ve uygun maliyetli bir yaklaşım ile orman yangını sonrası yanmış alanların tespit edilmesi ve yangın şiddeti seviyelerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 31 Temmuz 2021 tarihinde Muğla ili, Bodrum ilçesi, Mazı Mahallesi'nde meydana gelen orman yangını Sentinel 2A uydu görüntüleri kullanılarak incelenmiştir. Çalışma bölgesine ait orman yangını öncesi 11 Temmuz 2021 ve orman yangını sonrası 19 Eylül 2021 tarihli uydu görüntüleri kullanılarak NBR (Normalized Burned Ratio / Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti) ve NDWI (Normalized Differenced Water Index / Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi) indeksleri ile bu indekslerin farklarından elde edilen dNBR

(Difference Normalized Burned Ratio / Fark Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti) aracılığıyla tahrip olmuş alanlar tespit edilmiş ve yangın hasarını farklı derecelerde gösteren haritalar üretilmiştir. Ülkemizde bu konu üzerine yapılan araştırmaların sınırlı sayıda olduğu söylenebilir. Çalışmanın yangın yönetimi ve yangın sonrası hasar değerlendirmesi araştırmaları için bir referans teşkil etmesi hedeflenmektedir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Çalışma Alanı

Bu çalışmada 31 Temmuz 2021 tarihinde Muğla ili, Bodrum ilçesi, Mazı Mahallesi'nde meydana gelen orman yangını konu alınmıştır (Şekil 1). Bölgede, Akdeniz bitki örtüsü çeşitleri, değerli kızılçam türlerinin yer aldığı orman alanları bulunmaktadır. Orman yangını Milas ilçesinin Beyciler Mahallesi'nde başlamış ve geniş bir alanda etkili olmuştur. Rüzgârın da etkisiyle hızla büyüyen yangın Gökpınar Mahallesi, Mazı Mahallesi ve Armutçuk mevkisine ulaşmıştır. Mazı Mahallesi'nde alevler yerleşim alanlarına sıçramış, vatandaşların denizden tahliyesi sağlanmıştır. Bodrum'un en güzel koylarından biri olan Mazı'da yangın sonrası geriye kül olmuş bir doğa kalmıştır (Anonim, 2021).



Şekil 1. Çalışma Alanı

2.2 Veri Kaynakları

Orman yangını sonucu hasar tespitinin hassas bir şekilde değerlendirilebilmesi için uydu görüntülerinde mekânsal çözünürlük ve uydu sisteminin bir bölgeyi tekrar ziyaret etme süresi büyük önem arz etmektedir. Bundan dolayı veri kaynağı olarak mekânsal çözünürlüğü 10, 20 ve 60 metre, zamansal çözünürlüğü 5 gün olan Sentinel 2A uydu sistemi kullanılmıştır. Yanmış alanların tespit edilmesi ve yanma şiddeti seviyelerinin değerlendirilmesi amacıyla yangın öncesi ve yangın sonrası çekilen uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan veri seti Tablo 1'de gösterilmektedir.

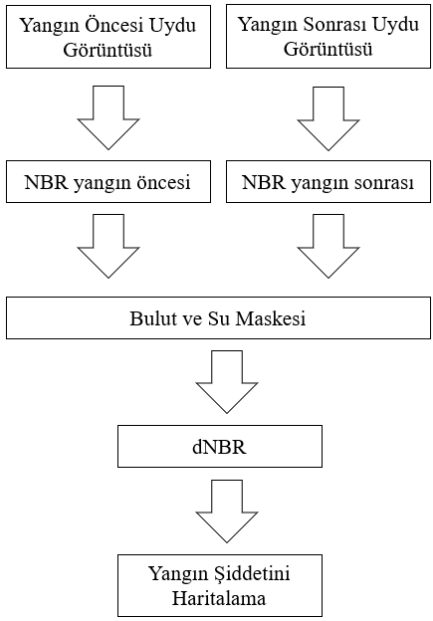
Tablo 1. Çalışmada kullanılan veri seti.

Durum	Görüntü Tarihi	Görüntü Dosya Adı	Bulut Örtüsü (%)
Yangın Öncesi	11.07.2021	S2A_MSIL2A_20210711T085601	1.830
Yangın Sonrası	19.09.2021	S2A_MSIL2A_20210919T085631	0.511

Sentinel 2 uydu sistemleri 440-2180 nm spektral aralığı kapsayan 13 spektral banttan oluşmakta ve bilimsel çalışmalar için ücretsiz görüntüler sunmaktadır. Sentinel 2 uydu görüntüleri yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlüğe sahip olduğu için daha ayrıntılı harita üretimine ve bulut kontaminasyonu olmadan daha fazla görüntünün elde edilmesine imkân sağlamaktadır (Gibson vd., 2020).

2.3Metot

Çalışma alanına ait yangın öncesi ve sonrası Sentinel 2A uydu veri setleri URL-1 'den indirilmiştir. Veri seti 10 m ile 60 m arasında değişen mekânsal çözünürlüklerde 13 spektral banttan oluşmaktadır. Öncelikle yangın öncesi ve yangın sonrası uydu görüntüleri için NBR indeksi hesaplanmıştır. Daha sonra ilgili uydu görüntülerine bulut ve su maskesi uygulanarak, araştırmanın hassasiyetini etkileyecek nesneler tespit edilmiş ve maskelenmiştir. Hesaplanan NBR indeksleri kullanılarak dNBR değerleri elde edilmiş ve dNBR'a göre yanma şiddeti seviyeleri haritalanmıştır. Şekil 2 'de yanık şiddeti haritasını oluşturmak için uygulanan metodoloji gösterilmektedir.



Şekil 2. Çalışmanın Yöntemi

2.3.1 Normalize Edilmiş Yangın Oranı İndeksi (NBR)

Yanmış alanların tespitinde, uydu görüntüleri aracılığıyla oluşturulan spektral indisler uzun zamandır kullanılmaktadır. Yangınların gözlemlenmesinde aktif olarak kullanılan indislerin başında NBR gelmektedir. NBR, yakın kızılötesi (NIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) bantları kullanılarak oluşturulan matematiksel eşitlikle (Eşitlik 1) hesaplanmaktadır. NBR indisi, [-1 ile +1] arasında değişen aralıkta değerler almaktadır (Roy vd, 2006).

$$\mathrm{NBR} = \frac{\mathrm{NIR}-\mathrm{SWIR}}{\mathrm{NIR}+\mathrm{SWIR}} \quad (1)$$

2.3.2 Bulut ve Su Maskesi

Görüntü çiftinden herhangi birinde bulut ve sulak alan olması görüntüde bir değişim etkisi oluşturduğundan dolayı yangın bölgesi için hasar tespit başarımını düşürmektedir. Bu işlem adım, sulak arazi ve bulut bölgelerini maskeleyerek olası hatalı yangın algılanması durumunu azaltmaktadır. Bantlardaki bulut piksellerini kaldırmak için bulut maskesi kullanılmıştır. Görüntüdeki su kütleleri, yanmış alanlar gibi benzer spektral yansıma gösterebilir. Bu nedenle su pikselleri yangın öncesi ve yangın sonrası görüntülerde maskelenir. Su kütlesi piksellerini vurgulamak için Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (NDWI) kullanılmıştır. NDWI değerinin hesaplanması için yeşil bant ve yakın kızılötesi bant kullanılmıştır. NDWI -1 ile +1 arasında değerler almaktadır. Yüksek pozitif değerler su kütlesini, düşük pozitif ve negatif değerler ise diğer arazi örtüsünü ifade etmektedir (McFeeters, 1996). Çalışmada NDWI (Eşitlik 2) Sentinel-2A görüntüleri için hesaplanmıştır.

$$\mathrm{NDWI} = \frac{\mathrm{Green}-\mathrm{NIR}}{\mathrm{Green}+\mathrm{NIR}} \quad (2)$$

2.3.3 Yanma Şiddeti Tespit Analizi

Yanma şiddeti, yangının toprakta ve bitki örtüsünde neden olduğu değişimin derecesi olarak tanımlanabilir (Navarro vd., 2017). Yangın öncesi NBR görüntüsü ve yangın sonrası NBR görüntüsü farkı alınarak oluşturulan Fark Normalize Yanma Şiddeti (Differenced Normalized Burn Ratio-dNBR) aracılığıyla biyökütle, karbon salınımı ve aeresol üretimi gibi etkenlerdeki değişiklikler hesaplanarak yanma şiddeti belirlenmektedir (Eşitlik 3). NIR ve SWIR bölgeleri arasındaki yansıma farkı (0'dan yüksek) ne kadar yüksekse, yangının yanma şiddeti derecesi de o kadar yüksek olur. (Miller ve Thode, 2007).

$$\mathrm{dNBR} = \mathrm{NBR\ yangın\ öncesi} - \mathrm{NBR\ yangın\ sonrası} \quad (3)$$

dNBR indeksi ayrıca bitki örtüsü rejenerasyonu hakkında bilgi sağlayabilir. dNBR indeksi, yanık yüzeylerini ve yanık şiddeti seviyelerini belirlemek için çok kullanışlıdır. Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırması (USGS) tarafından önerilen sınıflandırmaya göre sınıflandırılabilir (Tablo 2).

Tablo 2. Yanma şiddeti kategorileri (USGS-FIREMON)

dNBR	Yanma Şiddeti
-0.5 /-0.25	Yüksek yangın sonrası yeşerme
-0.25 / -0.1	Düşük yangın sonrası yeşerme
-0.1 / 0.1	Yanmamış
0.1 / 0.27	Düşük Yanma şiddeti
0.27 / 0.44	Orta-düşük yanma şiddeti
0.44 / 0.66	Orta-Yüksek yanma şiddeti
0.66 /1.33	Yüksek yanma şiddeti

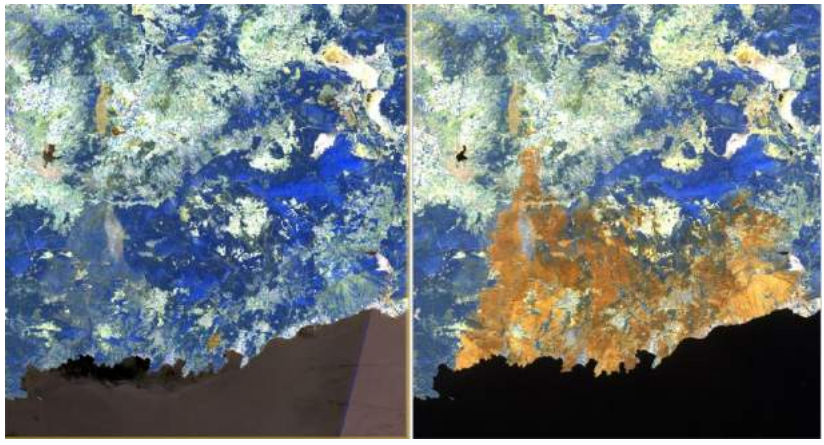
Hesaplanan dNBR indeksi -2 ile +2 arasında değer alır. Tablo 2' de gösterildiği gibi negatif değere yakın bölgelerde yanma şiddeti azalmakta, pozitif değerin arttığı yerlerde ise yanma şiddeti artmaktadır.

2.3.4 Yangın Şiddetini Haritalama

Çalışma alanında meydana gelen yangın hasarı Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmalar (USGS) tarafından önerilen Tablo 2'deki dNBR değerleri kullanılarak coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ortamında sınıflandırılmış ve haritalanmıştır. Orman yangını alanındaki hasarları farklı şiddet seviyelerinde değerlendirmek için bölgedeki şiddet dağılımı QGIS yazılımında USGS standartında belirtilen değerler ve renkler göre yedi seviyeye ayrılmıştır.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

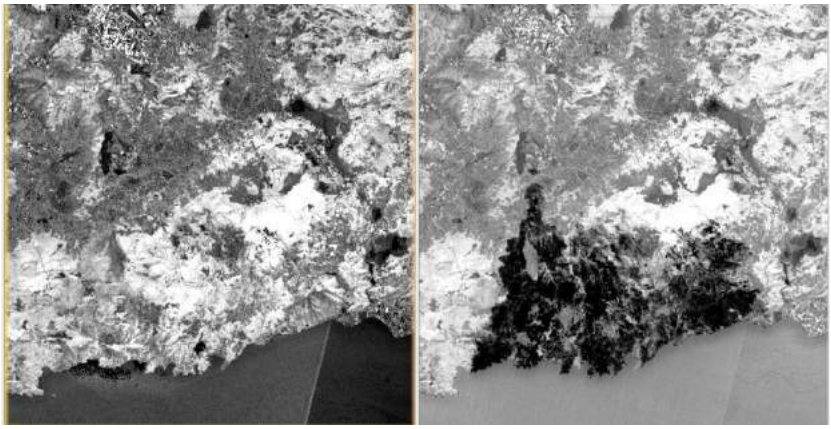
Uzaktan algılama teknikleri kullanılarak yanmış alanların çıkarılması işlemi ESA SNAP yazılımında gerçekleştirilmiştir. Uygulama için yangın öncesi ve sonrası tarihlere ait Sentinel 2 uydu görüntüleri yazılıma aktarılarak işleme hazır hale getirilmiştir. Uydu görüntüleri kullanımında görsel yorumlama büyük önem arz etmektedir. Yanan alanları tespit etmek amacıyla, en uygun bant kombinasyonu belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda 12-11-8A bant kombinasyonu kullanılmıştır. Turuncu renkli alan yanmış alanı göstermektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Yangın öncesi Sentinel 2A görüntüsü (sol),
Yangın sonrası Sentinel 2A görüntüsü (sağ).

3.1 Normalize Edilmiş Yangın Oranı İndeksinin (NBR) Hesaplanması

Yanan alan tespiti ve yangın gözlemleme çalışmalarında, uydu görüntüleriyle oluşturulan spektral indislerden NBR indisi sıklıkla kullanılmıştır. Yangın öncesi ve sonrası arasındaki değişimler de NBR indeksi ile belirlenmektedir. Bu indeks, NIR ve SWIR bantları yansıtma değerlerini birleştirerek bitki örtüsünün canlılığı ve nemi hakkında bilgi sağlar (Roy vd., 2006). NBR indisi, [-1 ile +1] arasında değişen aralıkta ifade edilmektedir (Roy vd., 2006). Şekil 4'te yangın öncesi ve sonrası uydu görüntülerinden elde edilen NBR görüntüleri gösterilmektedir.

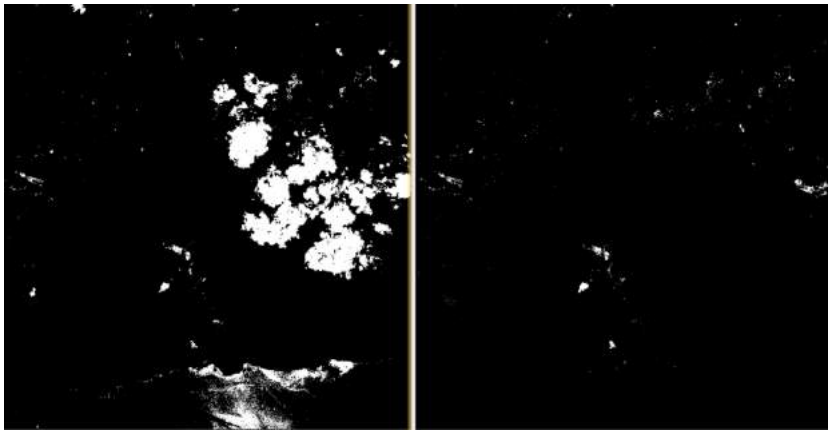


Şekil 4. Yangın öncesi (sol) ve sonrası (sağ) için üretilen NBR görüntüleri

Şekil 4 incelendiğinde yangın sonrası NBR görüntüsünde yanmış alan net bir şekilde gözükmektedir.

3.2 Bulut ve Sulak Alan Maskelemesi

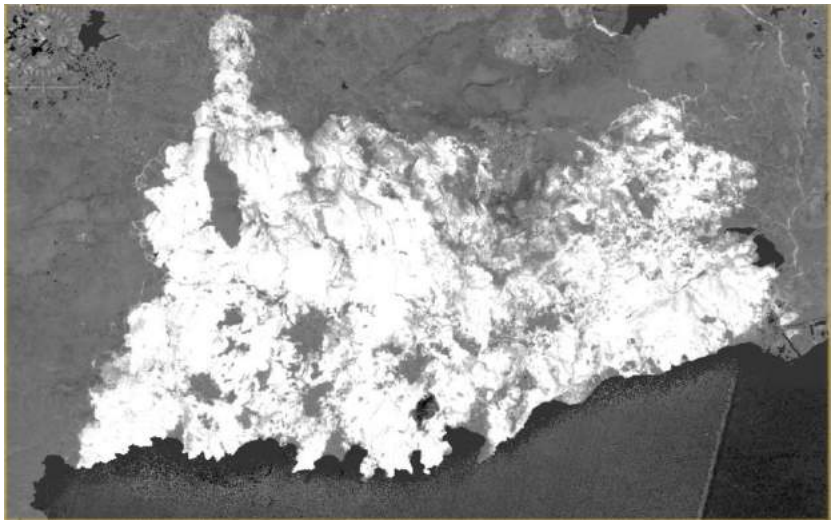
Şekil 4'te gösterilen yangın öncesi görüntü içerisinde bulutların yer aldığı ve bu bulutların altındaki arazi yüzeylerinin görünürlüğünü etkilediği tespit edilmiştir. Bu durum yanmış alanların tespit başarısını düşürmektedir. Bununla birlikte yangın öncesi ve yangın sonrası görüntüler içerisinde yer alan sulak alanlarında maskelenmesi yanmış alanların tespit başarısını artıracaktır. Bulutlu bölgelerin tespit edilmesi için atmosferik düzeltme aşamasında Sen2Cor eklentisi aracılığıyla elde dilen sınıflandırma haritası kullanılmıştır. Sınıflandırma haritasında bulutlar, buzlu-karlı alanlar ve gölge içeren alanlara ait etiketler yer almaktadır. Sulak alanlar koyu özellik gösterdiğinden dolayı yanmış alanlarla birbirine karışabilir. Sulak alanları tespit edilmesi için NDWI (Normalized Difference Water Index / Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi) yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen maske görüntüde sulak alanlar (beyaz) 1 değerine sahipken sulak olmayan alanlar (siyah) 0 değerine sahiptir (Şekil 5).



Şekil 5. Bulut ve sulak alan maskelemesi sonucu yangın öncesi Sentinel 2A görüntüsü (sol), yangın sonrası Sentinel 2A görüntüsü (sağ)

3.3Yanma Şiddeti (dNBR) Tespit Analizi

Yangın şiddeti (dNBR), yangının toprakta ve bitki örtüsünde neden olduğu değişimin derecesi olarak tanımlanmıştır (Navarro vd., 2017). NIR ve SWIR bölgeleri arasındaki yansıma farkı (0'dan yüksek) ne kadar yüksekse, yangının yanma şiddeti derecesi de o kadar yüksek olur. dNBR indeksi ayrıca bitki örtüsü rejenerasyonu hakkında bilgi sağlayabilir. Yanmış bir alandaki şiddet seviyeleri, yangının söndürülmesinin ardından meydana gelebilecek olası yenilenme oranlarını göstermektedir (Amos vd., 2019). Eşitlik (3) 'teki bağıntı kullanılarak bölgenin dNBR görüntüsü üretilmiştir (Şekil 6).

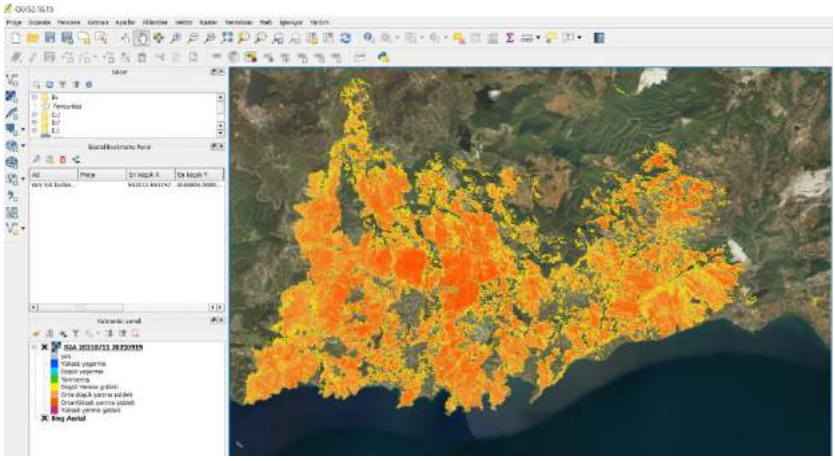


Şekil 6. dNBR indisi ile tespit edilen yanmış alan

Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında yanmış alanların tespit edilmesi, yanma şiddeti seviyelerinin sınıflandırılması ve haritalanması amacıyla dNBR görüntü (Şekil 6) ".Geotiff" uzantılı raster dosya olarak dışarı çıkartılmıştır.

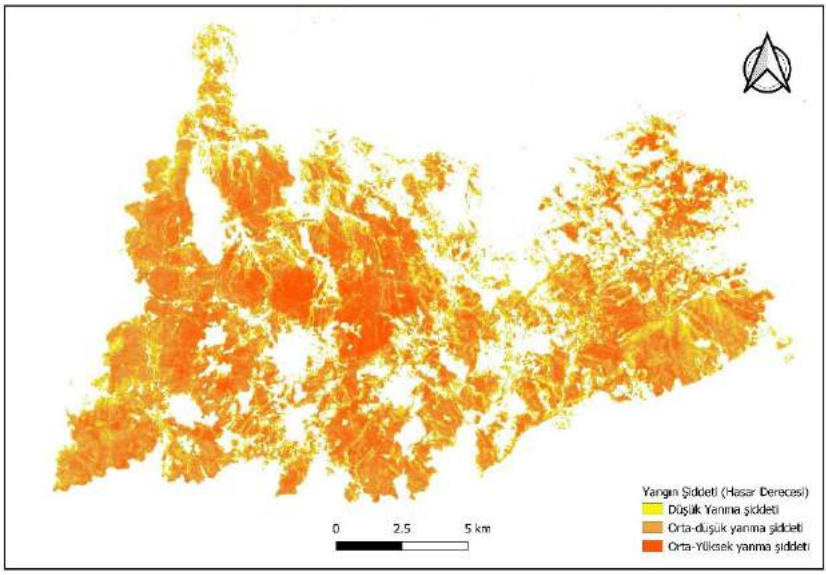
3.4 Yangın Şiddetinin Haritalanması

Çalışma alanında meydana gelen yangın hasarı Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmalar (USGS) tarafından önerilen Tablo 2'deki dNBR değerleri kullanılarak QGIS yazılımında sınıflandırılmış ve haritalanmıştır. Orman yangını alanındaki hasarları farklı şiddet seviyelerinde değerlendirmek için bölgedeki şiddet dağılımı QGIS yazılımında USGS standartında belirtilen değerler ve renkler göre yedi seviyeye ayrılmıştır. Şekil 7'de QGIS yazılımında sınıflandırma işlemi gösterilmektedir.



Şekil 7. Yanık Şiddetinin QGIS yazılımında USGS standardına göre sınıflandırılması.

Analiz sonuçlarına göre dNBR değer aralığı 0.268 ile 0.537 arasında türetilmiştir. Daha sonra türetilen değer aralığına göre düşük yanma şiddeti (sarı renk), orta-düşük yanma şiddeti (açık turuncu renk) ve orta-yüksek yanma şiddeti (koyu turuncu renk) olmak üzere 3 sınıf ortaya çıkmıştır. Analiz sonuçları CBS ortamında haritalanmıştır. Şekil 8'de Mazı Mahallesi Yangını yanma şiddeti haritası gösterilmektedir.



Şekil 8. Mazı Mahallesi Yangını yanma şiddeti haritası

Şekil 8'deki tematik harita incelendiğinde, yangının büyük bir kısmının orta-yüksek yanma şiddetinde olduğu görülmektedir. Her bir hasar derecesi sınıfının alanını hesaplamak için yanma şiddeti haritası raster formattan vektör veri formatına dönüştürülmüştür. QGİS yazılımında vektör veri sayısallaştırılarak yanan alan miktarları hesaplanmıştır. Mazı Mahallesinde meydana gelen yangında 4058.26 ha alanın düşük yanma şiddetinde, 5042.52 ha alanın orta-düşük yanma şiddetinde, 6551.27 ha alanın ise orta-yüksek yanma şiddetinde olduğu görülmüştür. Yangında toplamda 15652.05 ha alanın yandığı tespit edilmiştir. Hasar derecesi sınıflarına göre hesaplanan alanlar ve toplam alan içindeki yüzdelikleri Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. Toplam yanan alanlar

Yangın Hasar Derecesi	Alan (ha)	Oran (%)
Düşük yanma şiddeti	4058.26	25.93
Orta-düşük yanma şiddeti	5042.52	32.22
Orta-yüksek yanma şiddeti	6551.27	41.85

Literatürde, uydu görüntülerine uygulanmakta olan piksel veya obje tabanlı sınıflandırma teknikleri ile yanmış alanların belirlenmesine yönelik çalışmalar yer almaktadır. Quintano vd. (2011), araştırmalarında Akdeniz ülkelerinde meydana gelen orman yangınlarını MODIS tarafından sağlanan 250 m mekânsal çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri kullanılarak analiz etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda yanmış alanların tespit edilmesinde 250 m mekânsal çözünürlüklü uydu görüntülerinin yeterli olduğu sonucuna varmışlarıdır. Bu çalışmada MODIS uydu görüntülerine nispeten daha yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip Sentinel 2A uydu görüntüleri kullanılmıştır. Sentinel 2A uydu görüntüleri yanmış

alanların tespiti ve yangın şiddeti seviyelerinin belirlenmesinde yeterli olacaktır. Kurnaz vd. (2019), araştırmalarında 2017 yılında Muğla ili, Yatağan ilçesi, Zeytinköy bölgesinde meydana gelen orman yangınını Sentinel - 2A uydu görüntülerini kullanarak analiz etmişlerdir. Araştırmada orta ve yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerine nesne tabanlı sınıflandırma tekniğini uygulayarak yanmış alanları belirlemişlerdir. Bu çalışmada farklı olarak piksel veya obje tabanlı sınıflandırma tekniklerine ihtiyaç duyulmadan spektral indeksler yardımıyla orman varlığının tahribat derecesi tespit edilmiştir.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Orman yangınlarından en çok etkilenen ülkelerden biri Türkiye'dir. Özellikle Akdeniz ikliminin etkili olduğu Akdeniz, Ege ve Marmara Bölgelerinde yangın sayısı oldukça fazladır. Uzaktan algılama, orman yangınlarının belirlenmesinde ve esas olarak orman yangınları sonrası hasar tespitinde önemli bir rol oynamaktadır. Böylece kısa sürede ve ekonomik olarak en uygun maliyetli yöntemle hasar tespiti yapılabilmektedir. Bu çalışmada, Mağla İli, Bodrum İlçesi Mazı Mahallesi'nde 31 Temmuz 2021 tarihinde meydana gelen orman yangını araştırılmıştır. Yangın öncesi ve sonrası için Sentinel 2A uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışmada uzaktan algılama analiz yöntemleri ve uydu görüntüsü bazlı spektral indisler kullanılarak, yangın alanı ve hasarın şiddet düzeyleri belirlenmiş ve şiddet düzeyleri ile bir orman yangını haritası oluşturulmuştur. Çalışmanın sonuçları, Mazı Mahallesinde meydana gelen yangında 4058.26 ha alanın düşük yanma şiddetinde, 5042.52 ha alanın orta-düşük yanma şiddetinde, 6551.27 ha alanın orta-yüksek yanma şiddetinde olduğunu ve toplamda 15652.05 ha alanın yandığını ortaya koymuştur. Çalışma, uzaktan algılama endeksleri ve Sentinel 2 uydu görüntüleri kullanılarak yanmış alan tespiti ve yangın şiddeti değerlendirmesinin başarıyla gerçekleştirilebileceğini göstermektedir. Çalışma planlamacılar, araştırmacılar ve yetkililerce orman yangınının oluşumunu incelemek ve gelecekte bu tür tehlikelerin ciddiyetini en aza indirmek, azaltma ve tahliye planları geliştirmek için rehber olarak kullanılabilir. Çalışmada tanımlanan yaklaşım ile yangın şiddeti haritası, yangın hasarı seviyesinin doğru bir ilk tahminine izin verdiği için ön acil durum haritası olarak kullanılabilir. Acil durum haritaları, orman yöneticilerinin yangın sonrası aşırı erozyonun potansiyel olarak zararlı etkilerini en aza indirmesine yardımcı olabilir. Yangın şiddetinin saha araştırmaları gibi geleneksel yöntemler ile belirlenmesi maliyetli ve zaman alıcı olabilir. Bu dezavantajların üstesinden gelmek için uzaktan algılama teknikleri etkin çözümler sunabilir. Ülkemizde bu konu üzerine yapılan araştırmaların sınırlı sayıda olduğu söylenebilir. Çalışmanın yangın yönetimi ve yangın sonrası hasar değerlendirmesi araştırmaları için bir referans teşkil etmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

- Amos, C., Petropoulos, G. P., & Ferentinos, K. P. (2019). Determining the use of Sentinel-2A MSI for wildfire burning & severity detection. *International journal of remote sensing*, *40*(3), 905-930.
- Chen, W., Moriya, K., Sakai, T., Koyama, L., & Cao, C. X. (2016). Mapping a burned forest area from Landsat TM data by multiple methods. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, *7*(1), 384-402.
- Flannigan, M. D., Krawchuk, M. A., de Groot, W. J., Wotton, B. M., & Gowman, L. M. (2009). Implications of changing climate for global wildland fire. *International journal of wildland fire*, *18*(5), 483-507.
- Gibson, R., Danaher, T., Hehir, W., & Collins, L. (2020). A remote sensing approach to mapping fire severity in south-eastern Australia using sentinel 2 and random forest. Remote Sensing of Environment, 240, 111702.
- Jaiswal, R. K., Mukherjee, S., Raju, K. D., & Saxena, R. (2002). Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, *4*(1), 1-10.
- Key, C. H. (2006). Ecological and sampling constraints on defining landscape fire severity. *Fire Ecology*, *2*(2), 34-59.
- Kurnaz, B., Bayık, Ç., & Abdikan, S. (2019, September). Determination of Forest Fire Area by Using Satellite Images: Muğla Case. *In 3rd International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET)* (pp. 19-21).
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, *17*(7), 1425-1432.
- Miller, J. D., & Thode, A. E. (2007). Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment*, *109*(1), 66-80.
- Nasery, S. & Kalkan, K. (2020). Burn area detection and burn severity assessment using Sentinel 2 MSI data: The case of Karabağlar district, İzmir/Turkey . Turkish Journal of Geosciences , 1 (2) , 72-77 .
- Navarro, G., Caballero, I., Silva, G., Parra, P. C., Vázquez, Á., & Caldeira, R. (2017). Evaluation of forest fire on Madeira Island using Sentinel-2A MSI imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *58*, 97-106.
- Pereira, A. A., Pereira, J., Libonati, R., Oom, D., Setzer, A. W., Morelli, F., ... & De Carvalho, L. M. T. (2017). Burned area mapping in the Brazilian Savanna using a one-class support vector machine trained by active fires. *Remote Sensing*, *9*(11), 1161.
- Polat, N. & Kaya, Y. (2021). Çok Bantlı Uydu Görüntüleriyle Orman Yangınlarında Hasar Tespiti. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 23 (1), 172-181.

- Puletti, N., Chianucci, F., & Castaldi, C. (2018). Use of Sentinel-2 for forest classification in Mediterranean environments. *Ann. Silvic. Res*, *42*, 32-38.
- Quintano, C., Fernández-Manso, A., Stein, A., & Bijker, W. (2011). Estimation of area burned by forest fires in Mediterranean countries: A remote sensing data mining perspective. *Forest Ecology and Management, 262*(8), 1597-1607.
- Roy, D. P., Boschetti, L., & Trigg, S. N. (2006). Remote sensing of fire severity: assessing the performance of the normalized burn ratio. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, *3*(1), 112-116.
- Suresh Babu, K. V., Roy, A., & Aggarwal, R. (2018). Mapping of forest fire burned severity using the sentinel datasets. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42, 5.
- Soverel, N. O., Perrakis, D. D., & Coops, N. C. (2010). Estimating burn severity from Landsat dNBR and RdNBR indices across western Canada. *Remote Sensing of Environment*, *114*(9), 1896-1909.
- Yılmaz, O. S., Oruç, M. S., Ateş, A. M., & Gülgen, F. (2021). Orman Yangın Şiddetinin Google Earth Engine ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Analizi: Hatay-Belen Örneği. *Journal of the Institute of Science and Technology*, *11*(2), 1519-1532.

✔ 3. Bölüm

İŞGÜCÜ ÇİZELGELEME: BİR HAVALİMANI GİRİŞ KAPISI İÇİN SENARYO ANALİZİ UYGULAMASI

Tuğçen HATİPOĞLU[1]

Ali İhsan BOYACI[2]

Alpaslan FIĞLALI[3]

1 Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

2 Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

3 Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

GİRİŞ

Artan rekabet koşulları ile birlikte havayolu taşımacılığında maliyetlerin azaltılma ihtiyacı sektörün akademik çalışmaların ve güncel uygulamaların odağında olmasına sebep olmaktadır. Havayolu taşımacılığındaki hacim artışına paralel olarak havalimanlarında yaşanan yoğunluk ve bekleme sürelerinin artması bu çalışmanın motivasyonunu oluşturmaktadır. Bu problemin insangücü planlama ve çizelgeleme yöntemleri kullanılarak çözülmesi mümkündür.

Türkiye'de havayolu trafiğinde 2012-2019 yılları arasında artan bir trend izlenmektedir ancak covid 19 pandemisinin etkisiyle 2020 yılında 2019 yılına göre iç hat uçak trafiği %31,78 ve dış hat uçak trafiği ise %60,82 oranında düşerken toplam uçak trafiği ise 2020 yılında 2019 yılına göre %45,15 oranında azalma göstermiştir (Tablo 1). Ancak normalleşme süreci ve sonrasında bu trendin yeniden artma eğiliminde olacağı beklenmektedir.

Tablo 1. Türkiye'de 2012-2020 yılları arası uçak trafiği verisi (2020 havayolu sektör raporu)

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Toplam Uçak trafiği	1093047	1223795	1345954	1456673	1452995	1500457	1544169	1556417	853750
İç Hat Uçak Trafiği	600818	682685	754259	832958	886228	909332	892405	839894	572994
Dış Hat Uçak Trafiği	492229	541110	591695	623715	566767	591125	651764	716523	280756

Yukarıdaki tabloda sunulan uçak trafiğine benzer şekilde, 2020 yılında iç hat yolcu trafiği 2019 yılına göre %50,23 azalırken, dış hat yolcu trafiği ise %70,60 oranında azalmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Türkiye'de 2012-2020 yılları arası yolcu trafiği verisi (2020 havayolu sektör raporu)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Toplam Yolcu Trafiği	149995868	166181339	181437004	174153146	193576844	210947639	208911338	81703685
İç Hat	76148526	85416166	97041210	102499358	109511390	112911108	99946572	49740303
Dış Hat	73281895	80304068	84033321	71244179	83533953	97587056	108427124	31875837
Direkt Transit Yolcu	565447	461105	362473	409609	531501	449475	537642	87545

Bu çalışmada, Türkiye'deki bir havalimanında ilk güvenlik kontrol noktasında bekleme sürelerinin azalması ve yolcu memnuniyetinin sağlanması amacıyla, aktif olarak çalışacak xray cihazı ve güvenlik personeli sayısının vardiya bazında optimum şekilde belirlenmesi amaçlanmıştır.

İŞGÜCÜ ÇİZELGELEME

Hizmet sektöründe işgücü çizelgeleme ile iş hukukuna ve talebe uygun olarak, çalışan memnuniyeti dikkate alınarak çalışanların vardiyalara atanması amacını taşımaktadır. Ancak her sektörün ya da organizasyonun farklı iş gereklilikleri, çalışma şartları ve kısıtları bulunduğundan, uygulamada geliştirilen modeller ve bu modellere önerilen çözüm yöntemleri birbirinden ayrışmaktadır.

İşgücü çizelgeleme problemleri sınıflandırılırken ihtiyaç duyulan işgücünün belirlenmesi, vardiya çizelgeleme, izin günü çizelgeleme, tur çizelgeleme, yeniden çizelgeleme, çalışanların görev ve vardiyalara atandığı problemler ve rotasyon çizelgeleme gibi başlıklar kullanılmaktadır. İşgücü çizelgeleme problemleri farklı amaç fonksiyonlarını kapsadığından, ihtiyaç duyulan personel sayısının belirlenmesi ve çalışanların vardiyalara atanması, vardiya saatlerinin düzenlenerek çalışanların vardiyalara atanması şeklinde bütünleşik yaklaşımlar kullanılmaktadır (Bektur ve Hasgül, 2013).

Literatür incelendiğinde personel çizelgeleme problemleri için önerilen çözüm yöntemleri genel olarak matematiksel programlama, yapıcı ya da iyileştirici sezgisel, simülasyon, kısıt programlama, sıraya koyma şeklinde kategorilere ayrılmaktadır (Supçiller ve Erbilek, 2021).

Chu, (2007) Hong Kong Uluslararası Havalimanı'ndaki bagaj hizmetleri bölümü personelinin entegre ekip görevleri atama sorunu için hedef programlama modelleri önermiştir. Elde edilen sonuçların uygulanabilir olması, çeşitli çalışma koşullarını karşılaması ve boş vardiyaların en aza indirilmesi açısından "optimal" olması anlamında iyi bir ekip programı olarak kabul edildiği ifade edilmiştir.

Orhan ve dig., (2010) havayolu şirketlerinin üstesinden gelmek zorunda olduğu uçuş çizelgeleme, uçak çizelgeleme, ekip çizelgeleme ve rasgele ortaya çıkan sorunların yönetimi konularında ortaya çıkan problemleri detaylı şekilde incelemişlerdir. Yaptıkları incelemeler sonucunda, işletmelerin söz konusu problemler karşısında bilimsel yöntemleri kullanarak maliyet ve verimlilik açısından önemli faydalar elde ettiğini ortaya koymuşlardır.

Soukour ve dig., (2013) havaalanı güvenlik servisi için personel çizelgeleme probleminin modellenmesi ve çözülmesi üzerinde durmuşlardır. Problemin çözümünü izin günleri planlaması, vardiya planlaması ve personel ataması olmak üzere üç adımda gerçekleştirmişlerdir. Özellikle personel ataması adımına odak-

lanarak bir evrimsel algoritma ve yerel arama tekniğini birleştiren bir memetik algoritma sunmuşlardır. Sundukları algoritmanın halihazırda kullanılan yazılımdan daha iyi çözümler sağlamanın yanı sıra ilk uygulanabilir çözümlerden %50'ye kadar iyileştirme sağladığını ifade etmişlerdir.

Zeng ve dig., (2019) havaalanı yer personeli için stratejik işgücü planlaması sorununu ele almışlar ve belirli bir talep profiline göre hedef kapsama oranını karşılayan minimum bir işgücü karışımı bulmayı hedeflemişlerdir. Problem için yüksek seviyede becerilere sahip personelin daha düşük seviyelerdeki talepleri karşılamasına izin veren hiyerarşik becerileri içeren yeni bir model önermişlerdir. Bu problemin çözüm için bir dal-fiyat algoritması sunmuşlardır. Gerçek dünya talep verilerine dayanan sayısal denemelerle sundukları yaklaşımın modele optimale yakın çözümleri verimli bir şekilde üretebileceğini göstermişlerdir.

Stolletz, (2010) havalimanlarındaki check-in sistemleri için işgücü planlamasına yönelik operasyon modellerini ele almıştır. Bu kapsamda esnek çalışanlar ile iki haftalık tur çizelgeleme problemi için ikili bir doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Bu model, farklı işgücü boyutlarına sahip gerçek dünya talep senaryoları için CPLEX yazılımı ile çözülmüştür. Model formülasyonu çalışan tercihlerine göre uygun turlar oluşturacak şekilde genişletilmiştir.

Ip ve dig., (2010), uçak bakım planlaması ve çizelgelemesi için bir tam sayılı programlama yaklaşımı önermeyi ve böylece planlama ve çizelgeleme süreçlerini daha verimli ve etkili hale getirmeyi amaçlamıştır. Bununla birlikte tüm tarifeli uçuşları kapsayacak şekilde bakım personeli için bir dizi çizelge geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Çözüm için bakım talep çizelgesi, bakım eşleştirmesi ve bakım grubu/grupları ataması olmak üzere 3 aşamadan oluşan sıralı bir metodoloji önerilmiştir. Çalışma sonucunda optimal çözüm elde edilmiş ve hesaplama süresinin kabul edilebilir seviyede olduğu görülmüştür.

Mason ve dig., (1998) Yeni Zelanda Auckland Uluslararası Havalimanı'ndaki gümrük personelinin personel planlamasına yönelik yeni bir simülasyon ve optimizasyon tabanlı sistem önermişlerdir. En uygun personel seviyelerini belirlemek için simülasyon, sezgisel iniş ve tamsayı programlama tekniklerini kullanan entegre bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu tekniklerin uygulanması ile hem yüksek kaliteli kadrolar oluşturulmuş hem de tüm yolcu işleme hedeflerinin karşılanmasını önemli ölçüde daha düşük personel seviyesi ile sağlanmıştır.

Milutinović ve dig., (2021) Sırbistan'daki bir havaalanında tespit edilen en büyük sorunlardan biri olan yer ekibi çizelgeleme sorununa bir analiz ve çözüm sunmayı amaçlamışlardır. Çalışmada havaalanında tanımlanan problemin temel özellikleri, hedefleri ve sınırlamaları sunulmaktadır. Problemin çözümü için dinamik bir kesikli simülasyon modeli geliştirilmiştir. Modelin geliştirilmesinde

bulunan ana sınırlamalardan bazıları, güçlü kısıtlamalar ve çoklu hedeflerdir. Makalede sunulan model, küçük havaalanları için kullanışlı bir yönetim aracı olarak tasarlanmıştır ve operasyonel süreçlerin iyileştirilmesini amaçlamaktadır.

BİR HAVALİMANI GİRİŞ KAPISI İÇİN SENARYO ANALİZİ UYGULAMASI

Bu çalışma, Türkiye'de yer alan bir havalimanında haftanın 7 günü 24 saat bazında gelen yolcu sayısı yoğunluğuna göre ilk güvenlik kontrol noktasında görevli güvenlik personeli ve kullanılan xray cihazı sayısı optimum şekilde belirlenmesi ve ihtiyaç duyulan güvenlik personelinin en uygun vardiya çizelgesinin oluşturulması hedeflenmiştir.

Havalimanında 3 giriş kapısı ve her giriş kapısında 5 adet xray cihazı bulunmaktadır. Giden yolcu ilk güvenlik kontrol noktasını geçtikten sonra iç hat ve dış hat ayrımına göre diğer güvenlik noktalarına yönlenmektedir. Bir xray cihazında minimum 4 güvenlik personeli görevlendirilmektedir. Havalimanın sahip olduğu toplam güvenlik görevlisi personeli sayısı 800'dür.

Çalışmanın ilk aşamasında, havalimanında gün ve saat bazında güvenlik kontrol noktasından 2 yılı kapsar şekilde geçiş yapan yolcu sayısı verisi alınmıştır. Şekil 1 de örnek olarak Pazartesi günleri geçiş yapan yolcu sayısının ortalaması saatler bazında sunulmuştur.



Şekil 1. Pazartesi günleri geçiş yapan yolcu sayısı grafiği

İkinci aşamada Şekil 1 de örnek olarak sunulan grafik ve diğer tüm günlere ilişkin grafikler analiz edilerek, yolcu sayısının en yoğun olduğu ve bekleme sürelerinin maksimum olduğu saatler belirlenmiştir. Maksimum yoğunluğun yaşandığı bu saatler için ihtiyaç duyulan cihaz ve güvenlik personeli sayısı hesaplanmıştır. Örneğin, Tablo 3 de Pazartesi günü için her saat diliminde geçiş yapan ortalama yolcu sayısı kullanılarak hesaplanan cihaz sayısı ve personel sayısı sunulmuştur. En yoğun olan saatlerde yapılan gözlemler sonucunda bir saatte bir cihazda maksimum 300 yolcuya hizmet verilebildiği tespit edilmiştir. Bu nedenle ihtiyaç duyulan cihaz sayısı hesaplanırken geçiş yapan ortalama yolcu sayısı 300'e bölünmüştür. Sonrasında cihaz başına 4 personel görevlendirilecek şekilde hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 3. Pazartesi günleri ihtiyaç duyulan cihaz ve güvenlik personel sayısı

Saat	Geçiş Yapan Yolcu Sayısı	İhtiyaç Duyulan Cihaz Sayısı	İhtiyaç Duyulan Personel Sayısı
1	578,6804	2	8
2	26,59393	1	4
3	1,728929	1	4
4	5,512143	1	4
5	331,2798	2	8
6	2254,7	8	32
7	2571,651	9	36
8	2863,486	10	40
9	2574,55	9	36
10	2763,746	10	40
11	2761,941	10	40
12	3162,575	11	44
13	2455,848	9	36
14	1720,336	6	24
15	1285,839	5	20
16	1763,56	6	24
17	1754,361	6	24
18	2251,083	8	32
19	2297,35	8	32
20	2617,833	9	36
21	2591,839	9	36
22	2156,721	8	32
23	2458,281	9	36
24	2405,455	9	36

Tablo 3 de Pazartesi günü için örnek verilen hesaplamalar diğer günler için de yapılarak gerekli personel sayısı Tablo 4 de liste halinde verilmiştir. Tablo incelendiğinde, saat 01.00 – 05.00 arası saatlerde yolcu sayısı yoğunluğunun az olması sebebiyle ihtiyaç duyulan xray cihazı ve güvenlik personeli sayısının az olduğu, saat 08.00 – 13.00 arası ise yolcu sayısının en yoğun olması sebebiyle bu aralıkta ihtiyaç duyulan personel sayısının da yüksek olduğu değerlendirilmiştir.

Tablo 4. Gün bazında ihtiyaç duyulan güvenlik personel sayısı

Saat/ Gün	İhtiyaç Duyulan Personel Sayısı							
	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar	Ortalama
1	8	4	4	4	4	12	4	6
2	4	4	4	4	4	4	4	4
3	4	4	4	4	4	4	4	4
4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	8	4	4	4	4	8	4	6
6	32	24	24	24	24	32	16	26
7	36	32	36	36	36	36	32	35
8	40	40	40	40	40	40	36	40
9	36	36	36	40	40	40	40	39
10	40	36	36	36	40	40	36	38
11	40	36	36	36	40	40	40	39
12	44	40	40	44	44	40	44	43
13	36	32	32	32	32	32	32	33
14	24	24	28	28	28	28	32	28
15	20	16	20	20	24	20	20	20
16	24	20	24	24	28	20	24	24
17	24	24	24	24	28	24	28	26
18	32	32	32	36	36	32	36	34
19	32	32	36	36	40	36	36	36
20	36	36	36	40	40	40	40	39
21	36	32	32	36	40	36	40	36
22	32	32	32	36	36	32	32	34
23	36	36	36	36	36	36	36	36
24	36	24	24	28	32	36	28	30

Havalimanının benimsediği politika gerekli cihaz/personel sayısı sadece %20 tolerans gösterilerek hesaplanabilmektedir. Yani 40 personel gereken bir saat dilimi için minimum 32 güvenlik personeli bulunması gerekmektedir.

Tablo 5 te 8 farklı vardiya çizelgesi senaryosu için, hizmet verilen insan sayısı göz önünde bulundurularak, ihtiyaç duyulan cihaz ve personel sayısı hesaplanmış

ve güvenlik personelinin vardiya ataması yapılmıştır. Bir vardiyada görevlendirilecek güvenlik personel sayısı belirlenirken, yukarıda bahsedilen havalimanı politikasının gereği olarak en yoğun saatte ihtiyaç duyulan personel sayısının %80 i baz alınmıştır. Örneğin, 1. Senaryoda vardiya düzeni 01.00 – 09.00; 09.00 – 17.00; 17.00 – 01.00 olarak belirlenmiştir. Bu Senaryonun birinci vardiyasında en yüksek personel ihtiyacının sekizinci saat dilimine karşılık gelen 08.00 – 09.00 arasında 40 olarak hesaplandığı görülmektedir. Belirlenen politika çerçevesinde, bu vardiya için güvenlik personeli sayısı en yüksek personel ihtiyacının %80'i olan 32 kişidir. Bu nedenle birinci vardiya için 32 personel görevlendirilmiştir. Diğer saat dilimlerine göre belirlenmiş farklı vardiya düzenlerini gösterir senaryolar için de benzer hesaplamalar yapılmıştır. 3 lü vardiya düzenine göre atanan personel sayısı toplamı en alt satırda sunulmuştur. Buna göre 8. Senaryonun (08.00 – 16.00; 16.00 – 00.00; 00.00 – 08.00 saatleri arası) toplamda diğer senaryolara göre daha az sayıda personel gerektirdiği için tercih edilmesi uygundur.

Tablo 5. Güvenlik personeli vardiya çizelgesi senaryoları

1. Senaryo		2. Senaryo		3. Senaryo		4. Senaryo		5. Senaryo		6. Senaryo		7. Senaryo		8. Senaryo	
İlk Vardiya (01.00 : 09.00)	Vardiyada ki personel sayısı	İlk Vardiya (02.00 : 10.00)	Vardiyada ki personel sayısı	İlk Vardiya (03.00: 11.00)	Vardiyada ki personel sayısı	İlk Vardiya (04.00 : 12.00)	Vardiyada ki personel sayısı	İlk Vardiya (05.00 : 13.00)	Vardiyada ki personel sayısı	İlk Vardiya (06.00 : 14.00)	Vardiyada ki personel sayısı	İlk Vardiya (07.00 : 15.00)	Vardiyada ki personel sayısı	İlk Vardiya (08.00 : 16.00)	Vardiyada ki personel sayısı
6	32	4	32	4	32	4	32	6	35	25	35	35	35	40	35
4	32	4	32	6	32	6	32	25	35	35	35	40	35	38	35
4	32	6	32	25	32	25	32	35	35	40	35	38	35	39	35
6	32	25	32	35	32	40	32	40	35	38	35	39	35	43	35
25	32	35	32	40	32	40	32	40	38	39	35	43	35	33	35
35	32	40	32	40	32	38	32	39	35	43	35	33	35	29	35
40	32	40	32	38	32	39	32	43	35	33	35	29	35	21	35
İkinci Vardiya (09.00 : 17.00)	Vardiyada ki personel sayısı	İkinci Vardiya (10.00 : 18.00)	Vardiyada ki personel sayısı	İkinci Vardiya (11.00 : 19.00)	Vardiyada ki personel sayısı	İkinci Vardiya (12.00 : 20.00)	Vardiyada ki personel sayısı	İkinci Vardiya (13.00 : 21.00)	Vardiyada ki personel sayısı	İkinci Vardiya (14.00 : 22.00)	Vardiyada ki personel sayısı	İkinci Vardiya (15.00 : 23.00)	Vardiyada ki personel sayısı	İkinci Vardiya (16.00 : 00.00)	Vardiyada ki personel sayısı
40	35	38	35	39	35	43	35	33	32	29	32	21	32	24	32
38	35	39	35	43	35	33	35	29	32	21	32	24	32	26	32
39	35	43	35	33	35	29	35	21	32	24	32	26	32	35	32
43	35	33	35	29	35	21	35	24	32	26	32	35	32	37	32
33	35	29	35	21	35	24	35	26	32	35	32	37	32	40	32
29	35	21	35	24	35	26	35	35	32	37	32	40	32	38	32
21	35	24	35	26	35	35	35	37	32	40	32	38	32	34	32
24	35	26	35	35	35	37	35	40	32	38	32	34	32	36	32
Üçüncü Vardiya (17.00 : 01.00)	Vardiyada ki personel sayısı	Üçüncü Vardiya (18.00 : 02.00)	Vardiyada ki personel sayısı	Üçüncü Vardiya (19.00 : 03.00)	Vardiyada ki personel sayısı	Üçüncü Vardiya (20.00 : 04.00)	Vardiyada ki personel sayısı	Üçüncü Vardiya (21.00 : 05.00)	Vardiyada ki personel sayısı	Üçüncü Vardiya (22.00 : 06.00)	Vardiyada ki personel sayısı	Üçüncü Vardiya (23.00 : 07.00)	Vardiyada ki personel sayısı	Üçüncü Vardiya (00.00 : 08.00)	Vardiyada ki personel sayısı
26	32	35	32	37	32	40	32	38	31	34	29	36	29	31	28
35	32	37	32	40	32	38	32	34	31	36	29	31	29	6	28
37	32	40	32	38	32	34	32	36	31	31	29	6	29	4	28
40	32	38	32	34	32	36	32	31	31	6	29	4	29	4	28
38	32	34	32	36	32	31	32	6	31	4	29	4	29	4	28
34	32	36	32	31	32	6	32	4	31	4	29	4	29	6	28
36	32	31	32	6	32	4	32	4	31	4	29	6	29	25	28
31	32	6	32	4	32	4	32	4	31	6	29	25	29	35	28
Toplam	99		99		99		99		98		96		96		95

Tablo 6 da 8 farklı vardiya çizelgesi senaryosu için, atıl işgücü miktarları adam/saat cinsinden saat dilimleri bazında ve toplam olarak sunulmuştur. Hesaplama, Tablo 5'te sunulan vardiya başına görevli güvenlik personeli sayısından saat dilimi için gerekli güvenlik personeli sayısı çıkarılarak yapılmıştır. Buna göre 8. Senaryonun (08.00 – 16.00; 16.00 – 00.00; 00.00 – 08.00 saatleri arası) toplamda diğer senaryolara göre daha az atıl işgücü oluşturduğu için tercih edilmesi uygundur.

Tablo 6. Farklı senaryolara göre atıl işgücünün belirlenmesi

1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo
İlk Vardiya (01.00 : 09.00)	İlk Vardiya (02.00 : 10.00)	İlk Vardiya (03.00: 11.00)	İlk Vardiya (04.00 : 12.00)	İlk Vardiya (05.00 : 13.00)	İlk Vardiya (06.00 : 14.00)	İlk Vardiya (07.00 : 15.00)	İlk Vardiya (08.00 : 16.00)
26	28	28	28	29	10	0	0
28	28	28	26	10	0	0	0
28	28	26	7	0	0	0	0
28	26	7	0	0	0	0	0
26	7	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	2
0	0	0	0	0	0	2	6
0	0	0	0	0	2	6	14
İkinci Vardiya (09.00 : 17.00)	**İkinci Vardiya (10.00 : 18.00)**	**İkinci Vardiya (11.00 : 19.00)**	**İkinci Vardiya (12.00 : 20.00)**	**İkinci Vardiya (13.00 : 21.00)**	**İkinci Vardiya (14.00 : 22.00)**	**İkinci Vardiya (15.00 : 23.00)**	**İkinci Vardiya (16.00 : 00.00)**
0	0	0	-8	0	3	11	8
0	0	0	2	3	11	8	6
0	0	2	6	11	8	6	0
0	2	6	14	8	6	0	0
2	6	14	11	6	0	0	0
6	14	11	9	0	0	0	0
14	11	9	0	0	0	0	0
11	9	0	0	0	0	0	0
Üçüncü Vardiya (17.00 : 01.00)	**Üçüncü Vardiya (18.00 : 02.00)**	**Üçüncü Vardiya (19.00 : 03.00)**	**Üçüncü Vardiya (20.00 : 04.00)**	**Üçüncü Vardiya (21.00 : 05.00)**	**Üçüncü Vardiya (22.00 : 06.00)**	**Üçüncü Vardiya (23.00 : 07.00)**	**Üçüncü Vardiya (00.00 : 08.00)**
6	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	22
0	0	0	0	0	0	23	24
0	0	0	0	0	23	25	24
0	0	0	1	25	25	25	24
0	0	1	26	27	25	25	22
0	1	26	28	27	25	23	3
1	26	28	28	27	23	4	0
183	186	186	178	173	161	158	155

SONUÇ

Bu çalışma bir havalimanındaki ilk güvenlik kontrol noktasında görevli güvenlik personeli ve x-ray cihazı sayısını minimize etmek amacıyla yapılmıştır. Çalışma kapsamında öncelikle haftanın 7 günü 24 saat dilimi bazında yolcu sayısı yoğunlukları analiz edilmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre 8 farklı vardiya düzenini içerir senaryo belirlenerek toplam ihtiyaç duyulan personel sayısı ve toplam atıl işgücü miktarı kriterleri göz önünde bulundurularak en iyi vardiya düzenine karar verilmiştir.

KAYNAKÇA

1. 2020 Havayolu Sektör Raporu, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Mayıs 2021, Ankara, Türkiye.
2. Bektur, G., Hasgül, S. (2013). Kıdem seviyelerine göre işgücü çizelgeleme problemi: hizmet sektöründe bir uygulama. Afyon Kocatepe Üniversitesi, İİBF Dergisi. 385-402.
3. Chu, S.C.K. (2007). Generating, scheduling and rostering of shift crew-duties: Applications at the Hong Kong International Airport. European Journal of Operational Research. 177. 1764-1778. 10.1016/j.ejor.2005.10.008.
4. Ip, W.H. Chung N., Ho G. Using Integer Programming for Airport Service Planning in Staff Scheduling, International Journal of Engineering Business Management, Vol. 2, No. 2 (2010), pp. 85-92
5. Mason, A.J., Ryan, D.M., Panton, D.M. (1998) Integrated Simulation, Heuristic and Optimisation Approaches to Staff Scheduling. Operations Research 46(2):161-175.
6. Milutinović, L.D, Nikolić, D.M, Antić, S., Živić, M., Lisec, A. (2021). Control model for ground crew scheduling problem at small airports: case of Serbia. Transport, 36(3), 235-245. https://doi.org/10.3846/transport.2021.15369
7. Orhan, İ., Kapanoğlu, M., Karakoç, T. H. (2010). Havayolu Operasyonlarında Planlama ve Çizelgeleme. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16 (2) , 181-191.
8. Soukour, A.A., Devendeville, L, Lucet, C., Moukrim, A. (2013). A Memetic Algorithm for staff scheduling problem in airport security service, Expert Systems with Applications, Volume 40, Issue 18, Pages 7504-7512,
9. Stolletz, R. (2010) Operational workforce planning for check-in counters at airports, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Volume 46, Issue 3, May 2010, Pages 414-425
10. Supçiller, A.A., Erbilek, P. (2021) Analitik hiyerarşi prosesi ve hedef programlama ile bir üniversite kütüphanesindeki kısmi zamanlı personellerin çizelgelenmesi. Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 27(1), 1-12.
11. Zeng, L., Zhao, M., Liu, Y. Airport ground workforce planning with hierarchical skills: a new formulation and branch-and-price approach. Ann Oper Res 275, 245–258 (2019).

✔ 4. Bölüm

KAPASİTE PLANLAMA VE TOPLAM EKİPMAN ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: ÖRNEK UYGULAMA

Kübra BAŞKALAYCI[1]

Alpaslan FIĞLALI[2]

1 Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

2 Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

KAPASİTE PLANLAMA

İşyerlerinin üretebilme yeteneğinin bir göstergesi olarak tanımlanabilen kapasite kavramı aynı zamanda belirli bir zaman periyodu içerisinde kullanılan üretim faktörleri şeklinde de tanımlanabilir (Celayir ve Pazarçeviren, 2019).

Başka bir deyişle, kapasite, belirli bir süre boyunca mümkün olan maksimum çıktıdır. Çıktının homojen olmadığı durumlarda kapasite, mevcut makine saatleri cinsinden ölçülebilir. İlk tanım, kurulum sürelerini doğru bir şekilde hesaba katmayı zorlaştırır. Tipik olarak, kapasitenin kullanılabilir olduğu süre, kurulumlar için kullanılan ortalama süreye göre azaltılır. Bu standartlaştırılmış bir yaklaşımdır, yani "normal" operasyonlardan tüm sapmalar, hatalı kapasite hesaplamalarına ve planlarına yol açar. Çoğu imalat işleminde kurulum süreleri göz ardı edilemez olduğundan, bunların açıkça dikkate alınması gerekir. Kapasitenin ikinci tanımı, (takvim) zaman birimi başına mevcut (çalışma) zaman ile ilgilidir. Bu ölçü daha sonra hem kurulum sürelerinden hem de parti başına işlem sürelerinden oluşan toplam kapasite gereksinimleriyle karşılaştırılır; ikincisi, birim işlem süresinin parti büyüklüğü ile çarpımı olarak hesaplanır (Olhager ve Johansson, 2012).

Kapasite kavramının tanımı hizmet sektöründe farklılaşarak işletme tarafından birim zamanda servis sunulan müşteri sayısı olarak da ifade edilebilir.

İşletmeler, stratejik misyonlarıyla uyumlu olarak, mevcut ve gelecekteki talebi zaman ve miktar cinsinden karşılamak için yeterli düzeyde kapasiteye ihtiyaç duyarlar. İşletme yöneticileri birçok nedenden dolayı kapasite kavramıyla ilgilenmektedirler. Mevcut ve gelecekteki talebin karşılanması, makinelerin bakım maliyetleri ve iş akışının kapasite ile ilişkisi, kârlı bir yatırım yapabilmek için önceden üretim kapasitesinin bilinmesi gerekliliği gibi faktörler kapasite planlamayı işletmeler açısından sürekli gündemdeki bir konu haline getirmektedir (Bulut, 2004). Kapasite kavramı fizibilite etütlerinin en önemli karar bileşeni olarak da karşımıza çıkmaktadır.

Kapasite planlaması temel olarak birbiriyle ilişkili iki planlama adımından oluşmaktadır. Bunlar, ortalama üretim düzeyinin belirlenmesi ve bu düzeyden sapmalar oluşması durumunda yapılan hedefe yönelik planlamalardır. Belirlenen kapasite düzeyinin doğal olarak, işletmelerin, tepki hızı, maliyet yapısı, stok politikası ve iş gücü gereksinimleri üzerinde etkisi vardır. Yetersiz kapasite durumunda işletmeler, müşterilerin taleplerini karşılayamayabilirler ve bu durum müşterinin rakip işletmelere yönelmesine neden olabilir. Fazla kapasite durumunda ise işletmeler; talebi artırmak için fiyatları ve işgücü kullanım oranını düşürmek, stok düzeylerini artırmak veya daha az karlı ürünlere yönelmek durumunda kalacaklardır. Bu durum işletme kaynaklarının etkin kullanılmamasına

yol açacaktır.

Kapasite planlamasının temel amacı, en düşük maliyetle, pazar ihtiyaçlarına cevap veren bir kapasite seviyesi oluşturmaktadır. Planlama ufkuna bağlı olarak; kısa dönemli, orta dönemli ve uzun dönemli olmak üzere üç kategoriden oluşur:

1. Kısa Dönemli Kapasite Planlaması: Kısa vadeli kapasite planlaması, her bir siparişin teslim süresini karşılamaya yetecek kadar uzun bir günlük veya haftalık kapasite planı belirler. Kısa vadeli kapasite planlamasının amacı, iş merkezi düzeyinde bir üretim planı için kaynakların kullanılabilirliği ile kapasite gereksinimi arasında uygun bir eşleşme sağlamaktır. Bileşen düzeyinde her müşteri siparişi için her işçilik ve makine tipinin kaynak gereksiniminin belirtilmesi gerekir. Her müşteri siparişi önce dahili siparişlere ve ayrıntılı iş emirlerine dönüştürülür, bunlar daha sonra malzeme varışıyla koordineli olarak işçilik ve/veya ekipman tarafından bir iş çizelgesine özetlenir. İş emrinin son teslim tarihini karşılamak için rutin olarak fazla mesai ve dış kaynak kullanımı gibi alternatif kaynakların kullanımını dikkate alır (Chen ve diğ., 2009).

2. Orta Dönemli Kapasite Planlaması: Orta vadeli kapasite planlaması, tipik olarak bir yıllık bir planlama ufku için her fabrika için aylık veya üç aylık kaynak gereksiniminin belirlenmesine odaklanır. Ürün grubu ve departman bazında işgücü seviyesi, hammadde ve envanter politikasına karar verir. Satış tahminlerine dayalı olarak, aşağıda listelenen başlıklar için kapasite planları üretir: (1) işgücü-istihdam düzeyi (işten çıkarmalar, işe alma, geri çağırmalar, tatiller, fazla mesai ve yarı zamanlı), (2) envanter politikası, (3) hizmet gereksinimleri, (4) tesis değişiklikleri, (5) dış kaynak kullanımı ve (6) büyük malzeme tedarik sözleşmeleri. Kapasite gereksinimleri, normal zamanlı işçilik, fazla mesai, envanter ve taşeronluklarında dönemden döneme değişebilir (Chen ve dig., 2009).

3. Uzun Dönemli Kapasite Planlaması: Uzun vadeli kapasite yönetimi, sıklıkla, yeni kapasite elde etmek veya kapasite düzeylerini düşürmek için değişmesi uzun zaman alan kapasitelerle ilgilenir. Tipik olarak, planlama ufku 1-5 yıldır ve planlama dönemi, en azından ilk yıl için bir aydır ve daha sonra muhtemelen çeyrekler veya daha uzun dönemlerdir. Binalar, üretim araçları, kaynakların elde edilmesi veya düzenlenmesi ile ilgili stratejik kararlardan oluşur. Genel olarak kapasite planlaması, kaynak planlaması ve kaynak ihtiyaçlarının planlaması yapılır. Verimli uzun vadeli kapasite yönetimi, herhangi bir imalat firması için hayati önem taşır. Maliyet, teslimat hızı, güvenilirlik ve esneklik açısından rekabetçi performans üzerinde etkileri vardır. Bir üretim stratejisinde kapasite, talep seviyelerindeki uzun vadeli değişikliklere göre dinamik kapasite genişletme ve azaltma ile ilgilenen yapısal bir karar kategorisidir (Olhager ve diğ., 2001).

İşletme yöneticilerinin yatırım kararlarında optimal işletme büyüklüğüne ka-

rar verebilmesi için, kapasite seçimini etkileyen faktörleri dikkate alması gerekmektedir. İşletme kapasitesini etkileyen pek çok faktör bulunmakla birlikte, başlıca faktörler arasında aşağıdaki başlıklar sıralanabilir:

- Maliyetler
- Tahmin edilen talep miktarı
- Finansal kaynaklar
- Kuruluş yeri
- Teknik olanaklar
- Fiziksel olanaklar
- Çalışma süreleri
- Yönetim politikaları

TOPLAM EKİPMAN ETKİNLİĞİ

Toplam Ekipman Etkinliği (Overall Equipment Effectiveness-OEE), işletmelerde darboğazın belirlenmesinde etkili bir araçtır. Diğer sürekli iyileştirme araçları ve teknikleriyle birlikte kullanılabilir (Prasetyo ve Veroya, 2020). OEE Toplam Üretken Bakım ve Yalın Üretimin önemli bir konusudur. Toplam Ekipman Etkinliği, ekipmanın ideal çalışma şartlarından uzaklaşmasına sebep olan tüm kayıpları rasyonel ve sistematik biçimde ortaya koyan bir etkinlik ölçme ve analiz yöntemidir. Duruşları azaltarak ekipmandan yararlanma oranını artırabilmek için kaynak kullanımının ve bakım faaliyetlerinin birlikte planlanması gerekmektedir. Uzun süreli müşteri/ tedarikçi iş birlikleri ile üretkenliğin artırılması mümkün olabilmektedir.

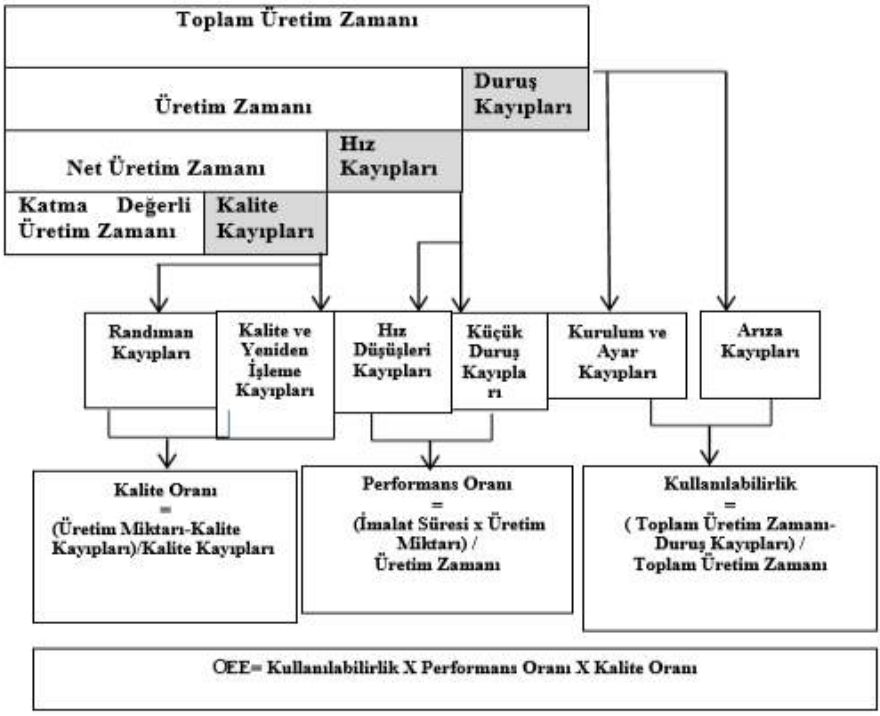
OEE kullanımı darboğaz ekipmanlarda iyileştirme amacıyla başlamış ancak ardından fabrikada bulunan her ekipman için yaygınlaştırılmıştır. OEE üretim işletmesinin makine performanslarını bütünlük içerisinde karşılaştırmak amacıyla kullanılabilmektedir. Mevcut durumdaki OEE değerleri gelecekteki OEE değerleri ile karşılaştırılarak iyileşme olanakları belirlenebilir. Diğer yandan OEE değeri bir üretim hattı için hesaplanabilir ve fabrikadaki diğer üretim hatlarının performansı ile kıyaslanabilir. OEE değeri aynı zamanda hangi makinenin performansının en kötü olduğunu ve toplam verimli bakım çalışmalarının hangi makineye yoğunlaşması gerektiğini belirtir (Ersöz ve diğ., 2018). Üretimdeki katma değer yaratmayan faaliyetlerin ortadan kaldırılmasını amaçlar.

OEE'nin temel amacı altı büyük kaybın ortadan kaldırılarak tesis, makine ve ekipman etkinliklerinin artırılmasıdır. Bu altı büyük kayıp önemli parasal kayıplara yol açmaktadır ve üretimde verimlilik düşüşünün en önemli nedenleridir. Bu kayıplar;

- Arıza kayıpları,
- Kurma ve ayar kayıpları,
- Âtıl kapasite ve kısa süreli duruş kayıpları,
- Azaltılmış hız kayıpları,
- Kalite hataları ve yeniden işleme kayıpları,
- Yol verme ve üretim kayıpları (Temiz ve diğ., 2010).

OEE'NİN HESAPLANMASI

OEE, işletmedeki ekipmanın hem etkililiğini hem de etkinliğini ölçmektedir. Bu çerçevede OEE ölçütü içerisinde performans ölçümü Kullanılabilirlik(A), Performans(P) ve Kalite oranlarının(Q) bir fonksiyonu olarak ölçülmektedir (Koçak, 2015).



Şekil 1: Üretim Kayıplarına Göre OEE Hesaplanması
(Ahuja ve Khampa, 2008:725)

Şekil 1'de her bir faktörün hangi kayıplardan oluştuğu ve hangi süreler yardımıyla hesaplanabildiği görülmektedir. OEE, Kullanılabilirlik(A), Performans(P) ve Kalite oranlarının(Q) çarpımı şeklinde hesaplanmaktadır. Söz konusu faktörlerin kısa açıklamaları aşağıda verilmektedir:

1. Kullanılabilirlik veya yükleme seviyesi:

Üretimi gerçekleştiren makinenin üretim boyunca ne kadar süre çalıştığını (kullanılabilirlik) hesaplamak için kullanılır. Bir makinenin gerçekleşen çalışma süresi ile planlanan çalışma süresi arasındaki ilişkiyi belirtir. Kullanılabilirlik, planlanan üretim süresi içerisinde makinelerin ne kadar kullanıldığını göstermektedir. Gerçekleşen üretim süresinin, planlanan üretim süresine oranı olan bu kavram, üretim yapmak üzere planlanan sürenin yüzde cinsinden kullanımını ifade etmektedir (Yenice, 2021).

Kullanılabilirlik (A) = Üretim Süresi/ Planlanan Üretim Süresi

2. Performans Oranı veya Verimlilik

Bir makinenin belli bir zamanda gerçekleştirdiği üretim ile gerçekleştirebileceği üretim miktarı arasındaki ilişkidir. Bu değer, üretilen miktar ile çevrim süresi çarpımının üretim zamanına oranlanması ile elde edilir. Performans düzeyini etkileyen kayıplar; hız kayıpları ve küçük duruşlar olarak tanımlanabilir (Yıldırım, 2017).

Performans =Toplam Üretilen Parça / (İdeal Döngü Zamanı(dk.)
*Operasyon Süresi)

3. Kalite Oranı

OEE hesabı içerisinde kalite oranı, verilen süre içindeki üretilen hatasız parçaların hatalı parçalara bölünmesi ile hesaplanır. Katma değerli çalışma süresi, net çalışma süresinin ne kadarının hatasız ürün için, harcandığı ile ilgilidir. OEE'nin hatalı parça ve yeniden işleme kayıplarından etkilenen çarpanıdır. Hatalı parça ve yeniden işleme, zaman, işgücü ve enerji kaybı olarak karşımıza çıkar. (Yıldırım, 2017).

Kalite = İyi Parça Miktarı / Toplam Parça Miktarı

BİR İŞLETMEDE KAPASİTE PLANLAMA ADIMLARI

Bu bölümde alüminyum profil üreten bir işletmede yedi farklı tezgah (A, B, C, D, E, F, G) için 1 yıllık veri kullanılarak yapılan kapasite planlaması çalışma adımları anlatılmaktadır. Çalışma sonucunda aylık hat kapasitesi planlanmış, kapasite kullanım oranı hesaplanmış ve kapasite yeterlilik durumu değerlendirilmiştir.

1. Kapasite tahmini yapabilmek için ilk olarak bu tezgahlara ait beklenen taleplerin bulunması gerekmektedir. Aylık üretim miktarları ve her ay için çalışılan gün sayısı bilindiğinden; aylık üretim miktarı, çalışılan gün sayısına bölünerek günlük üretim miktarı hesaplanmıştır.

Aylık Üretim Miktarları

	Birim	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Çalışma Gün Sayısı	Gün	26	24	27	24	25	23,5	26	21,5	25	20	26	23
A	Kg/Ay	134.099	130.188	156.433	146.585	150.453	146.646	146.791	123.097	143.404	147.341	142.642	135.995
B	Kg/Ay	173.724	168.658	202.658	189.901	194.911	189.980	190.167	159.471	185.779	190.880	184.792	176.181
C	Kg/Ay	179.236	174.010	209.088	195.926	201.095	196.008	196.201	164.531	191.674	196.936	190.656	181.771
D	Kg/Ay	314.288	305.124	366.633	343.554	352.617	343.697	344.036	288.503	336.097	345.325	334.312	318.733
E	Kg/Ay	318.584	309.294	371.643	348.249	357.436	348.394	348.738	292.446	340.691	350.045	338.881	323.089
F	Kg/Ay	422.575	410.253	492.954	461.923	474.110	462.116	462.572	387.905	451.898	464.305	449.498	428.551
G	Kg/Ay	342.487	332.500	399.528	374.378	384.255	374.534	374.904	314.388	366.253	376.309	364.307	347.330

Günlük Üretim Miktarları

	Birim	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
A	Kg/Gün	5.158	5.425	5.794	6.108	6.018	6.240	5.646	5.725	5.736	7.367	5.486	5.913
B	Kg/Gün	6.682	7.027	7.506	7.913	7.796	8.084	7.314	7.417	7.431	9.544	7.107	7.660
C	Kg/Gün	6.894	7.250	7.744	8.164	8.044	8.341	7.546	7.653	7.667	9.847	7.333	7.903
D	Kg/Gün	12.088	12.713	13.579	14.315	14.105	14.625	13.232	13.419	13.444	17.266	12.858	13.858
E	Kg/Gün	12.253	12.887	13.765	14.510	14.297	14.825	13.413	13.602	13.628	17.502	13.034	14.047
F	Kg/Gün	16.253	17.094	18.258	19.247	18.964	19.664	17.791	18.042	18.076	23.215	17.288	18.633
G	Kg/Gün	13.173	13.854	14.797	15.599	15.370	15.938	14.419	14.623	14.650	18.815	14.012	15.101

Beklenen talep ortalamasının hesaplanması gerekir. Bunun için, her tezgâhın 12 aya ait günlük üretim miktarlarının ortalaması alınır. Bu ortalama değer Hatta Düşen Beklenen Talep Miktarını verir.

Tezgah Adı	Toplam	Beklenen Talep
A	70.616	5.885
B	91.482	7.624
C	94.385	7.865
D	165.502	13.792
E	167.764	13.980
F	222.526	18.544
G	180.352	15.029

2. Kapasite planlamada ikinci aşama hat kapasitesinin belirlenmesidir. Hat kapasitesi, tezgâh kapasitesinin vardiya sayısı ile çarpılması sonucu hesaplanmaktadır.

Tezgâh kapasitesi ise, ideal üretim hızı, makine yükleme süresi ve Makine OEE' sinin çarpılması ile hesaplanmaktadır.

İdeal üretim hızları her tezgâh için aşağıdaki şekilde verilmektedir:

Tezgah Adı	İdeal Üretim Hızı (Kg / Dk.)
A	28,91
B	21,45
C	29,81
D	43,01
E	32,81
F	52,66
G	58,66

Makine yükleme süreleri, bir vardiya için hiçbir duruş yaşanmadığı varsayımıyla teorik çalışma süresi olarak alınmıştır.

Tezgah Adı	Teorik Çalışma Süresi (Dk. / Vardiya)	Yemek -Çay Duruşu (Dk. / Vardiya)	Otonom Bakım(Temizlik) (Dk / Vardiya)	Planlı Bakım (Dk / Vardiya)	Makine Yükleme Süresi (Dk / Vardiya)
A	480	0	0	0	480
B	480	0	0	0	480
C	480	0	0	0	480
D	480	0	0	0	480
E	480	0	0	0	480
F	480	0	0	0	480
G	480	0	0	0	480

Makine OEE' si Kullanılabilirlik Oranı(A), Performans Oranı(P) ve Kalite Oranının(Q) çarpılması ile elde edilmektedir. Daha önceden bilinen bu bilgiler yardımıyla makine OEE' si hesaplanmıştır.

Tezgah Adı	A	P	Q	Makine OEE
A	82,9%	63,1%	80,6%	42,1%
B	87,4%	83,0%	85,2%	61,8%
C	79,8%	72,9%	75,5%	43,9%
D	89,9%	65,9%	87,5%	51,8%
E	79,8%	96,5%	82,2%	63,3%
F	83,7%	85,9%	80,9%	58,2%
G	74,9%	93,2%	68,5%	47,8%

Tezgâh kapasitesi, ideal üretim hızı, makine yükleme süresi ve makine OEE' sinin çarpılması ile bulunmuştur.

Tezgah Adı	İdeal Üretim Hızı (Kg / Dk)	Makine Yükleme Süresi (Dk / Vardiya)	Makine OEE	Tezgah Kapasitesi (Kg / Vardiya)
A	28,91	480	42,1%	5.842
B	21,45	480	61,8%	6.363
C	29,81	480	43,9%	6.282
D	43,01	480	51,8%	10.694
E	32,81	480	63,3%	9.969
F	52,66	480	58,2%	14.711
G	58,66	480	47,8%	13.459

Hat kapasitesi, tezgâh kapasitesinin vardiya sayısı olan 3 ile çarpılması sonucu elde edilmiştir.

Tezgah Adı	Hat Kapasitesi (Kg/Gün)
A	17.526
B	19.089
C	18.845
D	32.082
E	29.907
F	44.133
G	40.377

3. Bulunan kapasitenin yeterlilik durumu ve kapasite kullanım oranının belirlenmesi için son dönemin mevcut üretim miktarı bilinmelidir ve aşağıdaki şekilde günlük olarak verilmiştir.

Son dönem mevcut üretim miktarı:

Tezgah Adı	Üretim Miktarı (Kg / Gün)
A	16.048
B	18.371
C	7.925
D	30.004
E	28.067
F	43.272
G	38.151
Toplam	181.839

Kapasite kullanım oranı hatta düşen beklenen talebin, hat kapasitesine bölünmesi sonucu elde edilmektedir. Hat kapasitesinin mevcut üretimden fazla olması durumunda kapasite yeterli durumdadır.

Tezgah	Hatta Düşen Beklenen Talep (Kg / Gün)	Mevcut Üretim (Kg / Gün)	Hat Kapasitesi (Kg/Gün)	Kapasite Kullanım Oranı (%)	Kapasite Yeterlilik Durumu
A	5.885	16.048	17.526	34	Yeterli
B	7.624	18.371	19.089	40	Yeterli
C	7.865	7.925	18.845	42	Yeterli
D	13.792	30.004	32.082	43	Yeterli
E	13.980	28.067	29.907	47	Yeterli
F	18.544	43.272	44.133	42	Yeterli
G	15.029	38.151	40.377	28	Yeterli

Pilot olarak seçilen bir CNC tezgahı için, ilgili tezgâhta üretilen A ve B parçaları baz alınarak Toplam Ekipman Etkinliği (OEE) hesaplanmıştır. İlk olarak A ve B parçasının işlem adımları oluşturulmuş ve süreleri bulunmuş, daha sonra OEE hesabı yapılmıştır.

A Parçasının İş Adımları



A Parçasının İşlem Adımları ve Süreleri

İşlem Adımı	Süre (sn.)
Profili CNC makinesine takma	15
Profilin CNC makinesinde işlenmesi	120
Profildeki çapakların temizlenmesi	10
Profilin CNC makinesinden sökülmesi	12
CNC makinesindeki çapakların temizlenmesi	28
Profilin düzgünlüğünün teyit edilmesi	40
Profildeki çapakların temizlenmesi	10
Teyit verilerek ürünün gönderilmesi	5

B Parçasının İş Adımları



OEE' yi hesaplayabilmek için

- Kullanılabilirlik Oranı,
- Performans Oranı,
- Kalite Oranına ihtiyaç vardır.

B Parçasının İşlem Adımları ve Süreleri

İşlem Adımı	Süre (sn)
Profilin CNC Makinesine Takılması	20
Prop Ayarı	50
Profilin CNC Makinesinde İşlenmesi	100
Hava Tabancasıyla Profilin Çapak Temizliği	20
Profilin Sökülmesi	15
Raspa ile Çapak Temizliği	10
Kumpasla Parça Yüzeyinin Ölçülmesi	40
Teyit Verilerek Ürünün Gönderilmesi	5

Kullanılabilirlik oranı üretimi gerçekleştiren makinenin üretim boyunca ne kadar süre çalıştığını (kullanılabilirlik) hesaplamak için kullanılır. Bir makinenin gerçekleşen çalışma süresi ile planlanan çalışma süresi arasındaki ilişkiyi belirtir. Kullanılabilirlik oranı, planlı ve plansız duruşların bilinmesi ile hesaplanabilmektedir.

Plansız Duruşlar ve Süreleri

B1	**Arıza Duruş Süresi**	**0**	**dakika**
B2	**Malzeme Bekleme**	**0**	**dakika**
B3	**Operatör Bekleme**	**0**	**dakika**
B4	**Yükleme**	**0**	**dakika**
B5	**Boşaltma**	**0**	**dakika**
B6	**Diğer**	**0**	**dakika**
B7	**Toplam Setup Süresi**	**80**	**dakika**
B8	**Toplam Kalite Kontrol Süresi**	**23**	**dakika**
B	**Plansız Duruş Süresi (B1+...B6)**	**103**	**dakika**

Planlı Duruşlar ve Süreleri

C1	TPM	0	dakika
C2	Sayım	0	dakika
C3	Planlı Duruş	10	dakika
C4	Çay Molası	10	dakika
C5	Yemek Molası	30	dakika
C6	Diğer (Numune Üretimi+ ... Vs.)	0	dakika
C	Planlı Duruş Süresi (C1+...C6)	50	dakika

Kullanılabilirlik Oranı

Toplam çalışma zamanı 2 vardiya için alınmış olup 960 dakikadır.

İki vardiyadaki toplam çalışma zamanından belirlenen bu duruşlar çıkarılarak net çalışma zamanı hesaplanır.

A	Toplam Çalışma Zamanı	960 dakika
B	Plansız Duruş Süresi	103 dakika
C	Planlı Duruş Süresi	50 dakika
D	Net Çalışma Zamanı (A-B-C)	807 dakika

$$Kullanılabilirlik(A) = (Çalışılan\ Süre\ /\ Çalışılabilir\ Süre) * 100$$

(A) Kullanılabilirlik Oranı =	807/ (960-50) *100 =	88,68%

Performans Oranı

Bir makinenin belli bir zamanda gerçekleştirdiği üretim ile gerçekleştirebileceği üretim miktarı arasındaki ilişkidir.

A ve B kodlu parçalara ait çevrim süreleri ve üretim miktarları verilmiştir.

Bu veriler yardımıyla performans oranının hesaplanması için gerekli olan toplam üretim miktarı ve dakika başına ideal üretim adedi bulunmuştur.

İdeal Üretim Adedi = 60/Toplam Ağırlıklı Çevrim Süresi

Parça Kodu	Çevrim Süresi (Sn)	Üretim Miktarı (Adet)	Oran	Ağırlıklı Çevrim Süresi (Sn)
A	260	40	22,22%	57,77777778
B	240	50	27,78%	66,66666667
A	240	40	22,22%	53,33333333
B	260	50	27,78%	72,222222220
Toplam		180		250
İdeal Üretim Adedi (dk.)				0,2400

Performans Oranı, Toplam Üretim Miktarının, Net Çalışma Zamanına oranının İdeal Üretim Adedine bölünmesi ile hesaplanmıştır.

D	Net Çalışma Zamanı	807 dakika
E	Toplam Üretim Miktarı	180 adet
F	İdeal Üretim Adedi / dk.	0,24 adet/dk.

Performans Oranı (P) = ((Toplam Üretim Miktarı / Net çalışma zamanı) / İdeal üretim adedi) 100*

(P) Performans Oranı =	(180/807) /0,24*100 =	92,94%

Kalite Oranı

Kalite oranının hesaplanması için toplam üretim adedi ve kusurlu üretim adedi bilinmelidir.

Kalite Kayıpları

G1	Proses Hurdası	1 adet
G2	Tip Değişim Hurdası	0

G	Hurda Ürün Adedi (G1+G2)	1 adet
E	Toplam Üretim Miktarı	180 adet

Kalite Oranı (Q) = ((Toplam Üretim Adedi – Hatalı Üretim Adedi)/Toplam Üretim Adedi) 100*

(Q) Kalite Oranı =	(180-1) /180*100) =	99,44%

OEE Hesabı

Toplam ekipman etkinliği yukarıda hesaplanan bu üç kriterin çarpılmasıyla elde edilmektedir.

OEE= Kullanılabilirlik Oranı * Performans Oranı * Kalite Oranı

OEE= %88,68 * %92,94 * %99,44 = %81,96



Şekil11: OEE Değerleri
(https://trex.com.tr/tr/bilgi-bankasi/operasyonel-mukemmellik-oee/)

Firmaya Ait OEE Değerlerinin Dünya Klası ile Karşılaştırırsak;

	OEE	KULLANABİLİRLİK	PERFORMANS	KALİTE
TESİS	81,96%	88,68%	92,94%	99,44%
DÜNYA KLASI	85,0%	90,0%	95,0%	99,9%
FARK	-3,0%	-1,3%	-2,1%	-0,5%

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Tabloya baktığımız zaman bu üç kriterinde dünya standartlarının altında olduğu görülmektedir. Ancak kalite oranının diğerlerine kıyasla standartlara daha yakın olduğu yani gözlem yaptığımız iki vardiya için kusurlu üretim miktarının düşük olduğu söylenebilir. Performans oranındaki bu %2,1'lik fark üretim miktarının yeterli seviyede olmadığını düşündürebilir. Kullanılabilirlik oranına baktığımızda ise dünya standardı ile arasındaki farkın çok yüksek olmadığı ve bu farkın üretim süresince yaşanan duruşlarda iyileştirme yapılarak rahatlıkla kapatılabileceği söylenebilir. Yaptığımız hesaplamalar sonucunda CNC tezgahının OEE değeri %81,96 çıkmıştır. Bu değerin dünya standardı olan %85'ten düşük olduğu görülmektedir. Bu değerin dünya standardına ulaşması için kullanılabilirlik, performans ve kalite kriterlerinin iyileştirilmesi gerekir. Bu sayede iyileştirme gerektiren konular belirlenerek kısa vadede çözüm geliştirilecek ve verimlilikte hızlı ve yüksek düzeylerde gelişme sağlanabilecektir. Zamanında ve hatasız veri ile yöneticilerin doğru kararlara ulaşması mümkündür. Bu nedenle otomatik veri toplama sistemlerinin konuya önemli katkısı olabilecektir.

KAYNAKÇA

1. Aydın Koçak, "İmalat Süreçlerinde Kullanılan Performans Ölçütleri Üzerine Bir Literatür Araştırması", Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi. 2015; 17 (3): 160-185.
2. Chin-Sheng Chen,Siddharth Mestry, Purushothaman Damodaran, Chao Wang, "The capacity planning problem in make-to-order enterprises", Mathematical and Computer Modelling. 2009; 50 (9–10): 1461-1473.
3. Duygu Celayir, Selim Yüksel Pazarçeviren, "İşletmelerde Kapasite Ve Verimlilik Sapmalarına İlişkin Bir Model Önerisi", 5. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi. 11 – 14 Temmuz 2019, Bandırma.
4. I.P.S. Ahuja, J.S. Khamba , "Total Productive Maintenance: Literature Review And Directions", International Journal of Quality & Reliability Management, 2008; 25(7): 709-756.
5. İzzettin Temiz, Elif Atasoy, Aslı Sucu, "Toplam Ekipman Etkinliği ve Bir Uygulama", Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi (2010): 49-60.
6. Jan Olhager, Martin Rudberg, Joakim Wikner, "Long-term capacity management: Linking the perspectives from manufacturing strategy and sales and operations planning", International Journal of Production Economics. 2001; 69 (2): 215-225.
7. Jan Olhager, Pontus Johansson, "Linking long-term capacity management for manufacturing and service operations", Journal of Engineering and Technology Management. 2012; 29 (1): 22-33.
8. Muhammed Ali Yıldırım, "Sanayi İşletmelerinde Yalın Üretim Teknikleri Ve Uygulamaları", İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2017.
9. Selen Eligüzel Yenice, "Ulus Metal Firmasında Toplam Ekipman Etkinliği Uygulamaları Ve İyileştirmeler", Gebze Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2021.
10. Taner Ersöz, Elif Öztürk, Ezgi Gürel, "Demir Çelik Sektöründe Toplam Verimli Bakım Uygulaması", International Journal of Economic and Administrative Studies, 2018; (18. EYİ Özel Sayısı):447-458.
11. Yogi Tri Prasetyo, Felix Concepcion Veroya, "An Application of Overall Equipment Effectiveness (OEE) for Minimizing the Bottleneck Process in Semiconductor Industry", 2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA), 16-21 Nisan 2020, Bangkok.
12. Zeki Atıl Bulut, "İşletmeler Açısından Kapasite Planlaması Ve Kapasite Planlamasına Etki Eden Faktörler", Mevzuat Dergisi. 2004; 7(80).

✔ 5. Bölüm

AMBALAJ TEKSTİLLERİNİN ÇEVRE AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ

Okşan ORAL[1]

Esra DİRGAR[2]

Zümrüt BAHADIR ÜNAL[3]

1 Doç. Dr., Ege Üniversitesi Emel Akın Meslek Yüksekokulu Giyim Üretim Teknolojisi Programı, oksan.kansoy@ege.edu.tr

2 Prof. Dr., Ege Üniversitesi Emel Akın Meslek Yüksekokulu Giyim Üretim Teknolojisi Programı, esra.dirgar@ege.edu.tr

3 Prof. Dr., Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, zumrut.bahadir.unal@ege.edu.tr

1. Giriş

Ambalaj, meyveler, sebzeler, tarımsal ürünler, gıda ürünleri ve diğer ürünler için fiziksel hasara, kirlenmeye ve bozulmaya karşı gerekli korumayı sağlamak, ürünlerin raf ömrünü artırmak ve üreticiden tüketiciye tedariğinde kolaylık sağlamak için temel bir gerekliliktir (1). Dünya üzerinde tarım arazilarinin azaldığı, dünya nüfusunun 7 milyarı aştığı günümüzde, yetiştirilen sebze ve meyvelerin, ambalajlanmadığı için, yaklaşık olarak % 40' ı tüketiciye ulaşmadan atık haline gelmektedir. Bu açıdan bakıldığında, uzmanlar, ambalajı dünyadaki açlığa bir çözüm olarak sunmaktadırlar (2). Bu bakış açısı da dünyada ambalaj kullanımının artmasını teşvik etmektedir. Özellikle uzun süreçli nakliyatlarda; ürünlerin özelliklerini kaybetmeden alıcıya ulaşmasında doğru bir şekilde ambalajlama yapılması, ürün firesini de minimize etmektedir.

Ambalajlamada kullanılan malzemelerin hammaddelerinin geri dönüştürülebilir olması ve sürdürülebilirliğinin sağlaması, dünyanın geleceği açısından büyük önem taşımaktadır. Petrol esaslı malzemelerin kullanımı ve bu malzemelerin plansız bir şekilde imha edilmesi, çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük tehlikelere yol açabilmektedir. Ayrıca bu malzemeler, bertaraf edilmeleri sırasında, çevreye ve atmosfere önemli ölçüde zarar veren karbondioksit gibi sera gazları da yaymaktadır. Atmosferde kızıl ötesi ışınları absorbe eden gaz bileşimlerine sera gazı denmektedir. Bu, aynı zamanda sera gazının atmosferdeki ısıyı hapsetmesi anlamına gelmektedir. Dolayısıyla da ısınan atmosfer, sıcaklığın artmasına yol açmaktadır. Bunun sonucunda da küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi istenmeyen durumlar meydana gelmektedir. Halbuki ambalajlamada, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen, biyolojik olarak parçalanabilen malzemeler kullanıldığında, bu tür sorunların oluşumu engellenebilir. Yakın zamanda bildirilen araştırmalarda, yenilenebilir ve biyolojik olarak parçalanabilen malzemeler, çevre dostu yapıları nedeniyle paketleme alanında çok dikkat çekmiştir.

Tüketicilerin atık konusunda bilinçlenmesi, sorumlu bir şekilde alışveriş yapıyor olması ve geri dönüşüme verdikleri önemin artması, endüstri alanında ambalaj firmalarına yapılan baskıyı arttırmaktadır. Sürdürülebilirliğin sağlanması, ürün piyasaya sürülmeden dikkat edilmesi gereken ön şartlardan biridir. Son yıllarda yeni ürün tasarlanırken, birçok tasarım parametresinin yanında sürdürülebilirlik de göz önüne alınmaktadır. Sürdürülebilir, çevre dostu ambalajların müşterinin seçimlerini etkilediği görülmektedir. Ambalaj endüstrisi, ambalajın başlıca görevlerini göz önünde bulundurarak gıda tasarrufu ve atık azaltma konusunda sürekli iyileştirme ve geliştirme çalışmaları yapmalıdır (3). Sürdürülebilir gıda ambalajlarında dönüştürülebilir materyal kullanılması, su kullanımını azaltması, depolama atıklarını azaltması, hava kirliliğine neden olmaması, sera gazı olu-

şumunu engellemesi ve insan sağlığını tehlikeye atmaması gibi birçok avantajı bulunmaktadır. Tedarik zincirinin önemli bir parçası olan ambalajların olumsuz çevresel etkileri göz önünde bulundurulmalı, tedarik zinciri boyunca kullanılan ambalajların sürdürülebilir olmasına dikkat edilmelidir. Sürdürülebilir paketleme için kullanılan malzemeler, biyolojik bazlı olmalı ve bileşenleri biyolojik olarak parçalanabilir olmalıdır. Sürdürülebilir tekstil malzemeleri, her iki koşulu da karşılama potansiyeline sahiptir. Çevresel faydalarının yanı sıra, biyo-esaslı tekstil malzemeleri, ambalaj uygulamalarında ekonomik olarak avantajlı olabilir.

Yeniden kullanılabilir paketlere yönelik artan (çevresel) ihtiyaç, bu pazarda tekstil ürünleri için yeni fırsatlar yaratmıştır. Ambalaj alanında kullanılan tekstiller, teknik tekstil alanına girmektedir.

2.Teknik Tekstiller

Koruyucu olmayan giysiler, ev mobilyaları ve yer kaplamaları dışında kullanılmak üzere, estetik ve dekoratif karakteristiklerinden ziyade öncelikli olarak performans ve özellikleri dikkate alınarak seçilmiş kumaş ve lif bileşenlerinden meydana gelmiş tekstil materyalleri ve ürünlerine "teknik tekstil ürünleri" denilmektedir (4).

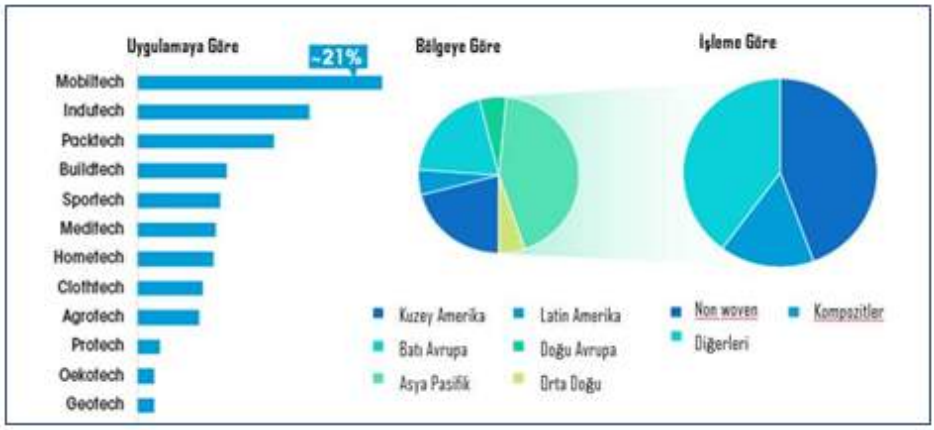
Teknik tekstillerin son kullanım alanlarına göre sınıflandırıldığında on iki başlık altında toplanmaktadır:

1) Zirai tekstiller,
2) İnşaat tekstilleri,
3) Teknik giysiler,
4) Jeolojik tekstiller,
5) Ev tekstilleri,
6) Endüstriyel tekstiller,
7) Tıbbi ve hijyenik tekstiller,
8) Taşıt araçları için tekstiller,
9) Ekolojik tekstiller,
10) Ambalaj tekstilleri,
11) Koruyucu tekstiller,
12) Sportif tekstiller (5).

2.1. Türkiyede ve Dünyada Teknik Tekstil

Teknik tekstil sektörü, dünya tekstil imalat ve ticaretinin önemli bir bölümünü temsil etmektedir. Alandaki araştırmalar, gelişmiş ülkelerdeki elyaf tüketiminin %40'ının teknik tekstil üretiminde kullanıldığını göstermektedir. Teknik tekstiller, ekonomik koşulların iyileşmesi nedeniyle son yıllarda küresel olarak yukarı

yönlü bir trend izlemiştir. Teknolojik gelişmeler, son kullanım uygulamalarının artması, maliyet etkinliği, dayanıklılık, kullanım kolaylığı ve teknik tekstillerin çevre dostu olması, küresel pazarda talebin artmasına neden olmuştur.



Şekil 1. Küresel teknik tekstiller pazarı (2019) (6)

Global teknik tekstil pazarı, 2019 grafiğinde görüldüğü üzere (Şekil 1.) taşıt tekstilleri (mobiltech), endüstriyel tekstiller (indutech) ve ambalaj tekstilleri (pachtech), pazarda en büyük paya sahip alanlardır. İşleme göre ise non-woven ve kompozitler en büyük paya sahiptir.

2. Ambalaj Tekstilleri

Yeniden kullanılabilir paketler ve kaplar konusunda artan çevresel endişe, bu alanda tekstil ürünleri için yeni fırsatlar yaratmıştır. Tekstiller, geleneksel ambalaj malzemelerinden daha hafif ve daha sürdürülebilir olurken, çok güçlü dokuma yapılarına sahip olacak şekilde tasarlanabildiklerinden, yüksek performanslı ambalajların geliştirilmesine de yardımcı olmuştur. Modern malzeme işleme yöntemleriyle birlikte yüksek performanslı tekstiller, gübre, kum, çimento, şeker ve undan boya ve pigmentlere kadar çeşitli toz ve granül ürünlerin daha güvenli bir şekilde taşınması, depolanması ve dağıtımına yönelik yeniliklere olanak sağlamıştır. Ambalaj tekstilleri, içerikleriyle etkileşime giren ve tüketiciyi bozulma riskleri veya ürün uygunsuzlukları hakkında bilgilendiren aktif ve akıllı sistemler gibi yenilikleri de beraberinde getirmektedir. Ambalaj tekstilleri, teknik tekstillerin en önemli alanlarından biridir.

Tekstil ambalajları da, ürünleri taşıma, depolama ve koruma amacıyla kullanılmaktadır (7). Ambalaj tekstilleri, endüstriyel, tarımsal ve diğer mallar için tüm tekstil ambalaj malzemelerini içermektedir (8).

Geleneksel jüt, pamuk veya doğal elyaftan yapılan çuvallar ve çantalar, modern sentetik elyafların kullanımı ile daha da yaygınlaşmıştır. Paketlemede ve sonrasında nakliyede kullanılan bu teknik tekstillere "Paketleme teknik tekstilleri (Packtech)" denir. Bu tekstillerde, ambalajlanacak ürünlerin niteliğine göre farklı özellikler istenebilir. Örneğin, tarım veya bahçecilik için kullanılan ambalaj malzemelerinin temel olarak bariyer özelliklerini karşılaması gerekir.

2.1. Ambalaj Tekstillerinde Kullanılan Lifler ve Kumaşlar

Paketleme amacıyla yaygın olarak kullanılan lifler arasında yüksek yoğunluklu polietilen, düşük yoğunluklu polietilen, polipropilen, polikarbonat, polyester, naylon ve floro polimerler ve jüt, keten, rami, pamuk gibi doğal lifler bulunur. Sentetik elyafların yoğun bir şekilde kullanılması performans, maliyet ve çok yönlülük nedeniyle ambalaj ürünleri yelpazesinin büyümesine yol açmıştır.

Sentetik lifler, özellikle poliolefin lifler. karmaşık uygulamalarda uygulanmaktadır. Modern malzeme işleme teknikleri ile birleştirilen sentetik malzemelerin yüksek mukavemeti, gübre, kum, çimento, şeker ve undan boyarmaddelere kadar çeşitli toz ve granül malzemelerin daha verimli taşınması, depolanması ve dağıtımı için FIBC'lerin (Flexible Intermediate Bulk Container) kullanılmasına olanak sağlamıştır.

Jüt, ambalaj tekstillerinde en çok kullanılan doğal lif olup çoğunlukla Hindistan ve Bangladeş gibi tropikal ülkelerde yetiştirilen bitkisel bir liftir. Üretimi kolaydır ve lifi sağlam ve biyolojik olarak parçalanabilir olduğundan kilim, alışveriş torbaları, un çuvalları ve buğday, pirinç gibi tahılları taşımak için kullanılan çuvallara kadar birçok alanda ambalaj hammaddesi olarak kullanılmaktadır.

Ambalaj tekstilleri, dokuma, örme kumaşlar ve dokusuz yüzeylerden üretilmektedir. Özellikle gıda endüstrisinde, çeşitli ambalajlama ve koruma uygulamaları için daha hafif dokusuz yüzeyler (nonwoven) ve örgü yapıları kullanılmaktadır. Çay ve kahve poşetleri, etler, sebzeler ve meyvelerin paketlenmesinde ise çoğunlukla dokusuz yüzeyler (nonwoven) kullanılmaktadır.

2.2. Ambalaj Tekstillerinin Sınıflandırılması

Tekstil malzemelerinin tüketici ambalajlarında kullanımı aşağıdaki şekilde maddelenebilir (9):

1. Esnek büyük boy torbalar (FIBC)
2. Depolama için çuvallar vb.
3. Paketleri bağlamak için sicim ve şeritler (tarımsal uygulamalar hariç)
4. Kağıt olmayan çay poşetleri ve kahve filtreleri
5. Gıda saklama pedleri

6. Gıda maddelerinin, oyuncakların depolanması, paketlenmesi, taşınması, perakende satışı için kullanılan fileler,
7. Dokuma askılar (elyaf çemberleri), hafif posta çantaları.
8. Yumuşak bavullar.

2.2.1. Esnek Büyük Boy Büyük Torbalar (FIBC)

FIBC'ler, toz ve granül maddelerin nakliyesi ve depolanması için en uygun maliyetli ve ideal paketleme türlerinden biridir. Bu torbalar, kimyasallar, gıda maddeleri, mineraller, tahıl, yapı malzemeleri vb. toz ve granül malzemeler için uygundur. Big Bag'ler, tüp şeklinde veya düz polipropilen (PP) dokuma kumaşlardan üretilir. Bu kumaşlar hem kaplanmış hem de kaplanmamış olabilir ve gramajları da değişiklik gösterebilir. FIBC'ler, çanta özelliklerine ve taşınacak ağırlığa bağlı olarak ağırlık olarak 900 gr ile 3 kg arasında değişebilir.

Üç tip FIBC torba vardır: Panel tipi, dairesel dokuma tipi, bölme tipi (Kare torba). Bu torbalar 500-4000 kg arasında değişen kapasitelere sahiptir.



Şekil 2. FIBC torbaları

FIBC'nin Avantajları:

1. Malzeme israfı dahil, üreticiden son kullanıcıya kadar düşük malzeme taşıma maliyeti
2. Kolay doldurma ve boşaltma
3. Taşıma kolaylığı nedeniyle yükleme/boşaltma süresinde tasarruf
4. Taşıma için düşük ağırlıkta ambalaj
5. Nominal yükte en az 5:1 güvenlik faktörüne sahiptir
6. Boş FIBC'lerin taşınması ucuzdur ve yerden tasarruf sağlar
7. Küçük torbalara kıyasla palet gereksinimi yoktur - kendi kendini destekler
8. İyi kimyasal ve organik direnç
9. Ürün geri dönüştürülebilir olduğundan çevre dostu
10. Açık havada depolama için kullanılabilir (UV stabilize edilmişse)

2.2.2. Depolama için Çuvallar vb.

Poliolefin dokuma çuvallar, çimento, gübreler, termo plastik hammaddeler, gıda taneleri, şeker, gübreler, kimyasallar, gıda taneleri, sığır yemi, tuzun ambalajlanmasında yaygın olarak kullanılan çok yönlü ambalaj malzemeleridir. Poliolefin dokuma çuvalların avantajları şunlardır: Daha yüksek mukavemet, hafiflik, minimum sızıntı, nem geçirmez, uzun ömürlü (dayanıklı) ve daha ucuzdur.

Jüt çuval çanta, tarım endüstrisi için popüler ve çevre dostu bir paketleme çözümüdür. Patates, soğan, sebze veya diğer tarımsal ürünlerin paketlenmesi için idealdir (10). Çünkü bu çanta tekrar kullanılabilir, uzun ömürlü, nefes alabilen ve çevre dostu bir çantadır. Agro bazlı üründen özel olarak üretilen jüt Hidro Karbon torba olarak da adlandırılan jüt çuval torbası, hidrokarbon kontaminasyonu ve kerosen kokusundan tamamen arındırılmıştır. Bu çantalar yüksek standartta uluslararası kalitede jüt çantadır.



Şekil 3. Poliolefin ve jüt çuvallar

2.2.3. Paketleri vb. bağlamak için sicim ve ip (tarımsal uygulamalar hariç)

Her türlü ambalaj için kullanılır. Yüksek düğüm mukavemeti, yüksek yükleme mukavemeti ve düşük uzama özelliği ile çözülmeyi önler, yüksek yükleri kaldırırken kopmaz. -Sürtünmeye karşı dayanıklıdır.



Şekil 4. Sicim

2.2.4. Kağıtsız Çay Poşetleri ve Kahve Filtreleri

Çay ve kahve poşetleri Filipinler'de yaygın olarak yetiştirilen Abaca ağacının selüloz liflerinden üretilir.

Isıyla yapıştırılmış poşet çay kağıdı, genellikle, çay poşeti yüzeyinin iç tarafında bileşen elyafı (%100 dokumasız teknik tekstil) olarak PVC veya polipropilen gibi ısıyla yapıştırılabilen bir termoplastik içerir. Çay poşetleri yapımında kullanılan filtre kağıdı 12-17 GSM dokumasız malzemedir. Isı yalıtımlı tip çay poşeti kağıdı yaklaşık 16.5 ila 17 GSM'dir, ısıyla yapıştırılmamış çay poşeti kağıdı ise yaklaşık 12 – 13 GSM'dir.



Şekil 5. Çay poşetleri ve kahve filtresi

2.2.5. Gıda Saklama Pedleri



Şekil 6. Gıda pedleri

Sağanak pedler, yiyecek tepsilerindeki ürünlerden fazla kan ve nemi emmek için tasarlanmıştır. Bu, ürünün ambalajın üzerine veya dışına sızmasını önler. Et ürünlerini patojen riskinden korur ve böylece ürünlerin raf ömrünü belirgin derecede uzatır ve gıda güvenliği sağlanmış olur.

2.2.6. Gıda Maddelerinin, Oyuncakların vb. Depolanması, Paketlenmesi, Taşınması, Perakende Satışı için Kullanılan Fileler (Leno Çantalar)

Leno Torbalar, soğan, sarımsak, patates, havuç, zencefil, portakal, ananas vb. gibi çeşitli tarım ürünlerinin ambalajlanmasında yaygın olarak kullanılabilir.

Sebzeler için çuval, torba ve tüp şeklinde fileler ve meyveler için boru şeklinde paketleme ağları kullanılabilir. Yassı şerit iplikler kullanıldığı için yumuşak meyvelere uygulanan basınç da diğer ambalaj malzemelerine göre çok daha azdır ve istenilen gözenekli yapıda üretilebilirler.

Leno Torbalar, havanın torbadan geçmesine izin vererek ürünün taze kalmasına yardımcı olur. Yüksek mukavemetleri, düşük ağırlıkları, hava geçirgenliği, şeffaf olmaları ve uygun maliyetli yapıları ile diğer malzemelere göre üstün bir ambalaj alternatifi sunarlar. Bu kumaşlar, Rachel örme tekniği ile elde edilebilirler (10).



Şekil 7. Leno poşetleri

Leno Torbanın Avantajları: Üstün estetik, mükemmel mekanik özellikler, kimyasal olarak inert, taşıma ve saklama kolaylığı, yeniden kullanım ve geri dönüştürülebilir, uygun maliyetli, kuru kabuklu sebzelere (Patates, Soğan, Sarımsak vb.) uygun, soğukta muhafazaya uygun.

2.2.7. Dokuma Askılar (Elyaf Çemberleri), Hafif Posta Çantaları

Balyaları paketlemek için dokuma çemberler de kullanılmaktadır. Gerilim altında kesildiğinde tehlikeli olabilecek metallerin yerine dar dokuma polipropilen çemberler artık popülerlik kazanmaktadır.



Şekil 8. Dokuma askılar

2.2.8. Yumuşak Bavullar

Yumuşak bavullar, naylon ve polyester gibi dokuma kumaşlardan yapılmıştır. Tekerlekli ve kulplu veya tekerleksiz olabilen dikmeler, çantalar, spor çantalar ve gökyüzü çantalarından oluşur. Yumuşak bavullar, hafif ve esnek olduğu için taşıma kolaylığı nedeniyle günümüzde çok popüler hale gelmiştir. El çantaları, askeri sırt çantaları, atletik sırt çantaları, cüzdanlar, evrak çantaları ve diğer yumuşak taraflı bagaj eşyalarını içerir (11).



Şekil 9. Yumuşak bavullar

Hassas eşyaların çizilmeden ve güvenli bir şekilde taşınmasını sağlamak için bölmeli tekstil kutuları/paketleri de ideal bir seçenektir. Bu kutular/paketler, otomotiv endüstrisinde lamba grupları, çamurluklar vb. gibi hassas bileşenlerin taşınması için çok kullanışlıdır.

2.3. Ambalaj Tekstillerinin Sürdürülebilirliği

Sürdürülebilirlik kelimesinin kökeni Latince "sustenere" (sürdürmek) kelimesine dayanmaktadır. Dilimize ise İngilizce "sustainability" kelimesinin karşılığı olarak yerleşmiştir. Sürdürülebilirlik; kaynakların sömürülmeden tüketilmesi, tüketilirken yerine çevreyi bozmadan yenisinin üretilmesi, kısaca tüm değişimlerin uyum içinde olduğu, insan ihtiyaç ve isteklerini karşılayabilme potansiyelinin hem günümüzde hem de gelecek için korunduğu, tüm eylemlerin dengeli bir ortamda gerçekleştirildiği süreç olarak tanımlanabilir.

Dünya kaynakları maalesef sınırlıdır. Bu nedenle kaynakların fütursuzca kullanılması ve üretim sırasında ve sonrasında oluşan atıklar ve kirleticilerin yarattığı sorunlar, sürekli gündeme gelmektedir (12). Küresel ısınma ve kaynakların adeta sonsuzmuş gibi kullanılmasına bağlı olarak Dünya'da meydana gelen olumsuz iklim koşulları, doğal felaketler, insanların tedbir almasını zorunlu hale

getirmiştir. Özellikle gelişmiş ülkeler, bu konuda bazı kurallar koymaya başlamışlardır.

Yakın zamanda yapılan bir araştırma, dünya çapındaki tüketicilerin %72'sinin çevre dostu markalardan satın almayı tercih ettiğini göstermektedir. Bunun sonucu olarak, firmaların çevre dostu üretim yaptıklarını belgelendirmeleri için sürdürülebilirlik standartları, etiketler ve sertifikalar gibi çeşitli uygulamalar ortaya çıkmıştır (13).

Ülkelerin gelişmişlik derecesi, teknolojik gelişmeler ve nüfus artışına paralel olarak ambalaj atık miktarı da sürekli olarak artmaktadır. Sonuçta her tür tüketim ürünündeki ambalaj malzemesi miktarının günden güne artması, ambalaj malzemeleri ile tıka basa dolu çöp alanlarının oluşmasına neden olmaktadır. Ekonomik açıdan, göz ardı edilemez bir değer olan ambalaj atıkları, çöp olmaktan çıkarılıp, yeniden değerlendirme yoluna gidilmesi hem ekonomik yönden, hem de çevre kirliliğinin giderilmesi açısından son derece yarar sağlayacaktır.

Ambalaj malzemesinin sürdürülebilirliğini artırmak için çeşitli yöntemler mevcuttur. Ambalaj filmini incelterek ihtiyaç duyulan hammaddeyi azaltmak ya da ambalaj üretimi için kullanılan malzeme miktarını en aza indirecek şekilde ambalajı tasarlamak gerekmektedir. Her ikisi de daha hafif paketlemeye ve dolayısıyla malzeme kaynaklarında, maliyetlerde ve enerjide azalmaya yol açar (14). Bu yaklaşımı kullanmak, çoğunlukla fosil hammaddelerden elde edilen plastik miktarını azaltır. Diğer bir yöntem, tüketici sonrası geri dönüştürülmüş malzeme veya yeniden kullanılabilir ambalaj kullanmayı, böylece ambalaj malzemesinin geri dönüşümünü artırmayı içerir (14,15). Bu yöntemler sonucunda ambalaj malzemelerinin yine yakılarak ya da çöp depolama alanlarına atılarak bertaraf edilmesi gerekmektedir. Ancak bu yöntemlerle ilgili olarak, biyolojik olarak parçalanamayan ambalaj malzemelerinin yakılması sırasında ortaya çıkan sera gazlarının hem insan sağlığını hem de çevreyi tehdit etmesi gibi bazı endişeler bulunmaktadır (16,17,18). Bu nedenle, organik, kimyasal veya mekanik olarak geri dönüştürülebilen yenilenebilir kaynaklardan elde edilen biyo-tabanlı malzemelere ihtiyaç bulunmaktadır (19).

Tekstil malzemeleri toprağa gömüldüklerinde, toprakta bulunan mikroorganizmalar tekstil malzemelerinin bozulmasına katkı sağlamaktadır. Buna doğada çözünürlük ya da biyobozunurluk (biyolojik bozunma) adı verilmektedir (20, 21).

3. Sonuç ve Öneriler

Küreselleşme ve sanayileşme çağında, sadece kalkınma değil, aynı zamanda dikkate alınan çevre kirliliği de büyük endişe kaynağıdır. Küresel ısınma ve ekolojik değişiklikler, araştırmacılara sürdürülebilir kalkınmayı dikkate alan yeni materyal ve teknikleri geliştirme konusunda çalışmaları yönünde itici güç olmuştur.

Atıkların çevreye duyarlı ve ekonomik biçimde uzaklaştırılması ya da yok edilmesi ihtiyacı; sürdürülebilir katı atık yönetimi kavramının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Çünkü katı atık yönetimi, geri kazanımı ve kaynakların etkin kullanımını esas alan, sürdürülebilir bir unsurdur. Geri kazanımla birlikte ürünlerin hem hammadde maliyetlerinde hem de üretim maliyetlerinde önemli tasarruflar elde edilecektir. Sürdürülebilirliğin temelini oluşturan kaynakların etkin bir şekilde kullanılması, bu şekilde gerçekleşmiş olacaktır (22).

Ambalajlama işlemlerinde kullanılan malzemelerin seçiminde de geri dönüştürülebilir olması, doğada kendiliğinden yok olması ya da çevreye zarar vermeyen bir hammadde olması, dünyanın geleceği açısından büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda yaşanan küresel ısınma, salgın hastalıklar, doğal felaketler, artan nüfus, tüketim alışkanlıklarının değişmesi ve kaynakların giderek azalması; özellikle farkındalık düzeyi gelişmiş toplumlarda gelecek endişesi yaratmaktadır. Bu felaketlerin daha büyük felaketlere yol açmaması için bazı ülkeler, çeşitli yaptırımlarla tedbir alma yollarını aramaya başlamışlardır. Bu tedbir kararlarının diğer ülkelere örnek teşkil etmesi ve tüm Dünya'nın bu konuda ortak bir akılla üretim ve tüketim davranışlarını değiştirmeleri gerekmektedir. Ancak o zaman Dünya'nın geleceğine umutla bakmak mümkün olacaktır. Her şeyden once doğal kaynakların çok verimli kullanılması gerekmektedir. Kullanılan ambalajlar, atık haline geldiğinde türlerine göre ayrılmalı ve geri dönüştürülmelidir. Geri dönüştürülen hammaddeler ise ikincil hammadde olarak kullanılmalıdır. Böylece hammaddelerin kullanımı azaltılarak kıt olan kaynakların etkin bir şekilde değerlendirilmesi mümkün olacaktır.

Geri dönüşüm, sürdürülebilirliğin sağlanması için gerekli bir işlemdir. Geri dönüşümle birlikte endüstriyel işlem sayısı azalacağından enerji kullanımı da azalacaktır. Örneğin kullanılmayan tekstillerin yeniden lif, iplik ve kumaş haline dönüştürülüp yeni ürünlerin üretimi mümkün olmaktadır. Birçok bilinen marka bu uygulamayla geri dönüştürülmüş malzemelerden ürün üreterek pazarlamaktadır. Aynı uygulama, ambalajlamada kullanılan malzemelerle de yapılabilmektedir. Bu durum aynı zamanda ekonomiye de katkı sağlamaktadır. Oluşan atık miktarı, yine geri dönüşümle birlikte minimize edilebilmektedir. Gelecek nesillere daha iyi bir gelecek ve yaşanabilir bir Dünya bırakmak için her insanın sürdürülebilirlik faaliyetlerinde üzerine düşen görevleri yerine getirmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

1. Samanta K. K., Basak S., Chattopadhyay S.K. (2015). Potentials of Fibrous and Nonfibrous Materials in Biodegradable Packaging, Environmental Footprints of Packaging, pp 75-113.
2. Kıran Öztürk İ. (2011). Sürdürülebilir Bir Topluma Ambalajın Katkısı, Ambalaj Bülteni, S. 66-70.
3. Stassinopoulos, A. (2009). Sürdürülebilir ambalaj mı? O da neymiş? Ambalaj Bülteni Eylül-Ekim, 2009. S: 58-60. Erişim adresi:

http://www.ambalaj.org.tr/files/Ambalajbulteniicerik/cevre/eylul-ekim-2009-cevre.pdf

4. McIntyre J., Daniels P.N. (1995). Textile Terms and Definitions, 10th edition, Manchester, The Textile Institute.
5. Mecit D., Ilgaz S., Duran D., Basal G., Gülümser T., Tarakçıoğlu I. (2007). Teknik Tekstiller ve Kullanım Alanları (Bölüm 1) Tekstil ve Konfeksiyon, Cilt:17, Sayı: 2, s.79-82, Izmir.
6. Anonim, (2021). TR33 Bölgesi Teknik Tekstil Üretim Yol Haritasi, Zafer Kalkınma Ajansı (www.zafer.gov.tr)
7. http://www.textilesintelligence.com/tisttm/index.cfm.
8. http://www.technicaltextile.net/packaging-textiles/
9. http://www.bch.in/index.html
10. http://butekom.com/docs/sunumlar/2013.10.09_Teknik_Tekstil/Ambalaj_Tekstilleri Ali_Ruzgar.pdf
11. http://textilelearner.blogspot.com.tr/2013/01/packtech-textile-packaging-material.html
12. İlleez A.A., Yarar E. (2021). Tekstil ve Hazır Giyim Sektöründe Çevresel Yönelik Çalişmalar; Sürdürülebilirlik, Çevre Sorunları, İksad Yayınevi, Ankara, 195-214.
13. Diekel F., Mikosch N., Bach V., Finkbeiner M. (2021). Life Cycle Based Comparison of Textile Ecolabels. Sustainability,13,1751. https://doi.org/10.3390/su13041751).
14. Anonymous, 2018. Sustainability Report. Available online: https://www.amcor.com/sustainability/reports (accessed on 11 March 2020).
15. Geueke B., Groh K., Muncke J. (2018). Food packaging in the circular economy: Overview of chemical safety aspects for commonly used materials. J. Clean. Prod. 193, 491–505.
16. Davis G., Song J. (2006). Biodegradable packaging based on raw materials from crops and their impact on waste management Ind crops and Prod, 23 (2), pp. 147-161.

17. Rhim J-W., Perry K. W. Ng. (2007). Natural biopolymer-based nanocomposite films for packaging applications Crit Rev Food Sci Nutr, 47 (4), pp. 411-433
18. Petersen K. et al. (1999). Potential of biobased materials for food packaging. Trends Food Sci Technol, 10 (2), pp. 52-68.
19. Reichert C.L. et al. (2020). Bio-Based Packaging: Materials, Modifications, Industrial Applications and Sustainability. Polymers, 12, 1558. https://doi.org/10.3390/polym12071558
20. Park H.C., Kang K.Y., Im S.S. (2004). Biodegradability of Cellulose Fabrics. Journal of Applied Polymer Science, Vol. 94, 248–253.
21. Üçgül İ., Özdemir Küçükçapraz D., Elibüyük U. (2015). Selüloz Esaslı Tekstil Maddelerinin Biyobozunurluğu ve Toprağa Gömme Testi, Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi, Cilt: 5, Sayı: 2, Sayfa 60-67.
22. Akdoğan A., Güleç S. (2007). Sürdürülebilir Katı Atık Yönetimi ve Belediyelerde Yöneticilerin Katı Atık Yönetimiyle İlgili Tutum ve Düşüncelerinin Analizine Yönelik Bir Araştırma, H.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 25, Sayı 1, s. 39-69.

✔ 6. Bölüm

SİLİSYUM NİTRÜR ESASLI SERAMİKLER VE YENİ TİP SİNTERLEME KATKILARININ ETKİLERİ

Fatih ÇALIŞKAN[1]

1 Prof. Dr. Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji, Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Seramik kelimesi, Yunanca pişirilmiş eşya manasına gelen "keramos" kelimesinden gelmektedir. Seramik üretimi eski çağlardan beri gerçekleştirilmekte olup arkeolojik buluntular seramik üretimini M.Ö 6500 yıllarına kadar dayanabileceğini ortaya koymuştur Geçkinli (1992). Yüzyıllar önce çömlekçilik olarak başlayan seramik çalışmaları, günümüzde birçok sanayi dalının üretim teknolojisine önemli katkısı olan bir bilim dalıdır. Seramik, doğada bileşikleri halinde bulunan elementlerin, uygun karışımlarının, ısı enerjisinden yararlanarak ürün elde etmek, şeklinde tanımlanabilir. Bu tanım çömlek, yapı malzemeleri, porselen refrakter ürünler, yalıtkan malzemeler, cam, çimento, emaye, abrasif (aşındırıcı), kesici, kapasitör ve piezo-elektrik (kuvars kristalleri ile ultra ses eldesi) malzemeleri kapsar Doğan (2000). İleri teknoloji seramikleri, alışılmış seramiklerin aksine oldukça basit yapıdadır. Saf halde metal oksit, karbür ya da nitrürden oluşurlar. İleri teknoloji seramik taksitler, karbürler, nitrürler ve borürler olarak sınıflandırılmaktadır. Tablo 1'de bazı ileri teknoloji seramiklerin özellikleri verilmektedir Geçkinli (1992).

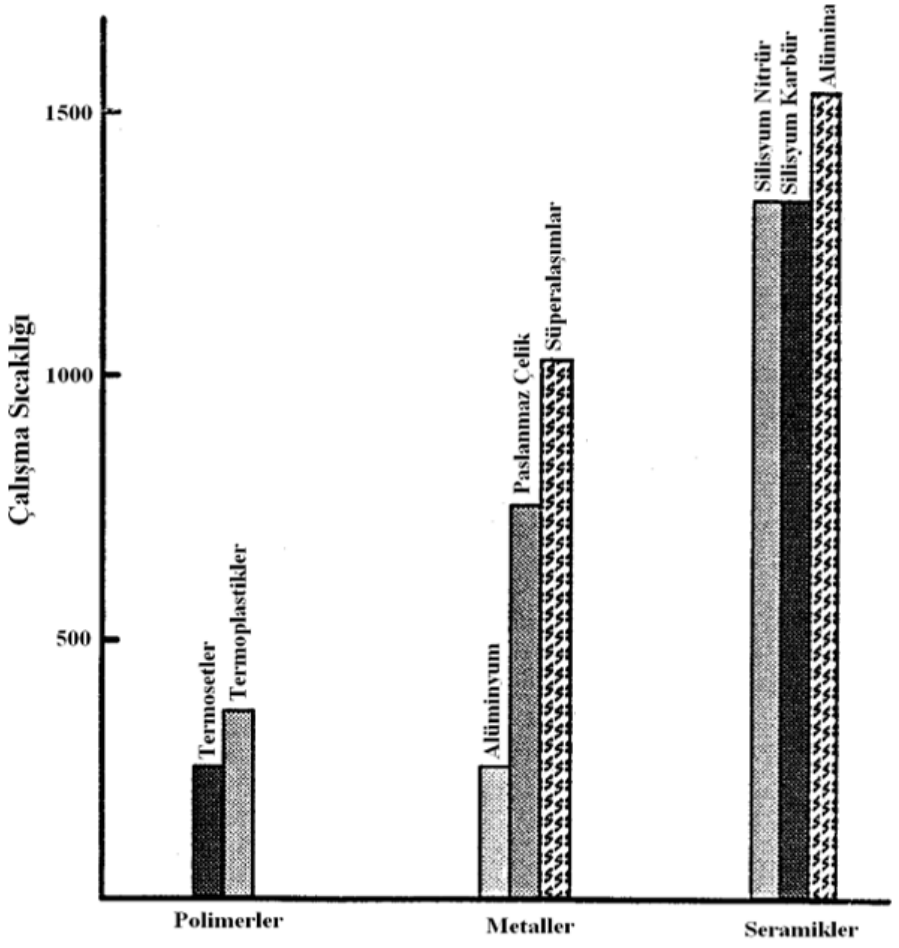
Tablo 1. Bazı İleri Teknoloji Seramikleri Özellikleri Geçkinli (1992)

Malzeme	**Ergime sıcaklığı (^{0}C)**	**Yoğunluk (g/cm^3)**	**Mukavemet (MPa)**	**Elastik Modül (GPa)**	**Sertlik (Kg/mm^2)**	**Tokluk (K_{ic})**
Al_2O_3	2050	3,96	250-300	36-40	1000-1600	4,5
ZrO_2	2700	5,6	113-130	17-25	1200	6-9
SiC	3000	3,2	310	40-44	2800	3,4
Si_3N_4	1900	3,24	410	30,7	1300	5,0
WC	2700	15,7	350-550	54-70	2000	5-8

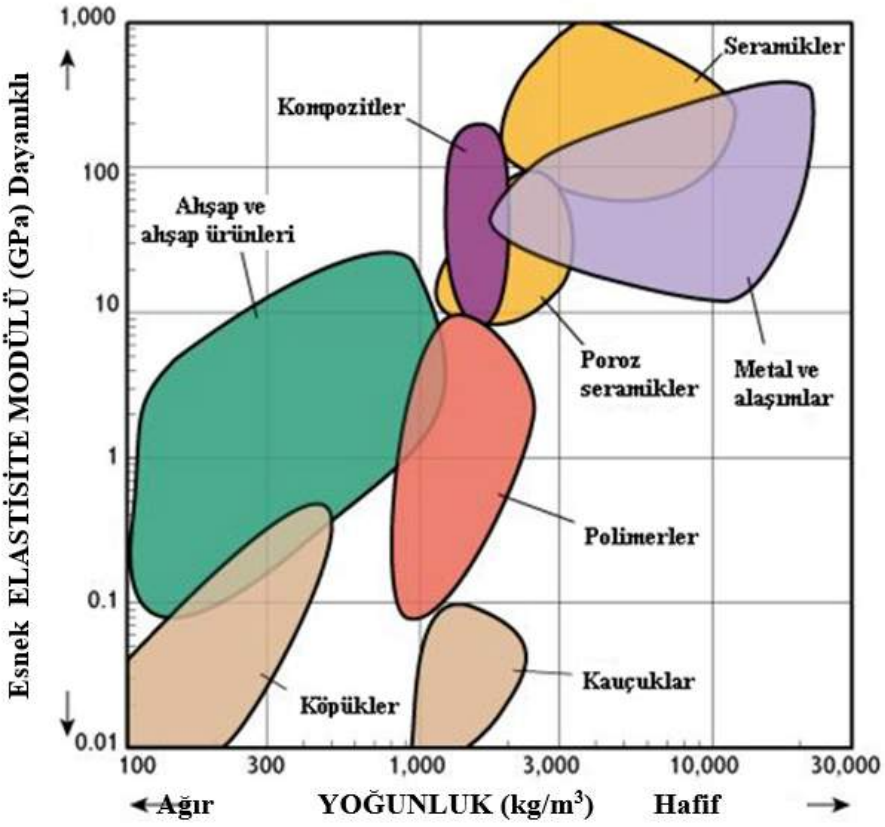
İleri teknoloji seramik ürünler, genellikle toz metalurjisi yöntemiyle üretilmektedir. Mühendislik seramiği de denilen bu tür seramiklerin günümüzdeki en yaygın kullanım alanları abrazif uygulamalar, yüksek sıcaklık uygulamaları, mekanik dayanım gerektiren (kırılma tokluğu, darbe direnci vs hariç) alanlardır. Sahip oldukları özelliklerden dolayı üstün performans gerektiren uygulamalar için geliştirilmiş mühendislik malzemeleri olarak kabul edilmektedir Ziegler (1987), Doğan (2000). Wild (1972a), Riley (2000).

Seramiklerin kırılma tokluğu, metallerle karşılaştırıldığında son derece düşük olması en büyük dezavantajıdır. Seramiklerde yapısal hataların sayısını minimize etmek önemlidir ve aynı zamanda ham maddenin ve prosesin dikkatli kontrolüyle belirli kritik hata büyüklüğünden daha küçük hata seviyelerine düşebilir. Bununla birlikte, çevrenin etkisi, termal yük, mekanik yük vb. sonucunda kırılma hasarlar

oluşabilir. Bu yüzden çatlak büyüklüğü ve çatlak dağılımı ile başa çıkılmalıdır Chawla (1993).



Şekil 1. Seramikler, metaller ve polimerlerin çalışma sıcaklığı sınırları Chawla (1993)



Şekil 2. Bazı malzemelerin elastik modül-yoğunluk özelliklerine göre karşılaştırılması (http://mechanicaldesign101.com/page/3/)

1.1. Silisyum Nitrür Esaslı Seramikler, Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Silisyum nitrür ilk olarak 1857'de Devilleve Wohler tarafından bahsedilen sonrada 1910'da Werss ve Engelhardt tarafından silisyumun azot atmosferinde 1320°C'nin üzerine ısıtıldığında üzerinde mavimsi beyaz renkle bir kaplama oluşumu gözlenmiştir. Kimyasal formülü Si_3N_4'tür. 1950'lere kadar araştırmacılar için Si_3N_4 kimyasal açıdan bir merak konusu olmaya devam etmiş 1950'lerde refrakterlik özelliği ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda, iyi termal kararlılığa sahip olan silisyum nitrür, termokuple tüpler, eriyik metaller için potalar ve aynı zamanda roket nozülleri için geliştirilmiştir Robert (1999), Sorrel (1986).

1.1.1. Kristal yapısı

Leslie ve Ark. (1952) tarafından silisyum çeliklerinden çıkarılan ortorombik silisyum nitrüründen farklı olarak elde edilen X- ray difraksiyon grafikleri farklı hegzagonal tipi olarak rapor edilen iki silisyum nitrür formunun varlığı ilk kez

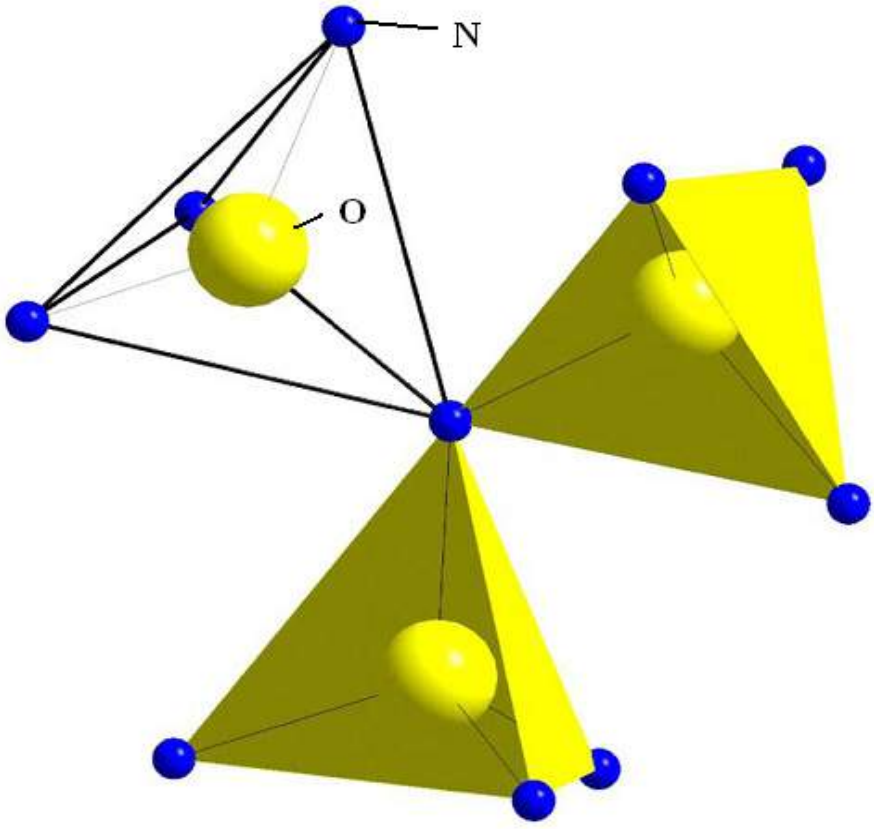
Vassiliou ve Wilde tarafından (1957) kanıtlanmıştır Vassiliou (1957), Turkdogan (1958).

Turkdogan ve Ark. (1958) silisyumun nitrürlenmesinin sıcaklık ve zamana bağlı XRD grafiklerinin nasıl değiştiğini, 1600°C'nin üzerinde uzun süre sonunda bazı piklerin nasıl tamamen kaybolduğunu tanımlamışlardır. Kalan silisyum nitrür β olarak tanımlanmış ve açık bir şekilde tamamen kaybolan ve düşük sıcaklık formu olan ise α formudur. Her ikisi de aynı kimyasal kompozisyona sahip olup aynı yoğunluklar ölçülmüştür (3.19 ± 0.01g cm-3). Hardie ve Jack, Turkdogan ve arkadaşlarının numunelerini kullanarak XRD grafiklerini incelemiş her iki yapının da hegzagonal olduğunu belirlemiştir. Asıl fark α formunun c parametresi yaklaşık olarak β'nın iki katı olmasıdır (Tablo 2) Hardie (1957).

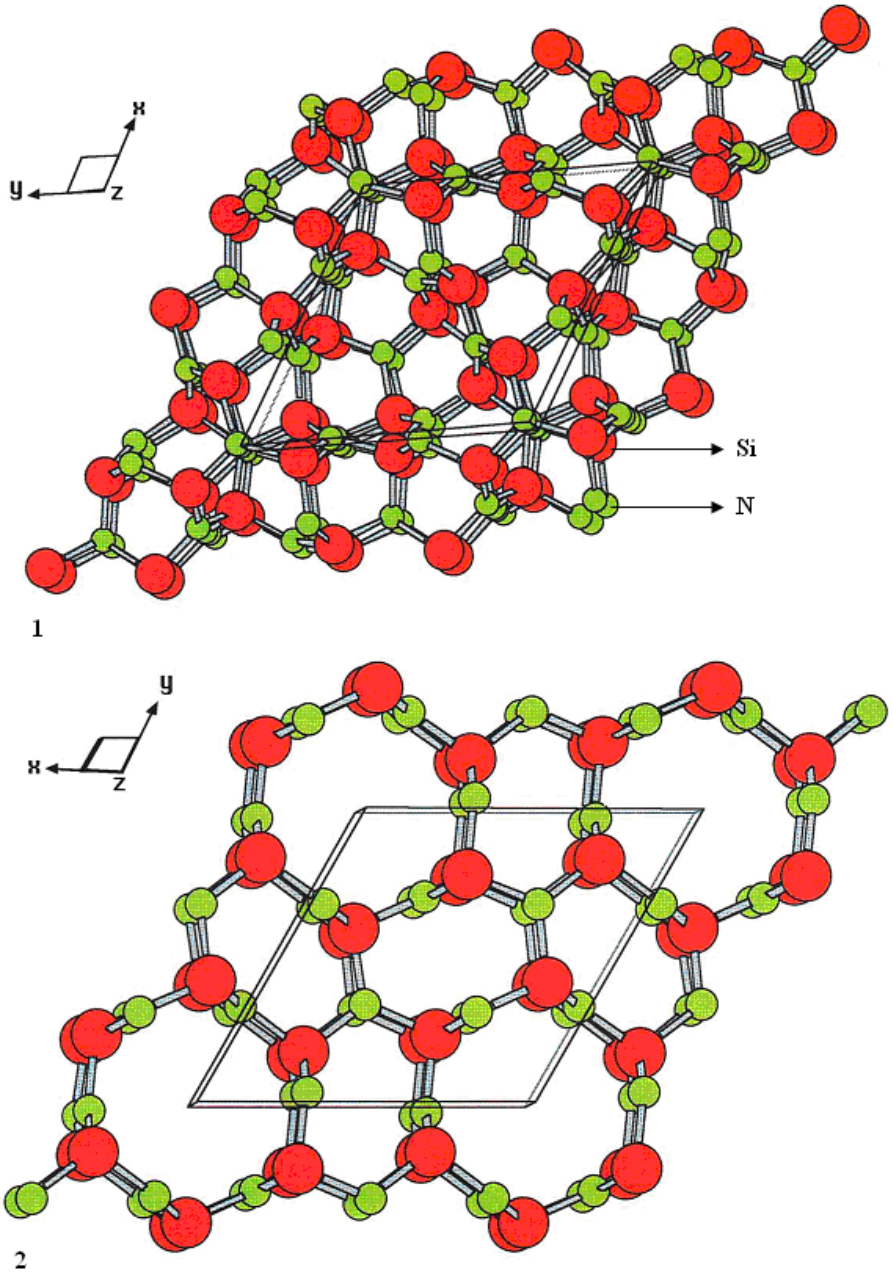
Tablo 2. α ve β silisyum nitrürlerin birim hücre parametrelerinin karşılaştırılması Hardie (1957)

Silisyum Nitrür	Birim Hücre İçeriği	a(Å)	c(Å)	c/a	V(Å3)	Hesaplanan Yoğunluk (g m^{-3})
α (P31c)	$Si_{12}N_{16}$	7.748	5.617	0.7250	292.0	3.184
β ($P6_3$/ $P6_3$/m)	Si_6N_8	7.608	2.9107	0.3826	145.9	3.187

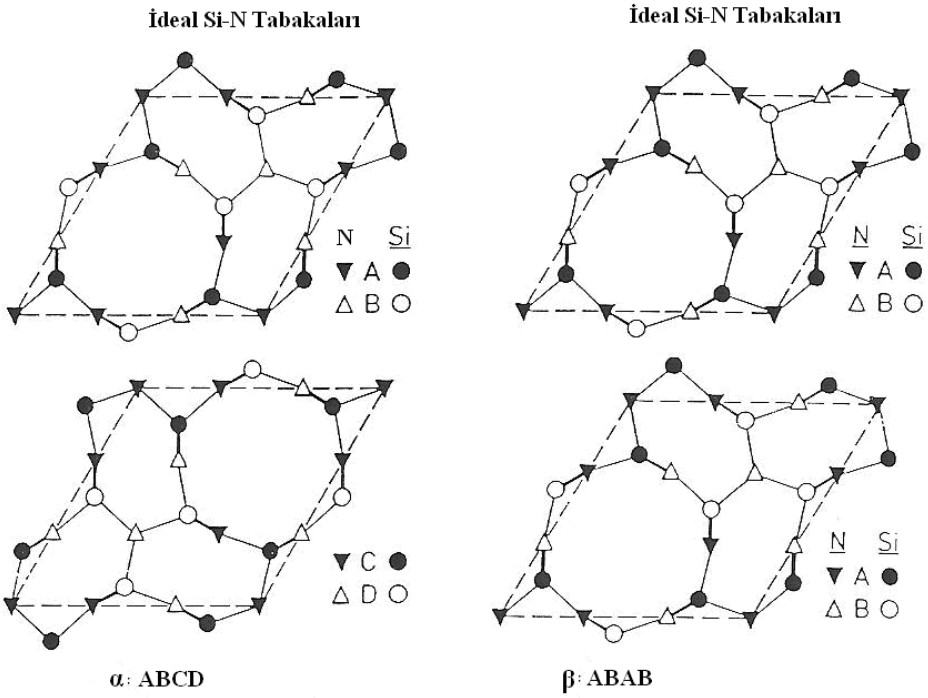
Tam yapı ise β– Si_3N_4 için $P6_3$/m'dir. Bu yapı fenasit tipi temelli olup, Be_2SiO_4, burada O atomları N atomlarıyla ve Be atomları Si atomlarıyla yer değiştirir. Atomların birleşmesi her bir azotun tetra hedra ile ortak olduğu köşeler azot atomları tarafından paylaşılarak birleşmiş (hafifçe distorsiyona uğramış) SiN_4 tetra hedrasının çatısının oluşumuna sebep olur. β yapısı Şekil 3'de değişen Si ve N atomlarının tabakalı halkalarından oluştuğu ve atomsal dizilimleri farklı şekillerde gösterilmiştir (Hampshire, 1978). Şekil 3'de Si_3N_4 yapısının bir parçasının şematik görünümü verilmiştir. Şekil 4'de ise α-Si_3N_4 (P31c) trigonal kristal yapısı, z ekseni boyunca görünümü ve β -Si_3N_4 ($P6_3$) trigonal kristal yapısı, z ekseni boyunca görünümü verilmiştir Smrcok (2006).



Şekil 3. Si_3N_4 yapısının bir parçasının şematik görünümü
(merkezdeki büyük atomlar Si, kenarlardaki küçük atomlar N) Smrcok (2006)

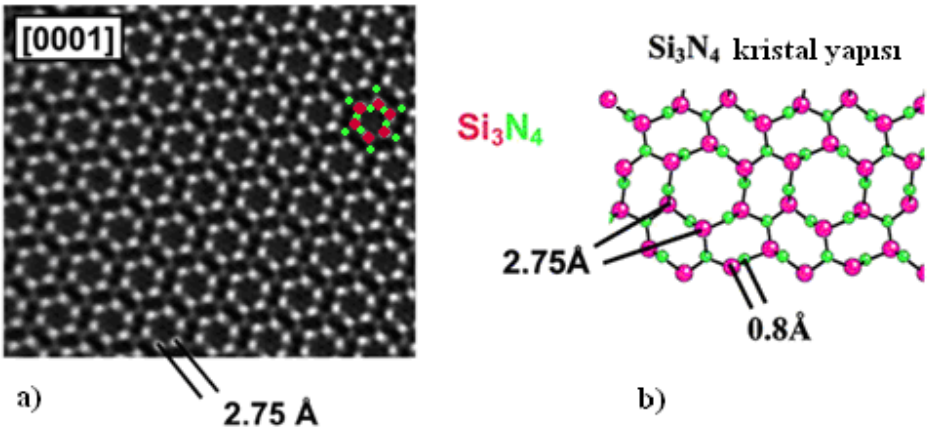


Şekil 4. 1 numaralı şekil α- Si_3N_4 (P31c) trigonal kristal yapısı. z ekseni boyunca görünümü (Si atomları kırmızı, N atomları yeşil) 2 numaralı şekil β - Si_3N_4 ($P6_3$) trigonal kristal yapısı. z ekseni boyunca görünümü (Si atomları kırmızı, N atomları yeşil) Dressler (1997)

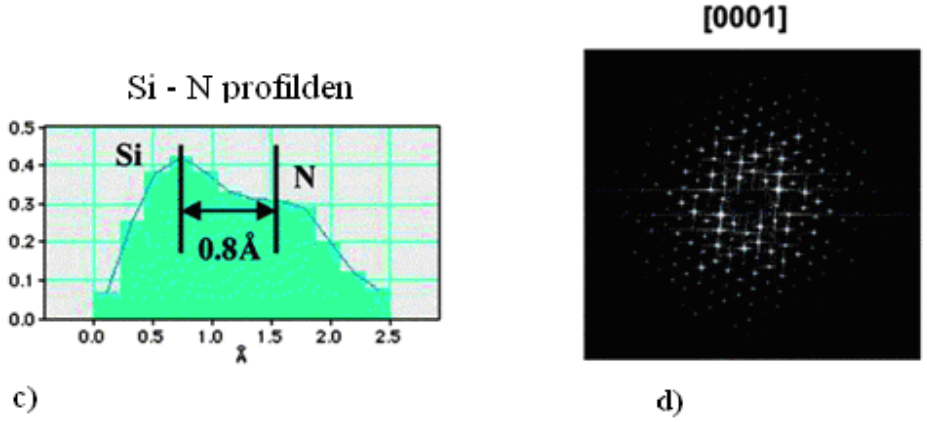


Şekil 5. Si-N tabakalarının ideal dizilimleri
(a) α- Si_3N_4, (b) β- Si_3N_4 Robert (1999), Yan (1998)

Çünkü oransal yükseklikleri z= 0.25 ve 0.75 olup, bu birleşmiş halkalar ABAB istif sırasıyla tabakalı ve Şekil 4'de görüldüğü gibi c yönünde uzun sürekli kanallardan oluştuğu düşünülebilir Redington (1989, 1991), Dressier (1997). Alfa silisyum nitrür yapısı daha zıt bir durumdadır. Hardie, (1957) α-Si_3N_4 yapısını P31c yapısı olarak belirlemiştir. β yapısındaki atom tabakaları ABAB sırasıyla [001] yönünde bağlandığı yerde α yapısı ABCDABCD sırasına sahiptir. Şekil 5'de görüldüğü gibi CD tabakası AB tabakasına benzer olmakla birlikte sadece AB tabakasının c ekseni üzerinde 180° döndürülmüş halidir. Uzun sürekli kanallar (β (ABAB) formunda görüldüğü gibi) bu yüzden iki büyük boşlukta kapanır. Atomlar ise 1/3, 2/3, 3/8 ve 2/3, 1/3, 7/8 'de koordinatlarına merkezlenir Wild (1972 b), Hardie (1957), Redington (1989). Şekil 6'da Silisyum nitrürün kristal yapısının yeniden yapılandırılmış resmi, yeniden yapılandırılmış resmin daha iyi görülebilmesi için kristal yapının bilgisayar simülasyonu, Si_3N_4 kristal yapısının tasarı resmi, Si_3N_4 atomlar arası mesafe ve Angstrom altı bölgede kafes resmi görülmektedir Ziegler (2002).



Si_3N_4 yapısının bilgisayar simülasyonu



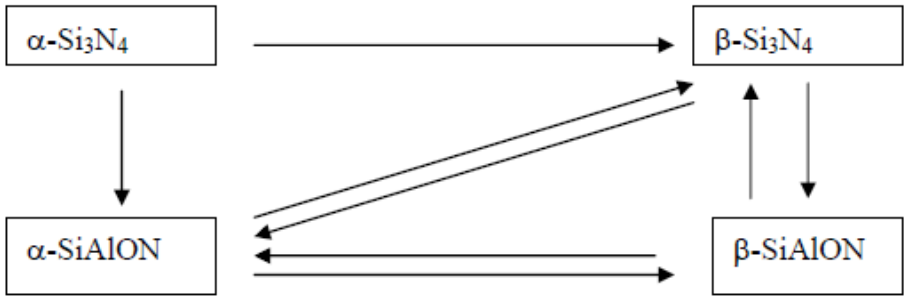
Şekil 6. a) Si_3N_4 kristal yapısının yeniden yapılandırılmış resmi b) yeniden yapılandırılmış resmin daha iyi görülebilmesi için kristal yapının bilgisayar simülasyonu, Si_3N_4 kristal yapısının tasarı resmi c) Si_3N_4 atomlar arası mesafe d) Angstrom altı bölgede kafes resmi Ziegler (2002)

1.1.2. α → β Silisyum nitrür faz dönüşümü

Silisyum nitrürdeki α→β faz dönüşümü kafes yapısının yeniden inşasını gerektirir. Bu tür dönüşüm prosesi genellikle dönüşen malzeme bir çözücü ile temas halinde olduğunda oluşur. Daha kararsız formun daha büyük çözünürlüğü, onu solüsyonun içine doğru çözünmeye iter ve sonra daha kararlı ve daha az çözünürlüklü başka bir faz çökelir. Bu proses buhar fazında farklıdır. Silisyum nitrürün sıvı faz sinterlemesi sırasında 1400°C ve üzerindeki sıcaklıklarda orijinal α

fazının bir metal- silisyum-oksinitrür cam sıvı ile temas halinde olduğu yerlerde dönüşüm gerçekleşecektir Robert (1999).

α-Si_3N_4 fazı, termodinamik olarak 0.1 - 100 MPa N_2 basıncı altında 1400-2000°C'de sinterleme sırasında kararsız olup daha kararlı olan β-Si_3N_4'e dönüşüm eğilimindedir Petzow (2002). Bu dönüşüm bir tür yeniden yapılanmadır Messier (1978). Bu proses Si-N bağlarını kırmayı ve yeniden oluşturmayı içerir Drew (1974). α- ve β-Si_3N_4 ile α- ve β-SiAlON arasındaki ilişki Şekil 7'de görülmektedir. β→α-Si_3N_4 arasında dönüşüm gözlenmemişken α- ve β-SiAlON arasındaki dönüşüm geri dönüşebilirdir Mandal (1993). Faz dönüşümleri mikro yapısal gelişimde önemli rol oynarlar. Çözülme ve çökelmenin gerçekleştiği bölgeye bağlı olarak farklı mikro yapılar mümkündür Lehner (2006).



Şekil 7. Si_3N_4-SiAlON katkı sistemindeki faz dönüşümü

Ham malzeme düşük oranda β tanelerini içerirse, yüksek süper doygunluktaki sıvı faz lokal olarak idiomorfik (kendinden şekilli) çubuksu β tanelerinin kendiliğinden kristallenmesi ve çekirdeklenmesiyle oluşur. Eğer ilk başta olan β taneleri üzerine çökelme olursa, bu daha kaba ve daha eş eksenli yapı oluşmasına sebep olur Okamoto (1977).

1.2. β -SiAlON Seramiklerinin Özellikleri

Silisyum nitrür bazlı seramikler, seramikçilerin ve aynı zamanda metalurjistlerin büyük ilgisini çeken bir malzemedir. Çünkü birçok önemli kimyasal, mekanik ve termal özelliklere sahiptir.

Bu özellikler aşağıda sıralanmaktadır;

– Oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet ve sertlik
– Yüksek darbe mukavemeti

– Yüksek spesifik modül (E/ρ)
– İyi mekanik şok direnci
– İyi aşınma direnci
– Yüksek mukavemet / ağırlık oranı(τ/g)
– Metallerle düşük sürtünme katsayısı
– İyi sürünme, oksidasyon direnci
– Mükemmel termal şok direnci
– Düşük termal yayınım
– Yüksek termal kararlılık (ayrışma noktası 1900°C)
– İyi yüksek sıcaklık erozyon ve korozyon direnci
– Çoğu metaller tarafından ıslatılamama
– İyi kimyasal kararlılık
– Yüksek dielektrik mukavemeti
– Düşük elektrik aktivitesi ve iletkenliği Sorrell (1986)

1.3. Uygulama Alanları

Silisyum nitrürün çok sayıda önerilen ve gerçekleşen uygulamaları vardır. Bunların en önemlilerini 5 ele alırsak:

- Otomotiv, havacılık, statör, rotorlar, pervane kanadı, silah başlıkları, sıcaklık ve aşınmaya karşı koruyucu parçalar, gaz türbin parçaları
- Piston başları, silindir hatları silindir başları, sıcak bujiler, parça astarları gibi adiabatic dizel motor parçaları
- Rulmanlar ve contalar
- İşleme takımları
- Kayıkçık, nozüller, karıştırıcılar, pompalar, tandişler, pulverizerler gibi aşınma ve ısının bulunduğu zor şartlarda refrakter ve mekanik uygulamalar, yağlayıcının yeterli olmadığı yerlerde kullanım alanı bulabilmektedir Sorrell (1986). Riley (2000), Hattori (1986). Bisson (1964).

1.3. Silisyum Nitrürün ve SiAlON'un Yoğunlaştırılmasında Yeni Tip Sinterlemeye Yardımcı Katkıların Rolü

1.3.1. MgO Etkisi

Magnezyum oksit ile sıvı faz 1390ºC'de oluşmaktadır. Bu metal oksit ilaveleriyle silisyum nitrür yüzeyindeki %4'lük silikanın ilk sıvı oluşum sıcaklığı, fark edilebilir şekilde ilgili benzer metal oksit - silika sistemindeki en düşük solidüs sıcaklığından daha düşüktür. Nitrojen bir ilave bileşen gibi ötektik sıcaklığını düşürür. Sinterleme sırasındaki küçülme ise genellikle sıvı oluşum sıcaklığında baş-

lar ve peşi sıra α → β dönüşümü eşlik eder. MgO ile sıcak presleme sırasında tam yoğunlaşma α → β dönüşümü olmadan önce sıvı silikat oluşumu sayesinde başarılır. Terwilliger ve Lange (1975) sıvının Si ve N taşınımına imkan sağladığını ileri sürdüler. Fakat α → β dönüşümü olmaksızın yoğunlaşma için gerekli olduğu göz önüne almadılar. Hampshire ve Jack (1981b) katkı olarak itriya ve magnezya arasındaki farklılıkları vurgulamışlardır. Magnezya ile sıcak presleme sırasında kısmi β dönüşümüyle neredeyse tamamen yoğunlaşma sağlanır. Hâlbuki itriya ile yoğunlaşmada sınırlı yoğunlaşma oluşur. Farklı katkıların davranışı yorum gerektirir. Dönüşüm kinetikleri bu yüzden önemlidir Leng (1984).

1.3.2. Y_2O_3 Etkisi

İtriya ile yoğunlaştırılan β-SiAlON'lar yüksek sıcaklık mühendislik uygulamaları için ümit veren nitrojen seramikleridir. β-SiAlONun itriyum ile yoğunlaştırılması halinde iyi yüksek sıcaklık mukavemeti için itriyum kristalin tane sınırı fazı olarak Y-Si-Al-O-N siteminde bileşikler arasında en uygun faz olarak yerleşir. Bu sistemde de en uygun faz olarak YAG (İtriyum-Alüminyum-Garnet) fazı bulunur. İki fazlı β-SiAlON –YAG malzemesini hazırlanması başlangıç tozunun ve proses şartlarının dikkatlice kontrolünü gerektirir. Bununla birlikte, yinede nihai az miktarda cam veya başka kristalin fazlar kalabilir. Bu işlemi takip eden bir ısıl işlem veya kullanım sırasında cam daha fazla kristalin faz oluşacak şekilde uzaklaşabilir. Fakat bu yüksek sıcaklık özelliklerini kötü etkiler. Cam içeriği başlangıç tozunda daha az silika kullanılarak minimize edilebilir. Fakat o zaman da yoğunlaştırma daha zor olacaktır. β-SiAlON ve YAG arasıdaki faz ilişkilerini tamamen gösterebilmek için Janeck Prizması Y-Si-Al-O-N davranış diyagramını kullanmak gereklidir. Bu diyagram bu sistemdeki tüm sıvı alanlarını göstermektedir Spacie (1973), Popper (1983), Hampshire (1981b), Ling (2005).

1.3.3. Oksi nitrür camlar

Modern iletişim ekipmanlarında daha hafif, daha sağlam malzeme kullanmak için ve enerji kullanımını azaltmak yapılan mevcut araştırmalarda potansiyel aday olarak daha yüksek elastik modül, daha yüksek sertlik ve kırılma tokluğu gibi mekanik özellikler sebebiyle camlar araştırılmıştır. Oksi nitrür camlar, aslında azot atomlarıyla oksijen atomlarının yer değiştirdiği şebeke sistemleri olan alümina silikat camlar gerekleri yerine getirebilmektedir. Bu camlar, alümina silikat camların şebekesinde azotla 5 oksijen atomunda yaklaşık bir tanesinin yer değiştirmesi olarak bilinir. Elastik modülü, denk olan oksit camlardan %25 daha yüksektir. Sertlik, viskozite, cam geçiş sıcaklığı gibi diğer özellikler azot içeriği artıkça artar. Oksi nitrür camlar, ilk olarak silisyum nitrür bazlı seramiklerde

tane sınırı fazı olarak keşfedilmiştir. Silisyum nitrür seramiklerini yoğunlaştırmak amacıyla itriya, magnezya, veya nadir toprak elementlerinden biri ve alümina gibi katkılar, sıvı faz sinterleme için gereken şartları sağlamak için kullanılır. Seramiklerin yoğunlaşmasını sağlayan Y–Si–Al–O–N sıvı fazı oluşturmak için Y_2O_3 ve Al_2O_3, silisyum nitrür ve nitrür partiküllerinin yüzeyinde bulunan silikayla reaksiyona girer. Sıvı fazlar taneler arası oksi nitrür cam filmler ve üçlü birleşim noktası olarak soğur. Bununla birlikte, silisyum nitrür seramiklerinde cam fazının hacmi ve bu taneler arası camlarda modifiye edici katyon (Y veya nadir toprak elementleri) içeriği, nihai mekanik özellikleri kontrol eder.

Oksi nitrür cam oluşumu çok sayıda M–Si–O–N, M–Si–Al–O–N ve M–Si–Mg–O–N sisteminde oluşur ve normal ergitme prosesi kullanılarak %30'a kadar azot camda çözünebilir. Yeni bir teknik metal başlangıç malzemesi kullanılarak M-Si-O-N cam sisteminde çok daha fazla azotun çözünmesine imkân sağlamıştır. Azot içeriği arttığında cam şebekesindeki azot bağlarının artması sonucunda elastik modülü, sertlik, viskozite, cam geçiş sıcaklığı, yavaş çatlak büyümesi direnci gibi özellikler artar. Azot içeriği arttığında cam geçiş sıcaklığı, elastik modül, viskozite, sertlik, ve yavaş çatlak büyümesi direnci gibi özellikler azalır Hampshire (2008).

1.3.4. Si3N4 ve β-SiAlON Seramiklerin sinterlenmesinde yeni bir katkı olarak florürün oksi nitrür sıvı oluşumuna etkisi

Oksinitrür camlar silikat sistemlerinde oluşmakta olup 1600ºC'nin altında sıvıdır ve silisyum nitrür ayrışma olmaksızın çözünebilir. Bağlar arası bağlantı yoğunluğunun artışı sebebiyle nitrojen bu camların geçiş sıcaklığını, sertliği, elastik modülü ve kırılma tokluğunu arttırırken termal genleşme katsayısını azaltır. Aynı zamanda nitrojen ergime sıcaklığını aşağı çekerken eriyiğin viskositesini arttırır.

Bu camlarda alüminyumun rolü cam oluşum kompozisyon aralığını genişletici, ergime sıcaklığını düşürücü, nitrojen çözünürlüğünü arttırıcı olarak bilinir. Bununla birlikte yalnızca birkaç atomik yüzde miktarında faz ayrışmasını sınırladığı gözlenmiştir. Ca ilavesiyle birlikte viskosite yeterli miktarda düşer öyle ki silisyum nitrür veya diğer nitrür kaynakları ayrışma olmaksızın çözünebilir Hanifi (2007), Hampshire (2007), Hill (1999).

Silisyum nitrürün sinterlenmesin de en çok kullanılan katkılar Al_2O_3, MgO, Y_2O_3, CaO gibi oksitlerdir. Bununla birlikte yakın zamanda çalışmaya başlanan katkı olarak florlu bileşiklerin kullanılmasının da β Si_3N_4'de de sinterlemeyi kolaylaştırıcı, ve sinterleme sıcaklığını aşağı çekici bir etki yapacağı düşünülmektedir. Literatürde bu tezi destekleyen bazı çalışmalar görülmüştür. Hanifi ve Ark. yaptığı çalışmada oksinitrür yapısına florür katkısı yapıldığında florürün ergime

noktasını düşürdüğü ve azotun oluşan sıvı faz içerisindeki çözünürlüğünü de arttırdığı rapor edilmiştir. Ayrıca florürün alümino silikat yapı içerisinde hem Al'a hem de Si'a bağlanabildiği ayrıca oksijeninde yerini alabildiği ve böylece şebeke yapısının kararlılığını düşürdüğü belirtilmiştir Hanifi (2007), Rabinovitch (1983), Maeda (1998).

Köprüleme yapmayan bir anyon olarak florür, cam şebekesinde köprüleme yapan oksijen anyonuyla yer değiştirerek güçlü bir şebeke bozucu olarak davranır. Florür cam geçiş sıcaklığını viskositesini azaltır, kristalizasyona yardım eder ve faz ayrışma potansiyelini arttırır. Silikat veya alumina silikat camların yapıları üzerine florür ilavesinin etkisi araştırıldığında florürün silisyuma Si-F olarak bağlanabildiğini, alüminyuma Al-F olarak bağlanabildiğini, kalsiyuma Ca-F olarak bağlanabildiğini ve sistem de Mg olduğunda ise Mg-F olarak bağlanabildiğini göstermiştir Hampshire (2008), Stanton (2000).

Florür kayıp olmasından korunmak için alüminyumun florürle bağlanması gerekir. Si-F bağı oluşumunun desteklendiği şartlar altında florür kaybı oluşur. Florürün alüminyuma bağlanması cam eriyiğinden SiF_4 olarak florür kaybını engeller. Si-F yerine Al-F bağını desteklemelidir. Mg:Al oranı 1:2'den daha büyük ve Al:Si oranı 1:1'den daha büyüktür ve Al'un dört bağlı koordinasyonda olduğu söylenir. MgF_2 bir oksit olmayıp ve bir silikat şebekeye eklendiğinde, MgF_2 bir şebeke yerleşecek katyon ve iki köprüleme yapmayan florür verir. Bu köprü yapmayan florür, camın ara bağlantı yoğunluğuna düşürür. Böylece F şebeke modifiye edici gibi olarak davranır.

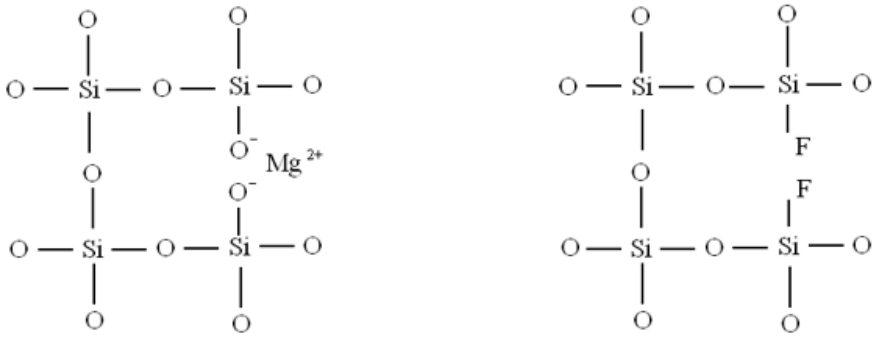
Stuart ve Ark. florür içeren oksinitrür ilavesiyle oluşan oksifloronitrür sıvısının içerisinde silisyum nitrürün ayrışma olmaksızın çözünebildiği kaydedilmiştir. Florürün oksinitrür yapısına girdiğinde hem Al hem de Si bağlanarak oksijenin yerine geçerek bağ koparıcı bir etki gösterdiği böylece daha kararsız olan bu yapının daha düşük sıcaklıkta ergiyebildiği belirtilmiştir Stuart (2007), Hanefi (2007).

Konuyla ilgili öncül ilk çalışmada Si_3N_4, SiO_2, Al_2O_3, AlN, or Y_2O_3 tozları ve florür kaynağı olarak AlF_3 ve topaz ($Al_2SiO_4(F,OH)_2$)'ın kullanılarak SiAlON'un 1500–1800°C'de sıcak izostatik preste sinterlemesi çalışılmıştır. HIP (sıcak izostatik presleme) cihazında basınç ve sıcaklık şartlarında yapılan sinterleme sonucunda bu sıcaklık değerlerinde çok az miktarda müllitle birlikte β-SiAlON elde edilebilmiştir. Bununla birlikte Florün SiAlON'un yapısına değil amorf fazın içine girdiğini ve Florür katkısının çubuksu yapıya sahip β-SiAlON tanelerinin aspekt oranını artmasını destekleyici bir etkisi de rapor edilmiştir Shimada (2001).

Konuyla ilgili yapılmış detaylı bir diğer çalışmalarda ise (Çalışkan ve Ark. ve Tatlı ve Ark.) silisyum nitrürün sinterlemesinde konvansiyonel oksitli katkı sis-

temleri kullanılarak elde edilen camsı faz ile florürlü katkı sistemlerinin kullanılmasıyla elde edilen florürlü camsı faz kullanılarak yapılan yoğunlaştırma çalışmaları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda daha düşük viskoziteli ve daha yüksek hacimli oluşan florürlü camsı fazın, sinterleme sıcaklığını aşağı çekerek prosesi iyileştirdiği görülmüştür. Ayrıca tane sınırı fazının aynı zamanda mekanik özelliklere de etki ettiği ortaya koyulmuştur Çalışkan (2010, 2012), Tatlı (2014).

Bu çalışmalarda sıvı faz oluşturucu katkı olarak Mg-Si-Al-O-F sistemlerinde oksifloronitrür camlarının oluşturulması hedeflenmiştir. Silikat camlarda, Si daima tetrahedral olarak 4 oksijen atomuyla koordinelidir ve cam yapısının temelini oluşturur. Bu yüzden şebeke yapıcıdır. Cam yapısında şebeke modifiye edicileri silisyumdan daha büyük katyonlardır ve daha küçük yükler taşırlar (Na^{+}, K^{+}, Ca^{2+}, Ba^{2+}, Pb^{2+} gibi). SiO_4 yapısına girince doğrudan oksijenle kovalent bağ oluşturmazlar. Ağ modifiye edicileri Si-O-Si arasındaki köprüyü kırarlar. Ağ modifiye ediciler-oksitlerin birleşiminin etkisi, cam geçiş sıcaklığının azalması ergime sıcaklığının azalması ve camın viskositesinin azalması şeklinde olacaktır. Ayrıca, çözünürlük, hacim, termal genleşme katsayısı artacaktır. Mg-Si-Al-O-F sistemlerinde MgO katkının silikat yapıdaki rolü Şekil 8'de görülmektedir Stanton (2000), Hill (1999). Silikat camlarda florürün yapısal rolü ise Şekil 9'da görülmektedir. Şekilde de görülebileceği gibi 2 F^{-} iyonu ile 1 O^{2+} yer değiştirebilir. Buda camın şebeke yapısını önemli şekilde bozmaktadır ve Mg^{2+} gibi şebeke modifiye edici katyonlara benzer etkilere sahiptir Rabinovitch (1983), Maeda (1998).

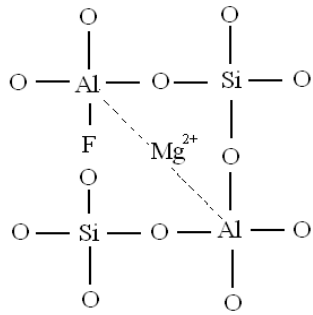


Şekil 8. Silikat camlarda şebeke modifiye edici olarak
a) Mg'un b) F'nin yapısal rolü

Silikat camlarda florür genel olarak üç şekilde sınıflandırılabilir;

– Mg^{+2} veya Ca^{2+} gibi modifiye edici katyonlarla kombine olur,
– Şebeke modifiye edici olarak,
– Serbest florür iyonu olarak bulunur.

Florürün davranışı, camdaki modifiye edici oksitlerin içeriğine bağlıdır. Düşük modifiye edici içeriğinde, F iyonları Si atomlarıyla kombine olur. Bununla birlikte, yüksek oksit içeriğinde ise F daha çok serbest halde bulunma eğilimindedir. Bu yüzden, bu camlarda Si-F bağı bulunmaz. F ilavesi, cam şebekesinde köprüleme oksijenlerinin miktarında bir artışa sebep olur. Mg^{2+}'in şebeke modifiye edici olarak rolü florür ile bağlanması sonucunda zayıflar. Floro-alümina-silikat camların silikat yapısı, cam şebekesinde florür silisyum atomlarına bağlanmadığının göstergesidir. Fakat Al atomlarına bağlanmaktadır. Şekil 9'da Alümino-silikat camında florürün rolü görülmektedir Wood (1991).



Şekil 9. Alümina-silikat camında florürün rolü

1.4. Genel Sonuçlar ve Değerlendirme

Silisyum nitrür ve türevi olan teknolojik seramikler, mekanik, fiziksel, termal be tribolojik özellikleri açısından öne çıkmaktadır. Bu sebepten Si3N4 tozlarının sentezlenmesi ve yoğunlaştırılarak bulk eldesi önem arz etmektedir. Kuvvetli kovalent bağları sebebiyle yüksek elastisite modülü ve yüksek ergime sıcaklığına sahip olan Si3N4 ham numunelerinin yüksek sıcaklıkta sinterleme zorunluluğu üretimde birim maliyetlerini ve üretilebilme kabiliyetlerini kısıtlamaktadır. Araştırmacılar son yıllarda, üretilebilirliğini/prosesi geliştirmek, daha düşük sıcaklıklarda üretim imkanı sağlamak ve mekanik özellikleri değiştirmek amacıyla sıvı faz sinterleme katkı sistemlerini modifiye etmeye odaklanmışlardır. Son zamanlarda, bilinen katkı sistemlerindeki (MgO, SiO_2, Al_2O_3, Y_2O_3, CaO vs), oksit

esaslı oluşturulan cam fazı (Mg-Si-Al-O-N, Y–Si–Al–O–N, Ca-Al-Si-O-N vs) yardımıyla sinterleme yerine florür katkı sistemleri tek başına veya oksit sistemlerin modifiye edilmesiyle kullanımı yenilikçi bir çalışma olarak ortaya çıkmıştır. Konvensiyonel oksit katkı sistemlerine göre hem yoğunlaşma hem de faz dönüşümü açısından önemli avantajları olduğu kanıtlanmıştır.

Kaynakça

1. Bisson, R. E., Anderson, W. J., Tech. Report No. NASA-SP-38, Office of Scientific and Technical Information, 1964
2. Chawla, K., Ceramic Matrix Composites, 21-26p, Chapman and Hall, London, 1993
3. Çalışkan F., MgF2 İçeren Si3N4 Esaslı Seramik Malzemelerin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, 2010
4. Çalışkan F., Tatlı Z., An G., Annaik, Hampshire S., Pressureless sintering of SiAlON ceramic compositions using fluorine and oxide additive system, Journal of the European Ceramic Society 32(7), 2012
5. Doğan, Ş., "Seramik Teknolojisi" Birsen Yayınları, 2000, s.7-24, 29-44
6. Dressier, W., Riedel, R., Progress in Silicon-Based Non-Oxide Structural Ceramics, Intl. J. Refractory Met. Hard Mater., 15, p.13-47, 1997
7. Drew, P., Lewis, M. H., The microstructure of silicon nitride ceramics during hot-pressing transformations, J. Mater. Sci., 9(2): 261-269, 1974
8. Drew, R.A.L., Hampshire, S., JACK, K.H., Nitrogen Glasses, Proceedings of the British Ceramics Society , Special Ceramics", 31: p.119-132, 1981
9. GEÇKİNLİ, E., İleri Teknoloji Malzemeleri, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul, 1-9, s.121-126, 1992
10. Hampshire, S., Hanifi, A.R., Genson, A., Pomeroy, M.J., Ca-Si-Al-O-N-F glasses: Effect of fluorine on glass formation and properties. Key Engineering Materials, 352: p.165–172, 2007
11. Hampshire, S., Jack, K., H., The Kinetics of Densification and Phase Transformation of Nitrogen Ceramics, Proc. Br. Ceram. Soc., 1981
12. Hampshire, S., Oxynitride Glasses, Journal of the European Ceramic Society 28, p.75–1483, 2008
13. Hanifi, A. R., Genson, A., Pomeroy, M. J., Hampshire, S., An Introduction to the Glass Formation and Properties of Ca-Si-Al-O-N-F Glasses, Materials Science Forum, Vol. 554, p. 17–23, 2007
14. Hardie, D., Jack, K.H., Crystal Structures of Silicon. Nitride, Nature, 180, p.332–333, 1957
15. Hattori, Y., Tajıma, Y., Yabuta, K., Matsuo, Y. & Kawamura, M. & Watanabe, T., In Ceramic Materials and Components for Engines, eds W. Bunk & H.Hausner. German Ceramic Society, p.165–172, 1986
16. Hill, R., Wood, D., Thomas, M., Trimethylsilylation analysis of the silicate structure of flouro-alumino-silicate glasses and the structural role of flourine. Journal of materials Science, 34:F p.1767–1774, 1999
17. Lehner, W., Kleebe, H. J., Ziegler, G., Variation of sintering parameters at

an early stage of densification affecting β-Si3N4-microstructure, J. Eur. Ceram. Soc. Vol. 26, Issues 1-2, p.201-208, 2006
18. Leng-Ward, G., Wild, S., Diffraction studies of β-magnesium sialon, Journal of materials science, 19, p.1726-1736, 1984
19. Ling, G., Yang, H., Pressureless sintering of silicon nitride with Magnesia and Yttria, Mater. Chem. and Phy., 90, p.31-34, 2005
20. Maeda, T., Matsuya, S., Ohta, M., Effects of CaF2 addition on the structure of CaO-Al2O3-SiO2 glasses, Dental Materials Journal, 17(2): p.104-114, 1998
21. Mandal, H., Thompson, D.P., Ekström, T., Reversible α↔β-SiAlON transformation in heat treated sialon ceramics. J. Eur. Ceram. Soc. 12, p.421–429, 1993
22. Messier, D. R. Riley F. L., Brook, R. J., The Silicon Nitride Phase Transformation, J. Mater. Sci.,13, p.1199, 1978
23. Okamoto, Y., Hirosaki, N., Akimune, Y., Mıtomo, M., Influence of α to β phase transformation on grain growth rate of silicon nitride, J. Ceram. Soc. Jpn. 105, p. 476–478, 1997
24. Petzow, G., Herrmann, M., Structure and Bonding, Springer-Verlag, Berlin,Vol. 102, p.51, 2002
25. Popper, P., Sintering of Silicon Nitride, Progress in Nitrogen Ceramics, Riley F.L. (ed), 1983
26. Rabinovitch, E.M., On the structural role of fluorine in silicate glasses. Physics and Chemistry of Glasses, 26(5), p.157–165, 1983
27. Redington, M., O'reilly, K., Hampshire, S., On the relationships between composition and cell dimension in α-sialons, J. Mater. Sci. Lett. 10, p.1228, 1991
28. Redington, M., Ph. D. Thesis, Univertsity of Limerick, Limerick, 1989
29. Riley, F. L., Silicon Nitride and Related Materials J. Am. Ceram. Soc., 83 [2] p.245–65, 2000
30. Robert, W. C., Materials Science and Technology: Structure and Properties of Ceramics, Volume III, Cahn, R. W., Haasen, P., Kramer, E. J. (ed), published by VCH, Michigan University, 1999
31. Shimada, S., Tanaka, M., Kiyono, H., Mackenzie, J, D., Microstructure and properties of various fluorine-containing SiAlON ceramics synthesized by HIPing, Journal of the European Ceramic Society 21, p.2811–2819, 2001
32. Smrcok, L., Salamon, D., Scholtzova, E., Richardson, J.W., Time-of-flight Rietveld neutron structure refinement and quantum chemistry study of Y-α-sialon, J. Eur. Ceram. Soc. 26, p.3925–3931, 2006

33. Sorrell, C.C., Mccartney, E.R., Engineering Nitrogen Ceramics: Silicon Nitride, β-SiAlON and Cubic Boron Nitride, Materials Forum, p.148–161, 1986
34. Spacie, C. J., Jameel, N. S., Thompson, D. P., "The Fabrication of two phase β-SiAlON-YAG Ceramics" Proc. of International Symposium on Ceramic Components for Engine, Japan, 1983
35. Stanton, K., The Effect of Flourine on Microstructural Development in Apatite-Mullite Glass-Ceramics, PhD thesis – University of Limerick: Limerick, 2000
36. Tatlı Z., Çalışkan F., Butler J., Crowley C., Hampshire S., SPS Sintering of Silicon Nitride with Fluoride Additive, Ceramics International, Volume 40, Issue 1, Part B, January 2014, Pages 1399-1404, 2014
37. Terwilliger, G. R., Lange, F. F., Pressureless sintering of silicon nitride, J. Mater. Sci. 10 (7), p.1169–1174, 1975
38. Turkdogan, E.T., Bills, P.M., Tippett, V.A., Silicon nitrides: some physico-chemical properties, J.Appl. Chem. 8, p.296–302, 1958
39. Vassıliou, B., Wilde, F.G., Hexagonal Form of Silicon Nitride. Nature, 179(4556): p. 435–436, 1957
40. Wild, S., Grieveson, P., JACK, K., H., in: Special Ceramics 5: Popper, P. (Ed.) Stoke-on-Trent: br. Ceram. Res. Assoc. p.271–287, 1972a
41. Wild, S., Grieveson, P., Jack, K. H., in. "Special Ceramics 5", edited by P. Popper (The British Ceram. Res. Ass., Stoke-on-Trent, p.385–395, 1972b
42. Wood, D., Hill, R., Glass ceramic approach to controlling the properties of a glass-ionomer bone cement. Biomaterials, 12: p.164–170, 1991
43. Yan, D. S., Enhancing materials design capability through understanding multicomponent phase relationships, Pure & Appl. Chem., Vol. 70, No. 2, p.509–515, 1998
44. Ziegler, G., Heinrich, J., Wötting, G., Review relationships between processing, microstructure and properties of dense and reaction-bonded silicon nitride, J. of Mater. Sci., Vol. 22, p.3041–3086, 19873
45. http://mechanicaldesign101.com/page/3/

✔ 7. Bölüm

SU VE ATIKSU ARITIMINDA DİYATOMELERİN KULLANIMI, ÜZERİNE YAPILAN BİLİMSEL ÇALIŞMALAR

Abdullah YİNANÇ[1]

1 Dr. Öğr. Üyesi Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu
ayinanc@nku.edu.tr ORCİD ID: 0000-0002-8144-8266

1. SU VE ATIKSU ARITIMINDA KULLANILAN DİYATOMELER

1.1. Giriş

Çevre ve doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı en aza indirmek, çevre ve özelliklede su kirliliğine neden olan etmenleri ortadan kaldırmak, oldukça önemlidir. Ekonomik faaliyetlerin daha çevreci hale getirilmesi, sürdürülebilir kalkınma, doğal kaynakların verimli kullanımı ve sürdürülebilir uygulamalar, ekolojik ve güvenirliği olan sistemler, dünyadaki genel kabul gören trendlerdir. Türkiye, hazırladığı iklim değişikliği eylem planları ile sürdürülebilir ekosistem, biyolojik çeşitliliğin korunması ve ormancılık faaliyetleri ile birlikte yeşil istihdam imkanlarının da arttırılmasını hedeflemektedir.

Günümüzde düzensiz yerleşim biçimleri, atıklar, gürültü, hava, toprak kirliliği gibi su ile ilgili sorunlarda önemli çevresel sorunlar olarak karşımızaçıkmaktadır (Cansaran, 2020). Türkiye için yeşil büyüme politikası oluşturmak, ekonomik, çevresel, sosyal ve sürdürülebilir esaslı, birleştirici bir uyum sistemidir. Ülkemizdede birçok ülkede olduğu gibi, düzensiz kentleşme, sanayileşme ve pansız nüfus artışı devam etmektedir. Bunun sonucunda ise, atıklar, gürültü, hava, toprak ve su kirliliği gibi önemli çevresel sorunlar karşımıza çıkmaktadır (Cansaran, 2018). Yakın gelecekte, altyapı, enerji, sanayi üretimi ile çevrenin mutlak birlikteliği sağlanmak zorundadır. Refah ve kaliteli hayat standartı ancak bu sayede sağlanabilir. Yeni ve inovatif çalışmaların artması ile daha az atık üreten tesis ve sistemlerin kullanımına geçilmiş olunacaktır.

Diyatomeler; dış yapıları itibarıyla farklı görünseler bile organik kökenli olup, bitki grubu içerisinde de yer alırlar. Derin deniz ve okyanus diplerinde dahi yaşayabilen, çok az bir güneş ışınıyla oksijen üretebilen canlılardır. Bu nedenle de temiz, kirli veya çok kirli olan tüm sular için arıtma alternatifi konumundadırlar.

Ülkemizde yüzlerce çeşidi bulunan, ancak bugün, birkaç basit iş ve işlem dışında fazlaca kullanımı olmayan diyatomeler, ticari ürün olarakta geliştirilerek birçok alanda kullanılabilecek, nano kaynak niteliğindedir.

Yapılan çalışmanın, bir ayağını da *Teknolojik Ürün Geliştirme* alternatifi oluşturmaktadır.

Ancak çalışmada öncelikle:

1. İlk olarak; temiz olarak nitelendirilen ve içme suyu temin edilen kaynaklarda yapılacak arıtıma verimini arttırıcı çalışmaları (İçerisindeki oksijen miktarı 5 mg/ litreden fazla olan sularda yapılan uygulama çalışmasını) içermektedir.
2. İkinci olarak; kullanma nitelikli bulanık sularda yapılacak, verim arttırıcı

arıtma çalışmalarını içermektedir. İçerisindeki çözünmüş oksijen miktarı, 2-5 mg/l arasında olan sularda yapılan ve yapılacak olan tüm çalışma ve uygulamalardan oluşmaktadır.

3. Üçüncü olarak; Evsel nitelikli atık sularda yapılacak arıtım çalışmalarını içermektedir. Yani, içinde organik kirlilik olan ve çözünmüş oksijen miktarı 2 mg/l den az olan sulardaki yapılan çalışma ve uygulamaları içermektedir.
4. Dördüncü olarak; Sanayi atık sularını içeren ve çok kirli nitelikli sularda yapılacak çalışmalar ve uygulamalardan oluşmaktadır.

Çalışma ve uygulamalar; toptancı bir yaklaşımla ele alınmıştır. Sonuçlar ise daha sonraki uygulama ve uygulamacı konumda olacaklara doğrudan ışık tutacak şekilde analiz edilmiştir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Çalışma birden farklı amaç içermektedir. Bunlar, farklı zaman ve uygulama alanlarında, farklı noktaların bilimsel olarak araştırılması, sonuçların uygulama ile desteklenerek yeni, farklı ve ticari ürünlerin elde edilmesidir.

Burada öncelikle, dünyada ticarileştirilen ve üretimi yapılmış olan, birçok ülkede kullanılan, hazır haldeki (toz ve solüsyon şeklindeki) birbirinden farklı diyatome türlerini içeren ürünler kullanılacaktır. Özellikle içme ve kullanma sularında, evsel atıksularda, BOI ve KOI'si uygun sanayi sularında, uygulamalar yapılacaktır. Farklı miktarda ve şekillerde kullanımı yapılacak olan bu ürünlerin, sorunların çözümündeki kullanılm ve uygulamasının yapılması da sağlanmış olacaktır.

Yaz aylarında denize girildiğinde, deniz içerisinde bulunan deniz yosunları, yani alglerin oluşturduğu sorunlar ortadadır. Bu çalışmanın; Bu sorunların ortadan kaldırılması, özellikle Marmara denizi, İstanbul-Tekirdağ hattın da uygulanmasını içeren başka bir amacı da bulunmaktadır.

1.3. Çalışmanın Kapsamı

Yukarıda belirtilen amaç doğrultusunda ve belirlenen alanlar, *ç*alışmanın kapsamın*ı olşturmaktadır.* Farklı uygulama alanları ile farklı noktaların bilimsel olarak araştırılması, yeni ve farklı ticari ürünlerin elde edilmesi ve müsilaj gibi spesifik olayların çözümünü de kapsamaktadır. Çalışma, 2005'te EM, 2019'da ise Conmel Blue Ponds kullanımı ve yapılmış olan laboratuvar ve uygulama çalışmalarından oluşmaktadır.

Çalışmalarda:

1. Su arıtma amaçlı göl, nehir ve benzer su kaynaklarında,

2. Atıksuların arıtmında,

3. Yüzme ve deniz suyunda bulunan algler'in yok edilmesinde,

Özellikle başlangıçta mevcut hazır diyatome solüsyonları kullanılacak, fakat bunların yerine, ülkemizde de diyatome kaynaklı ürünlerin elde edilmesi ve sanayi ürünü olarak üretilmesi de kapsam içerisindedir.

- **Kurulan laboratuvar sistemi:** 5 adet özel sistemsel yapıdan oluşmaktadır. Bu sistemsel yapıda; dozaj pompaları, otomatik ölçüm cihazları ve 24 saat esaslı ışık veren ve toplam 1000 watt'tan oluşan özel lambalar ile laboratuvarlardaki jar testi cihazları bulunmaktadır. Her bir sistem içerisinde sürekli, pH, çözünmüş oksijen vb. ölçümler yapılmış, farklı su numunelerinin de,sisteme dahil edilerek analizinin sağlandığı bir yapı kurulmuştur. Sisteme belli düzgünlükte taşlar da yerleştirilmiştir. Daha sonra sistem farklı besleme yöntemleri ile çalıştırılmıştır.
- **Arazi uygulaması:** Kirletilmiş ya da kirlilik kalıntıları bulunan göllerin içerisindeki alglerin tamamıyla ortadan kaldırılması ve sulardaki alglerin bertarafı, işlemlerinin yapılması ve suyun daha fazla oksijene kavuşturulmasının sağlanması için istanbul'da su temin edilen baraj gölleri (özelliğini kaybeden istanbulda'ki Alibeyköy barajı gibi barajlar) kullanılacaktır.

1.4. Materyal ve Metodoloji

Çalışmada öncelikle, dünyada başarıyla uygulanmış olan birkaç farklı diyatome kaynaklı ürün, (katı ya da sıvı çözeltiler), bu çalışmalarda kullanılmış, bunların, gece ve gündüz dilimlerindeki verimselliği incelenmiş/incelenecektir. Düşük ışık etkisiyle bile yoğun bir şekilde fotosentez işlemi yapan ve bu fotosentez sayesinde, Amazon ormanlarının dahi, en az 10 katı oksijen üretebilen bu canlıların sistem içinde faaliyetlerinin sürekli olması yani sistemin kesintiye uğramaması, gerekmektedir. Bubun için geceleri aydınlatma lambaları kullanılmıştır.

Çalışmamız ise, iki farklı evreni kapsamaktadır.

Bunlar:

1. Doğal konum uygulaması,

2. Doğal ve yapay destekli uygulama,

1. Doğal konum uygulaması; özellikle yaz aylarında ülkemizde güneşin doğumu ile batımı arasındaki geçen süre ki 14-16 saattir. Bu da yaz aylarında hiçbir ilave enerji kaynağına ihtiyaç duyulmadan, sadece sisteme ilave edilecek olan madde ile doğal arıtmanın yapılacağı ve sonuçların direkt uygulama alanlarına aktarılacağını göstermektedir.

2. Doğal ve yapay destekli uygulama; doğal duruma destek olarak hazırlanan/hazırlanacak olan yapay sistemler tespit edilecektir. Özel koşullarda sistemin **Sürekli ve Kesikli** durumdaki arıtma verimi (etkisi) ve hangi değişikliklere bağlı çalıştığı saptanmaya çalışılacaktır.

2. ENERJİ KAYNAĞI OLARAK DİYATOMELER

Küresel yıllık enerji tüketiminde ana pay (%79) oranla fosil yakıtlardır (Martinot, 2008). Fosil yakıtlar, enerji üretiminde kullanılan yenilenemez kaynaklardır. Fosil yakıtlar arasında kömür, doğal gaz ve petrol bulunur. Ancak, alternatif enerji kaynağına geçiş hızla devam etmektedir.

Son zamanlardaki artan enerji maliyetleri, azalan rezervler, artan sera gazı salınımları ve öngörülen iklim değişikliği tehdidi ile birlikte, genetiği değiştirilmiş yağ bitkileri (soya, kanola vb.) ile alglerin'de enerji üretimi için alternatif ve yenilenebilir hammadde olarak kullanılmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir. Sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelik her bir yaklaşımda, uygun yatırımı yapmadan önce bunların fosil yakıtlarla olan fiyat rekabetini karşılaştırmak zorundayız. Şimdi ve yakın gelecekte, enerji için petrol, petrol için ise biyoyakıt alternatifi olarak başlayan soya fasulyesinden, ayçiçeğine, kanoladan, diyatomelere kadar, verimliliği olan her şey alternatif kaynaktır ve mutlaka faydalanılması düşünülmelidir.

Uzun zamandır özellikle üzerinde çalışma yapılan, hatta 'Petrol Oluşum Teorisi' içinde de yer alan, silika kabuklu tek hücreli yosun olan diyatomelerin bize, ham petrole alternatif, enerji kaynağı sağlayabileceği tezi (Gordon vd., 1994) hidrojenden yakıt eldesi gibi uygulamayı beklemektedir.

Diyatomeler; Fitoplanktonlar içindeki başlıca ana üreticiler olup, net üretim ve organik maddeye katkıda da bulunurlar (Killops vd., 2005). Canlı diyatomeler aynı zamanda sürdürülebilir bir enerjinin ilk adımı ve yağ elde edilecek kaynağa giden yoldur.

Diyatomelerin yağ ve yakıt için kullanımına baktığımızda ise; "**Nanoteknolojik Diyatomun**" alansal uygulanması söz konusu olur (Gordon vd., 1994). Şeffaf olan diyatome silika kabuğu, içindeki yağ damlacıklarının boyutunu sınırlayan ve koruyan, biyosentez için ihtiyaç duyulan ışığı yakalayarak sınırlayan, bir çift

çentikten ve çeşitli sayıda kuşak bandından oluşur (Yuvarlak vd., 1990 ve Cox, 19966) .

Öyleyse diyatomelerden yağ ve yakıt elde etmek için ne yapmalıyız? "Petrol için diyatomeler" kavramını ticari gerçekliğe yaklaştırma potansiyeline sahiptir (Hu vd., 2008, Duhanay, 1996, Nagle vd.,1990, Roberts vd., 2007) . Aslında, diyatomelerin genetik dönüşümü, petrol üretiminin iyileştirilmesi amacıyla başlamıştır (Duhanay, 1996, Duhanay vd., 1992, Duhanay vd., 1995). Diyatomeler için geliştirilen bu geniş çeşitlilikteki genomik araçlar, bu araştırmalar üzerinde çalışmaya devam etmenin doğruluğunu göstermektedir (Apt vd., 1996, Sakaue vd., 2008).

Ancak; Fotosentetik verim ve alglerin (oleaginous alg) büyüme potansiyeline dayanan teorik hesaplamalar, kitle kültüründe, hektar başına yıllık > 30000 L (veya 200 varil) alg yağı elde edilebileceğini göstermektedir. Bununda, soya fasulyesinden 100-200 kat daha fazla yağ üretimi anlamına geldiği tahmin edilmektedir (Hu vd., 2008, Sheehan vd., 1998). "Birim alandaki alglerden elde edilen yağ veriminin en iyi mahsul olan palmiye yağından bile 7-31 kat daha fazla olduğu bazı araştırmacılarca vurgulanmaktadır" (Wilhelm vd., 2006). Bunun nedeni ise; diğer yağ bitkilerinden farklı olarak diyatomeler oldukça hızlı büyümesi (Princen, 1982) ve bazılarının biyokütlelerinin 5 ila 24 saat içinde ikiye katlanabilir olmasıdır. Yani bu süreler arasında geometrik olarak bir çoğalma meydana gelebilir (Neenan vd., 1986, Hall vd., 1995). Doğada bile, bu artışın iki katına çıkma süresi 2-10 gün mertebesindedir. Bu süre, fotosentez ve fotorespirasyon sürelerini de içermektedir (Demirbaş, 2006, De Stefano vd., 2007). Diyatomeler karbon kaynağı (C) olarak kabul edilir. Fotosentez verimi CO yoğunlaşarak geliştirilmiştir. Diyatomelerin küresel ölçekte ve %25'e varan CO tüketimi yaptığı, bunu da oksijene dönüştürdüğü tahmin edilmektedir (Gordon, 2010). Bentik diyatomeler, uygun koşullar altında, bol miktarda besin varlığında güneş ışığına çıkar ve çiçek açar (Mitchell, 2008). Diyatomeler, önümüzdeki yıllarda petrolün seri üretimi açısından önemli bir rol oynayabilir.

Diyatomeler gerçekten de yağ yapan canlılardır. Bazı ziraat'çiler, diyatomelerin hektar başına 10 kat daha fazla yağ üretimi katkısı sağladıklarını, teorik olarak hesaplamışlardır (Whittington, 2006). Bu nedenle, diyatomelerin sürdürülebilir enerji elde edilebilir bir kaynak olduğu aşikardır.

Genel olarak, daha fazla ışığın fotosentez yapan organizmalar için daha fazla verimlilik anlamına geldiği varsayılır. Bununla birlikte, diyatomeler düşük ışık seviyelerinde geliştiği için (Raniello vd., 2007, Goldman vd., 2003, Tolomio, 2004), büyümelerini ve yağ üretimini optimize etmelerinin dikkate alınması gerekebilir. Bu yetenek, doğada, fakültatif heterotrofisine veya ışık seviyesi adap-

tasyonuna bağlı olabilir (Friedman vd., 1986). Düşük ışık azot yoksunluğu koşullarını taklit edebilir (Bartual vd., 2002) ve bu nedenle hücre başına yağ miktarını iyileştirebilir.

2.1. Su ve Atık Su Arıtımında Diyatomeler

Diyatome türleri takip edilerek su kalitesi gözlemlenebilir. Diyatomeler fotosentetik ürünlerin büyük bir kısmını üretirler. Kirli nehirlerde de çeşitli diyatomeleri rahatça görebiliriz. Ancak sanayi atığı karışmış, yani çok daha fazla kirletilmiş, sularda diyatomeleri rahatça görmemiz düşünülemez. Burada; Çok temiz, temiz, kirli ve çok kirli sularda bulunan diyatomeler ayrımını yapabiliriz. Zira, temiz ve çok temiz sulardaki diyatome miktar ve çeşitliliği (sayıca ve çeşit olara) k her zaman diğer sulardakinden çok daha fazladır. Farklı sucul ortamlarda yaşayabilen diyatome türleri mevcut çevresel şartlara bağlı olarak yaşarlar. Hafif kirli nehir suyunda oval hilal şekilli diyatomeler mevcuttur. Deniz tabanı ve sedimentler de ise farklı şekillerde ve ölçülerde diyatomeler yaşarlar. Diyatomeler ile suyun kalitesi arasında önemli bağlantılar kurularak tahminler yapılabilir.

3. DÜNYADA VE ÜLKEMİZDE FARKLI DİYATOMELERİN TEMİZ VE ATIKSU ARITIMINDA UYGULAMA ÖRNEKLERİ

2005-2020'yılları arasında tarafımızca yapılan çalışmalar ile başarı ile uygulanmış diğer ülke örnekleri ele alınmıştır. Ulusal ve uluslararası çalışma örnekleri ile bizim yaptığımız çalışmaların farklı ve örtüşen yönleri irdelenmiştir. Burada oluşturmaya çalışıtığımız tamamlayıcı modüller belirlenmiştir. Ortaya çıkacak sonuçlara göre bu modüllerin uygulanabilirlik durumu da test edilecektir.

3.1. Tirupati Uygulaması

Hindistan'ın Andhra Pradesh eyaletinde yapılan ve tamamen uygulamaya yönelik olarak başlatılmış olan bir çalışmadır. Çalışma; Haziran 2016 tarihlerindeki 15 günlük bir süreyi kapsamaktadır. 270000 litre kapasite hacimli birkaç göletin iyileştirilmesi işlemidir. Burada, diyatomelerden elde edilen solüsyonlar, göllerin, su kalitesine bağlı olarak ayda bir ila dört kez arasında kullanılmıştır. Diyatomelerden elde edilen özel hazırlanmış bir sıvı formülasyonu, uygun saatler içinde etkin bir şekilde uygulanmıştır (https://www.nualgilakes.com/).

Araştırmada, diyatomelerin varlığı ile siyanobakteriler arasındaki ters bir ilişki kurulmuştur. Oksijenin, aerobik bakteriler tarafından organik maddeyi parçalamak ve tortuyu tüketmek için kullanıldığı, yüksek çözünmüş oksijen (ÇO) seviyeleri ve daha temiz su, BOI 'deki azalma, düşük koliform seviyesi, kötü koku

giderilmesi, sudaki sivrisinek kolonilerinde azalma ve daha sağlıklı su yaşamı sağlanmıştır.

Su kütlesindeki her yerde bulunan ve faydalı diyatomelerin çoğaltılması için gereken nano ölçekli mikro besleyicileri (5-100 nm), Si, Fe, Mn, Ca, Mg, Zn, Cu, B, S, Mo, P, K ve Co'yu içerir (https://www.nualgilakes.com/). 2016 yılı Haziran ayında yapılan bu uygulamanın sonuçları incelendiğinde; faydalı bakteriler ve enzimler, havuzun üstündeki kokunun giderilmesine, su kalitesinin iyileştirilmesine, çözünmüş oksijenin artmasına ve BOD ve COD' deki ciddi manadaki azalmayı sağlamıştır. Buda, BOD'de %83 ve COD'de %71 oranında bir azalma meydana getirmiştir.



Şekil 1. Göl başlangıçta



Şekil 2. Göl 5. gün sonu

Tablo 1. Tirupati Uygulaması atıksuyun kirlilik değerleri tablosu

Parametre	**Dozlama Öncesi**	**Dozlama sonrası Toplam değişim**				**(%)**
Tarih	10/06/2016	13/06/2016	16/06/2016	19/06/2016	24/06/2016	
COD	266	106	84	83	77	71
BOD	195	45	42	34	33	83
PH	7	7	7	7	7	

3.2. Diyatomelerle Yapılan Bazı Uygulama Örnekleri

3.2.1. Diyatomelerin Temiz Su Uygulaması

Yeraltı ve yer üstü sularınca zengin olan bir bölgede, Ceyhan nehirinin doğduğu, Elbistan Pınarbaşı mevkisinde yapılan bir uygulamadır. Yüzlerce dekara yayılan bir alandan doğan Ceyhan nehri iklime göre kısmen değişmekle birlikte kaynak noktasında Q_{min}=5,5-6 m^3/san. Mertebesinde bir su debisine sahiptir. Daha sonraki katılımlarla debi, Q=30 m^3/sn yi bulmaktadır.

Ceyhan nehri, Rakımı, 1137m, olan Elbistan'nın Pınarbaşından doğarak yaklaşık 509 kilometre sonra İskenderun körfezine dökülmektedir.

Çalışma alanı ve suyun özellikleri incelendiğinde; Çözünmüş oksijen miktarının (ÇO) :7-8 mg/ litre, su sertliği: 25-26 ^{o}F Fransız sertlik derecesi ve PH >7,8 civarındadır.

Suyun bileşimi incelendiğinde; İçerisinde azot, fosfor ve diğer kirleticilerin bu suda çok az miktarda bulunması yada hiç bulunmaması gerekirken, üreyen alg ve diğer yosunlar incelendiğinde, suyun farklı biçimlerde kısmen de olsa kirlendiği gözlemlenmiştir. Baraj gölü fasulye şekilli ve boyutları 700m x150m ebatlarında 1,5 ile 3 metre derinliği olan ve göl hacmi 200000 ile 250000 m^3 arasında değişkenlik arz eden bir yapay baraj konumundadır.



Şekil 5. Ceyhan uygulama planı (a,b)

Çalışma yapılan zaman dilimi; yaz aylarında, özellikle alglerin çok olduğu, güneş ışınlarının geliş açısının maksimum düzeyde bulunduğu, günlük güneş ışınımı ve aydınlanmanın 14-15 saat'i bulduğu bir zaman diliminde yapılmıştır.

3.2.1.1. Temiz Suda Yapılan Çalışmalar

Çalışmanın amaç, kapsam ve hedefleri incelendiğinde öncelikle; su kalitesini iyileştirmek, yosunları bertaraf etmek, kötü kokuları gidermek ve sudaki parametreleri kabul edilebilir seviyelere indirmek, oksijen seviyesini arttırmaktır.

Çalışmada; Conmel Blue Ponds kullanılmıştır. Çalışma; 30 Temmuz 2019 ve 3 Ağustos 2019 tarihleri arasında, 4 gün uygulama ve 1 gün beklemeden oluşan toplam 5 günlük bir çalışmadır. Çalışma bölgesinde, gölette diyatomelerin gece boyunca fotosentez yapmasını sağlamak için, her biri 250 Watt'lık 4 adet ışıklandırma kurulmuştur (akşam 19: 00'da açılıp sabah 06:00'da kapatılmıştır). Çalışma sonrasında; temiz su içinde çok miktarda mevcut olan mavi yeşil algler, yani su yosununları tamamen ortadan kaldırılmıştır. Uygulama haftada bir yada ayda bir kaç defa arasında su kütlesine uygulanan özel bir sıvı formülasyondur. Doz-

lama, uygulama saatleri içinde etkisini göstermektedir. Oksijen, aerobik bakteri tarafından organik maddeyi parçalamak ve tortuyu tüketmek için kullanılmakta, çözünmüş oksijen (ÇO) seviyesinde artış, biolojik oksijen (BOI) ve koliform seviyesinde ise azalma, sağlanmaktadır. Bunun dışında kötü kokuların giderilmesi ve sudaki sivrisinek kolonilerinde azalmada gözlemlenmektedir. Yosun kontrolünün ise tam olarak sağlandığı görülmektedir (https://conmelbio.com).

Uygulama öncesi gölün durumu incelendiğinde, göl yüzeyi, istenmeyen yosunlarla kaplı, kötü görüntü ve gölün alt kısımlarında kısmen de olsa bir kokuşma mevcut iken uygulama sonrası Conmel Blue Ponds kullanımı ve ek ışıklandırma etkisiyle mükemmel bir verim sağlanmıştır. Şekil 6. da Pınarbaşı gölünün görünümleri görünmektedir.



Şekil 6. Pınarbaşı Gölünün 1. ve 3. günkü görünümü görülmektedir.

Uygulama sonucu, koku büyük ölçüde giderilmiş, yosunlar tamamen ortadan kaldırılmış, su kalitesinde gözle görülebilen iyileşme sağlanmıştır. Çözünmüş oksijen oranı artarken, BOI, KOI ve N, P gibi değerlerde de önemli boyutlarda azalma olduğu gözlenmiştir.

Uygulamada kullanılan dozaj isr; 1/2000 ve 1/10000olup 1/10000 seyreltme oranı kullanılmıştır. Şekil 7 ‘de Pınarbaşı Gölünün 5. günkü görüntüsü verilmiştir (Yinanc, 2021).



Şekil 7. Pınarbaşı Gölünün 5. Günü sonrası görünümü

Yosunlar tamamen bertaraf edilmiştir. Suyun dibi dahi gözükmezken, su tertemiz olmuştur. Ekosistemde görünmeyen balık populasyonu, hızlıca geri gelmiştir. Su kalitesi ise çok yükselmiştir.

3.3. Türkiye'de Atıksudaki Uygulamaları

3.3.1. Atıksuda Uygulamalar (Adana)

Çalışma, sıcak iklime sahip Adana'nın Kozan ilçesinde yapılmıştır. Projede özel bakteriler diyatome esaslı etkin mikro organizma (EM), kullanılmıştır. Uygulama Nisan-Eylül ayları arasındaki 6 aylık bir süreyi kapsamıştır.

Yaklaşık 100 dekar'lık bir alan üzerine kurulu, 3 adet 59x59 m boyutlarında anaerobik stabilizasyon havuzu mevcuttur. Havuzdaki su derinliği 4 m, havuz faydalı hacmi V= 15 885 m^3 , bekleme süresi her havuz T=1,414 gündür. Mevcut atıksuyun kirlilik değerleri tablo 2'de verilmiştir.

3 adet 1. Fakültatif stabilizasyon havuzu mevcuttur. Havuzdaki su derinliği 3 m, havuz hacmi, V=31000 m^3 tür. Ayrıca 3 adette 2. fakültatif stabilizasyon havuzu mevcuttur. Havuzdaki su derinliği 2.5 m. havuz hacmi V=20500 m^3 tür.

Her bir ünitenin yaklaşık 24.000 m^2 yüzey alanına sahiptir. Sistemde, diyatome esaslı etkin mikroorganizmalar (EM) kullanılmıştır.

Uygulama esnasında, Nisan-Eylül aylarında, atıksuda çözünmüş oksijenin miktarı 2 mg/l olması sağlanmış ve kollektör hattına bakteriler (diatomdan elde edilen etkin mikro organizma) tatbik edilmeden evvel aktif hale getirilmiş, sonra ise atıksuya 1/10000 ila 1/15000 oranında seyreltilmiş formda enjekte (10 m^3 kadar) edilmiştir (Yinanc, 2019).

Tablo 2. Mevcut atıksuyun kirlilik değerleri tablosu (2005)

Parametre	Analiz Sonucu		Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Değerleri (mg/l)
	Normal zaman (mg/l)	Zeytin yağı Deşarjı Sonrası (mg/l)	
KOI	358	1038	180
BOI	250	258	50
AKM	110	200	70
pH	7,11	6,49	6- 9

Atıksuyun hereketi sırasında biyolojik parametrelerin değişmesinde 16 hafta içinde çıkışta önemli azalma gözlenmiştir. Buda atık sudaki asılı maddelerin miktarının azalarak değişmesini göstermektedir. Prosesin verim sabiti ise artar. Kanalda ve stabilizasyon havuzlarında mikroorgamizmaların değişmesi ve bunun da arıtma verimine olumsuz etki göstermesini önlemek için biyolojik reaktörde (kanalda) 1-2 ppm oksijen yeterlidir.

- EM aktif çamur tüketiminde de etkili rol oynar, fakültatif havuzlarda çökme hızının %25-50 artmasına, çamur tüketimi süresinin ise %10-20 azalmasına sebep olur.
- Kanalda atıksu arıtılmasında yararlanılan EM'in aktif dozu günlük atıksu miktarının 1:4000- 1:7000 oranının bir haftada verilecek miktarının tayin edilmesinin davamın da 1:10000-1:15000 seyrelme fazları uygulanmıştır.
- Sisteminde en iyi şartlarda atık suda BOI_5 %40-55, KOI % 30-50, askıda maddeler (AKM)% 25-45 ve Top-N %5-40 azalma var iken EM destekli bitkilerle bu verim % 90'ları aşmıştır.

Bu çalışmanın atıksuda fazla bekleme sebebiyle özellikle arazinin değerli ve yoğun yerleşim alanlarında uygulamasının zorluğu yanında, diğer yönlerden oldukça uygun olduğu belirlenmiştir.

Yani yeterli bekleme süresine sahip yerlerde uygulanabilir (Ocakov vd., 2007).

3.3.2. İstanbul Atıksularında Uygulanabilirlik Çalışması

Marmara denizine ve su havzalarına deşarj edilen atıksuların ileri biyolojik arıtmadan geçirilmesi, Boğaza ve Karadenize deşarj edilen atıksuların 1. kademe ön arıtma ve ileri biyolojik arıtmadan geçirilmesi Master planda uygun görülmüştür (Altay vd., 2001). İstanbul'da atıksular havza bazlı olarak ele alınarak arıtma tesisleri buna göre inşa edilmektedir. Son zamanlarda Marmara Denizindeki müsilaj da göstermektedir ki, İstanbul da kurulu bulunan tesisler acilen iyileştirilmeli (MBR veya daha fark ileri biyolojik arıtma seçenekleri uygulanma-

lıdır.) yeni inşaatlar artık kesinlikle 3. Kademe ileri biyolojik arıtma olmalıdır (İSKİ Master Plan, 1999).

3.3.2.1. İstanbul'da Mevcut Tesislerin Kirlilik Değerlendirmesi

İstanbul da mevcut atıksu arıtma tesislerinden biyolojik olanların teoride %90'dan fazla olsada gerçekte %80- 85, verim faktörü ise 0.8-0.85 dür.

Ön arıtma tesislerinin kirlilik önleme de ki payı % 2-3 tür. Arıtma sonrası "Marmara'ya, Boğazlar ve Karadeniz"e verilen suların miktarı %60 dan fazladır. Sanayi tesislerinden gelen kirlilikler yüklerinin kontrolü problemlidir. Tesislerin kontrol ve denetimleri ile toplam kirlilik yükü 1/3 mertebesinde azaltılabilinir (Yinanç, 2006).

İstanbul daki uygulama çalışmalarımızda, laboratuvar çalışmaları başarılı iken arazi uygulamalarından istenen/hedeflenen sonuç elde edilememiştir. Ambarlı atıksularının diyatomeler kullanılarak arıtılma çalışması tablo 3'de sunulmuştur. Ayrıca sanayi suyunda, kanala sürekli yüksek konsantrasyonlu su deşarjlarının yapılmasında istenilen verimin sağlanamamasına zemin hazırlamıştır. Çalışmada %30 civarında bir verim elde edilmiştir.

Tablo 3. Ambarlı atıksularının diyatomeler kullanılarak arıtma çalışması (laboratuvar)

Parametre (Kompozit)	**AKM** (mg/l)	**KOI** (mg/l)	**TN** (mg/l)	**TP** (mg/l)
Tesis Giriş Numunesi (29.08.2019)	240	354	45,2	3,6
Tesis Giriş Numunesi (30.08.2019)	220	487	46,7	3,8
Diyatome Çalışması I. (30.08.2019)	196	377	37,6	4,9
Diyatome Çalışması II. (03.09.2019)	14	25	1,1	0,3
Tesisin o güne ait rutin giriş numunesi sonucudur.				

3.3.2.2. İstanbul Ambarlı'dan Alınan Atık Sular Üzerine Yapılan Uygulama

Yapılan bu çalışma, birçok defa temizleme işlemi yapılan, deniz ile bağlantısı olan ancak deniz suyunun içeri girememesi sebebiyle bir türlü temizlenemeyen ve durağan durumdan dolayı da kokuşan, Kadıköy'deki Kurbağlı derenin de temizlenmesine ışık tutacak bir çalışmayı esas almıştır. Bu amaçla, su karakterleri birbirine yakın olan, uygun konumdaki benzer bir atık su arıtma tesisi yani, Ambarlı ATT'ye gelen atık sular üzerinden numuneler alınarak çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada, gündüzleri doğal ışık ortamında, geceleri ise her biri 250 watt ışık veren 4 adet lambanın sisteme dahil edilmesi ile, suni ışık ortamında ve 24

saat boyunca kesintisiz olarak uygulanmıştır. Öncelikle mevcut atıksuyun ilk durumu analiz edilmiştir. Suyun içerisinde bulunan çözünmüş oksijen (ÇO), pH, KOI, BOI, Askıda Katı Madde (AKM), ölçümlenmiştir.

Daha sonra özeldiyatome solüsyonu uygulanmıştır. Atıksu için 1:2000-1:5000 seyrelme oranı, temizsu için 1:10000'den 1:50000' olarak uygulanmıştır. Temiz suda kullanılan maddenin miktarının az olması, dolayısıyla da maliyeti atıksuya nazaran daha düşük olmaktadır.

Laboratuvardaki çalışmada; 35 litrelik suya özel diyatome içeren çözelti 1:2000 oranı ile uygulanmıştır. Sabah saat 5 te uygulama başlamış (29.08.2019-03.09.2019) ve 4 gün sürmüştür. Alınan numune İSKİ laboratuvarlarında analiz ettirilmiştir. Sonuçta; AKM: 14 (%94,2), KOI:25 (%93), N:1,1 (%97,6), P:0,3 (%91,7) değerler elde edilmiş, suyun tam olarak berraklaşması ise 100 saati bulmuştur. Bu zaman dilimi 4 günden fazlaya tekabül etmektedir.

Yapılan araştırma sonucunda, çok fazla bekleme süresinin atıksu miktarların çok fazla olduğu kentsel atıksularda uygun olamayabileceği, yer koşulları sebebiyle kentsel arıtma seçeneğinin pahalı bir seçenek olduğu görülmektedir.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Ekolojik verimliliği yükselten her çalışma, aynı zamanda ekonomik bir modeldir. Bu faaliyetler çevreselliği de arttırarak, sürdürülebilir bir kalkınma ile doğal kaynakların verimli kullanımında da sürdürülebilir bir rol oynar.

Yapılan bu çalışma ve devamında yapacağımız diğer çalışmalar, esasen biribirinden farklı etapları olan bir bütünün parçalarıdır. Çalışmalar sadece bizim yaptığımız çalışma ve uygulama örnekleri de değildir. Yurtdışı ve yurt içinde benzer çalışmalar ve uygulamalar yapacaklara klavuzluk yapacak, ışık tutacaktır.

Diyatomeler; bugün itibarıyla birçok ülkede farklı amaçlarla ticarileştirilen ve durgun sularda oluşan algler başta olmak üzere, kirletilmiş göl veya baraj sularının temizlenmesi ile atıksu arıtımında kullanılmaktadır.

1. Diyatome bazlı bu solüsyonların biyolojik yaşama zehirlilik etkisi yoktur.
2. Benzerlerinden 5-10 kat arası daha az kullanım oranı yeterlidir. Özellikle, temiz sularda alglere karşı 1:30000 mertebesinin bile kullanımında oldukça başarılı sonuçlar alınmıştır.
3. Ambarlı ATT'ye gelen atık sular üzerinden numuneler alınarak yapılan laboratuvar çalışmaları; gündüzleri doğal ışık ortamında, geceleri ise her biri 250 watt ışık veren 4 adet lambanın sisteme dahil edilmesi ile, suni ışık ortamında ve 24 saat boyunca kesintisiz olarak uygulanmıştır.
   Özel diyatome içeren çözelti atuksuya uygulanmıştır. Bu özel solüsyonun

uygulama oranı atıksu için 1:2000 ila 1:5000 olarak uygulanmıştır. Su kirliliğinde 1:10000 ila 1:50000 olarak uygulanmıştır. 4 gün süren çalışma sonunda aşağıdaki değerler elde edilmiştir. AKM: 14 (%94,2), KOI: 25 (%93), N:1,1 (%97,6), P: 0,3 (%91,7)

4. Özel diyatome içeren bu ve benzer nitelikli malzemelerin, biyolojik ve algal kirliliğe uğramış göl ya da su temin edilen barajlarda oldukça başarılı bir şekilde, tehlikesizce kullanılabileceği tavsiye edilir.
5. Özel diyatome içeren bu ürünün müsilaj için deniz ortamında özellikle sahişle yakın alanlarda kullanımı ve uygulanması çalışmasıda acilen tamamlanmalıdır.

   Özel diyatome içeren bu ürünün (Blue Ponds) kullanımında ek ışıklandırma etkisiyle mükemmel bir verim sağlanmıştır. Koku büyük ölçüde giderilmiş, yosunlar tamamen ortadan kaldırılmış, su kalitesinde gözle görülen büyük iyileşmeler sağlanmış, çözünmüş oksijen oranı artarken, BOI ve KOI' ve N, P gibi değerlerde de oldukça önemli boyutlarda azalma gözlenmiştir. Uygulamada kullanılan dozaj spekler'de belirtilen 1/2000 ila 1/10000 oranlarından 1/10000 seyreltme oranı kullanılmış ve bu oran önemli bir ölçüde yeterli olmuştur.

KAYNAKÇA

1. Altay A., Eroğlu V., Sarıkaya H.Z., & Patan M. (2001). İstanbul'da kanalizasyon hizmetlerinin tarihçesi, 1.Türk Bilim ve Teknoloji Tarihi Kongresi, Türk Bilim Tarihi Kurumu, 5-7 Kasım.
2. Apt, KE; Kroth-Pancic, PG; Grossman, AR. (1996). Ptomeodactylum tricornutum diyatomunun kararlı nükleer dönüşümü. Mol Gen Genet. (5), 572-579.
3. Bartual, A ., & Gálvez, LA. (2002). Doygunlaştırıcı ve doyurucu ışık rejimleri altında farklı pH ve inorganik karbon seviyelerinde diatom Phaeodactylum tricornutum'un büyüme ve biyokimyasal bileşimi. Botanica Marina, 45(6), 491-501.
4. Cansaran, D. (2018). Su sorunsalının Nedenleri ve Tehditlerine Yönelik Değerlendirmeler, Sosyal Bilimler Yönetim ve Çevre (Bilimsel Araştırmalar Kitabı), (Ed. M Fedai Çavuş ve İbrahim Demirkale), Akademisyen Kitabevi, Ankara.
5. Cansaran,D (2020). Sürdürülebilir kent ve yaşam, Çevre ve Insan Kitabı (Ed.Arzu Cansaran), Eğiten Kitap, Ankara.
6. Cox, EJ. (1996).Tatlı Su Diyatomelerinın Canlı Malzemeden Tanımlanması. Chapman & Hall: Londra, 1996.
7. De Stefano, L., Rea, I.; Rendina, I., De Stefano, M., & Moretti, L. (2007) merkezli deniz diyatomu Coscinodiscus walesii ile odaklanan merceksiz ışık . Optics Express 15(26), 18082-18088.
8. Demirbaş, A. (2006). Küresel biyoyakıt stratejileri. Enerji Eğitimi Bilim ve Teknoloji, 17(1-2), 27-63.
9. Dunahay, TG; Jarvis, EE; Dais, SS., & Roessler, PG, (1996). Mikroalgal lipid üretiminin genetik mühendisliği kullanılarak manipülasyonu. Uygulamalı Biyokimya ve Biyoteknoloji, 57-8, 223-231.
10. Dunahay, TG; Jarvis, EE; & Roessler, PG. (1995). Cyclotella cryptica ve Navicula saprophila diyatomelerinın genetik dönüşümü. Journal of Phycology, 31(6), 1004-1012.
11. Dunahay, TG; Jarvis, EE; Zeiler, KG; Roessler, PG; & Brown, LM. (1992). Yakıt üretimi için mikroalg genetik mühendisliği: bilimsel not. Uygulamalı Biyokimya ve Biyoteknoloji, 34-5, 331-339.
12. Friedman, AL, & Alberte, RS. (1986). Biyojenez ve diyatomelerin ana hafif hasat klorofil proteininin ışık düzenlenmesi. Plant Physiol, 80(1), 43-51.
13. Goldman, JC., & McGillicuddy, DJ. (2003). Düşük ışıkta büyüyen büyük deniz atomlarının epizodik yeni üretime etkisi. Limnoloji ve Oşinografi,

48(3), 1176-1182.
14. Gordon, R. (2010). Diyatomeler ve nanoteknoloji [Davetli]. In Diyatomeler: Çevre ve Yer Bilimleri için başvurular, Smol, JP., Stoermer, EF, Eds. Cambridge Üniversitesi Basını: Cambridge, 2, 21 Aralık 2008
15. Gordon, R. &Tambur, RW. (1994). İki atomlu morfogenez için kimyasal temel. Int. Rev. Cytol, 150, 243-372.
16. Hall, DO. & Ev, JI. (1995). Biyokütle: modern ve çevreye duyarlı bir yakıt. Güneş Enerjisi Malzemeleri ve Güneş Pilleri, 38, 521-542.
17. https://conmelbio.com
18. https://www.nualgilakes.com/
19. Hu, Q; Sommerfeld, M ., Jarvis, E .; Ghirardi, M .; Posewitz, M .; Seibert, M. & Darzins, A. (2008). Microalgal, biyoyakıt üretimi için hammadde olarak triasilgliseroller: bakış açıları ve gelişmeler. Plant Journal, 54,(4), 621-639.
20. **İSKİ,** İstanbul su temini, kanalizasyon ve drenaj, Atıksu Arıtma ve Uzaklaştırma
21. Killops, SD; & Killops, VJ. (2005). Organik Jeokimyaya Giriş. 2. baskı; Blackwell Yayınları: Malden, MA.
22. Martinot, E. (2008). Yenilenebilir 2007 küresel durum raporu. Dünya Gözlem Enstitüsü: Washington, DC.
23. Mitchell, E. (2008). Diatom nanoyapıları ışığı büker. http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/7608369. stm
24. Nagle, N., & Lemke, P. (1990). Mikroalglardan metil ester yakıt üretimi. Uygulamalı Biyokimya ve Biyoteknoloji, 24-25(1), 355-361.
25. Neenan, B .; Feinberg, D .; Hill, A .; McIntosh, R ., & Terry, K. (1986). Microalgae'den yakıtlar: Teknoloji durumu, potansiyel ve araştırma gereksinimleri. Publ. No. SERI / SP-231-2550 . Güneş Enerjisi Araştırma Enstitüsü: Golden, CO.
26. **Ocakov H.O.,** & Yinanç A.A. (2007). Kanallarda temizlenme prosesinde özel bakterilerdan yararlanma olunmasının inceleme ve tatbikatı // Azerbeycan Texniki Universitetinin Elmi eserleri, 2, 104-109**.**
27. Princen, LH. (1982). Tarımdan alternatif endüstriyel hammaddeler. Ekonomik Botanik, 36(3), 302-312.
28. Raniello, R., Iannicelli, MM., Nappo, M; Avila, C., & Zupo, V. (2007). Biyoteknolojik uygulamalar için parti kültürlerinde ve biyoreaktörlerde Cocconeis neothumensis (Bacillariophyceae) biyokütle üretimi : ışık ve besin gereksinimleri. Uygulamalı Fitoloji Dergisi, 19(4), 383-391.
29. Roberts, K; Granum, E., & Leegood, RC. (2007). Denizel diyatomelerda

kuzgun, JA, C3 ve C4 fotosentetik karbon asimilasyon yolları çevresel değil, kontrol altındadır. Plant Physiol, 145(1), 230-235.
30. Sakaue, K .; Harada, H., & Matsuda, Y. (2008). Çok çeşitli orijinli viral promotörler kullanılarak bir deniz diatomunda gen ekspresyon sisteminin geliştirilmesi. Physiol Plant, 133(1), 59-67.
31. Sheehan, J .; Dunahay, T .; Benemann, J., & Roessler, P. (1998). ABD'nin enerjinin sucul türleri programına geriye bakış: yosunlardan biyodizel. Yakın Çekim Raporu [NREL / TP-580-24190] . Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı: Golden, Colorado.
32. Tadros, MG., & Johansen, JR. (1988). Güneydoğu Amerika Birleşik Devletleri›nden gelen altı lipit üreten diatomun fizyolojik karakterizasyonu. Journal of Phycology, 24(4), 445-452.
33. Tolomio, C. (2004) Yaklaşımın açıklanması döküm çiçeği, İtalyan, İtalyan, İtalyan, İtalyan, Venedik Diatom Research, 19(1), 81-101.
34. Whittington, T. (2006). Biyodizel üreticisinin ve çiftçilerin kullanımı: düşünmeye değer mi? Tarım ve Gıda Dairesi, Batı Avustralya Hükümeti: Perth.
35. Wilhelm, C. vd., (2006). Diyatomelerdaki karbon ve besin asimilasyonunun düzenlenmesi yeşil alglerden önemli ölçüde farklıdır. Protist, 157(2), 91-124.
36. Yinanç A. (2021). The use of diatometes for different water and wastewater treatment. desalination and water treatment, 209, 82-90., Doi: 10.5004/dwt.2021.26568
37. Yinanç A. (2019). The use of dıatomatıcs for purıfıcatıon and energy, productıon ınternational euroasia congress on scientific researches and recent trends-V, December 16-19, Baku, Azerbaijan.
38. Yinanç A. (2006). Kanalda çirkli suların temizlenme prosesininar aştırılması // Azerbaycan Texniki Universitetinin Elmi eserleri, 3, 76-87
39. Yuvarlak, FE; Crawford, RM., & Mann, DG. (1990). Generalin Diyatomeleri, Biyolojisi ve Morfolojisi. Cambridge Üniversitesi Yayınları: Cambridge.
40. Yüceyurt M., & Yinanç A. (2005). Kozan arıtma tesisi rehabilitasyon projesi çalışmaları. İstanbul: Kozan Beylediyesi, 12-21.

✔ 8. Bölüm

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ TABANLI ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME ÇALIŞMALARINDA TEMATİK HARİTALARIN STANDARDİZASYON YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Ferit YAKAR[1]

1 Doç. Dr. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tokat, Türkiye

1. Giriş

Çeşitli yatırımlar için yer seçini, yol güzergah belirleme, heyelan duyarlılık analizi, vb. pek çok altyapı yatırımlarının karar verme çalışmaları konumsal veri kullanımını gerektirmektedir. Yoğun konumsal veri kullanımını gerektiren bu tür çalışmalarda Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanımı büyük kolaylık sağlamaktadır (Malczewski, 2006). Ayrıca, bu gibi çalışmalarda çoğu kez birbiriyle çelişebilen birçok kriterin bir arada kullanılması gerekmektedir. Bu tür karar verme durumları Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV), yapılan değerlendirme ise Çok Kriterli Değerlendirme (ÇKD) olarak adlandırılmaktadır (Bilgiç, 2002).

CBS ve ÇKKV'yi bir arada kullanmayı mümkün kılan birçok yöntem vardır. En çok kullanılan yöntemlerden birisi, Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme (ADB) yöntemidir. Bu yöntemde her bir kritere önemine göre bir ağırlık atanır ve kriter ağırlıkları ile kriter değerlerinin çarpımları toplanarak sonuç elde edilir. Bir kriterdeki büyük bir değerin diğer kriterlerdeki düşük değeri telafi edebileceği bu yaklaşım, CBS ile kullanım için çok uygundur. Bu yaklaşımda her bir kriter tematik haritalarla temsil edilmektedir. Bu tematik haritalar daha sonra kendilerine atanan ilgili ağırlıklar dikkate alınarak üst üste bindirilir. Böylece çalışma alanındaki hücrelerin önceden belirlenen amaca uygunluğunu gösteren tek bir harita elde edilir. Bu yöntemde, farklı kriterleri temsil etmek için kullanılan ve farklı birimlere sahip olan tematik haritaların ortak bir birime dönüştürülmesi, yani standardize edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada örnek olarak, bir karayolu güzergahı belirleme çalışmasına ait kriter haritalarının standardizasyon işlemi incelenmiştir. Standardizasyon işlemlerinin tamamı verilmemiş, bunun yerine sadece yaklaşımın felsefesini gösteren bazı örnek standardizasyonlar verilmiştir. Örnek standardizasyonların tamamı raster tabanlı bir CBS yazılımı olan IDRISI yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

2. Tanımlar

2.1. Tematik Harita Standardizasyon Kavramları

Tematik haritalar, insanla ilgili çeşitli konuları inceleyen ve bu konulara ait değerlerin yeryüzündeki dağılımını veya konumunu özel teknikler kullanarak gösteren haritalardır (Koçak, 1985). Bazı kriterler tek bir tematik harita (jeolojik yapı kriteri gibi) ile gösterilebilirken, bazıları birkaç tematik haritanın bir arada kullanılmasıyla gösterilebilir ("toprak kirliliği" kriterinin tematik haritasının oluşturulabilmesi için "eğim" ve "tarım toprağına uzaklık" tematik haritalarının birlikte kullanılması gibi).

Farklı tematik haritaların birlikte kullanılabilmesi sırasında bir sorun ortaya çıkmaktadır: Kriterler ve dolayısıyla kriterleri temsil eden tematik haritalar ge-

nellikle farklı birimlere sahiptirler. Örneğin; "jeolojik yapı" tematik haritasında birim jeolojik sınıflarken, "tarım topraklarına uzaklık" tematik haritasında birim metre, "eğim" tematik haritasında birim derecedir (veya %). Farklı birimlere sahip bu tematik haritaları anlamlı bir şekilde birleştirmek ve karşılaştırmak için bu tematik haritaların ortak bir birime dönüştürülmeleri gereklidir. Bu işleme standardizasyon adı verilir.

Bu çalışmada, bir karayolu güzergahı belirleme çalışmasına ait kriter haritalarının standardizasyon işlemi incelenmiştir. Örneklerde Tokat ilinde küçük bir bölgenin haritaları kullanılmıştır. Standardizasyon işlemlerinin tamamı verilmemiş, bunun yerine sadece yaklaşımın felsefesini gösteren bazı örnek standardizasyonlar verilmiştir. Örnek standardizasyonların tamamı raster tabanlı bir CBS yazılımı olan IDRISI yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Standardizasyonda 0-255 ölçeği kullanılmıştır (en uygun olan yerler 255, uygun olmayan yerler ise 0 değerini almıştır).

2.2. IDRISI

Halihazırda kullanımda olan birçok CBS yazılımı bulunmaktadır. Bu çalışmada IDRISI kullanılmıştır. IDRISI, raster tabanlı bir CBS yazılımıdır. Diğer yazılımlar ile veri aktarımı yapabilir. Modüller, çoğu bağımsız program olan IDRISI'nin temel unsurlarıdır. IDRISI'yi diğer CBS yazılımlarından ayıran en önemli özelliklerinden biri de karar destek alanındaki yetenekleridir. IDRISI'nin bazı modülleri, özellikle çok amaçlı çok kriterli kaynak tahsis problemlerine yönelik olmaları ve belirsizliği ele alma yetenekleri nedeniyle benzersizdir. IDRISI hakkında detaylı bilgi Eastman (2003)'de bulunabilir.

3. Standardizasyon Yöntemleri

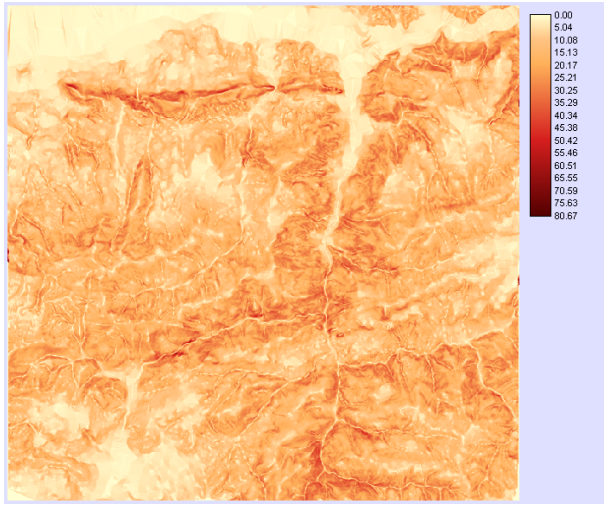
Standardizasyon konusu, tek bir tematik harita ile temsil edilebilecek kriterlerin standardizasyonu ve birkaç tematik haritanın bir arada kullanılması ile temsil edilebilecek kriterlerin standardizasyonu olmak üzere iki başlık altında ele alınabilir.

3.1. Tek Tematik Haritayla Temsil Edilen Kriterlerin Standardizasyonu

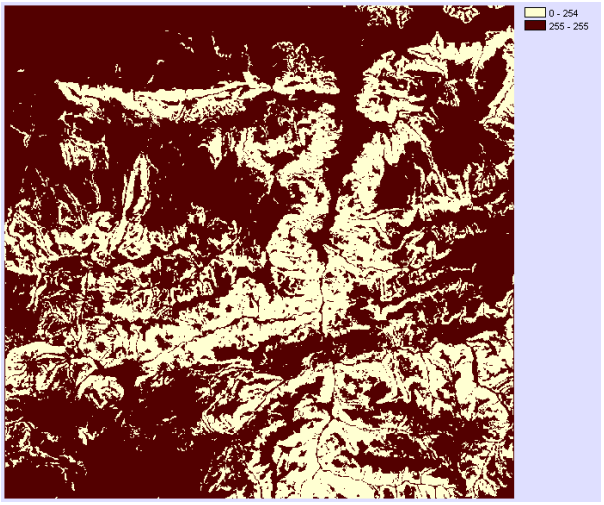
Tematik haritaların standardizasyonunda, harita türüne ve seçilen birleştirme yöntemine göre üç standardizasyon yönteminden biri kullanılabilir. Bu yöntemler şunlardır: Boolean (ikili) standardizasyon, sınıflı standardizasyon ve sürekli standardizasyon.

3.1.1. Boolean (İkili) Standardizasyon:

Bu yöntemde çalışma alanı, ilgili kritere uygunluğuna göre "uygun" ve "uygun değil" olarak ikiye ayrılır. Çoğunlukla, karar verici tarafından herhangi bir nedenle kullanılması mümkün olmayan veya tercih edilmeyen yerleri maskelemek/yasaklamak için kullanılır. Şekil 1.'de gösterilen eğim tematik haritasının standardizasyonu örnek olarak verilebilir. Bu örnek standardizasyonda; eğimi 17,49^0' den düşük olan yerler "uygun" olarak tanımlanarak 255 değerini almıştır (standardizasyoında 0 -255 ölçeği kullanıldığı için). Diğer yerler (eğimi 17,50^0'ye eşit ya da büyük olan yerler) ise "uygun değil" olarak tanımlanarak 0 değerini almıştır. Ortaya çıkan standardize edilmiş harita Şekil 2.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Eğim kriterini gösteren tematik harita (derece)



Şekil 2. Boolean (ikili) standardizasyon yöntemine göre standardize edilmiş olan eğim tematik haritası

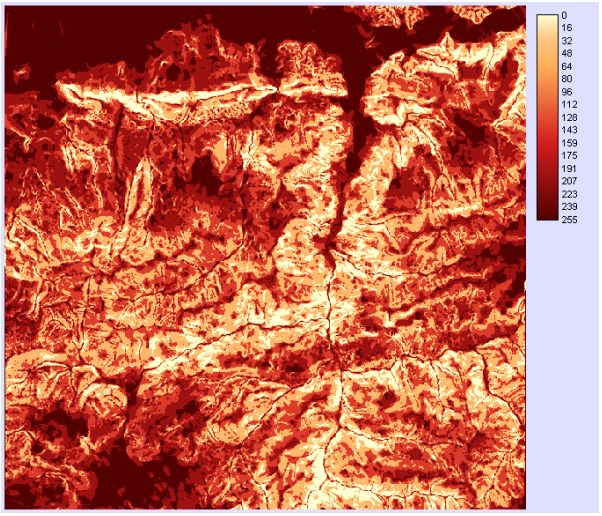
Bu yöntem kullanımı kolay bir yöntemdir; ama bazı dezavantajları var. Bu yöntemde, ilgili kriter dikkate alınarak bir yerin uygunluğu hakkında kesin hükümler vermek gerekir ve uygun ve uygun olmayan alanlar arasında keskin bir çizgi oluşturulur. Örneğin yukarıda verilen örnek standardizasyonda, eğimi 17.49^0 olan yer "uygun" olarak etiketlenirken, hemen yanında bulunan ve eğimi 17.50^0 olan yer "uygun değil" olarak etiketlenir. Ayrıca uygun sınıftaki tüm yerler eşit derecede uygun olarak kabul edilir. Örneğin eğimi 0^0 olan yer ile eğimi $17,49^0$ olan yer arasında hiçbir fark yoktur. Bu yaklaşım gerçekçi değil.

3.1.2 Sınıflı Standardizasyon

Birçok çalışmada standardizasyon işlemi, "kriter değer aralığının sınıflara bölünmesi ve bu sınıflara tercih derecelerine göre standardizasyon değerleri verilmesi" şeklinde uygulanmaktadır. Yukarıdaki eğim örneği ile devam edilirse, eğimlerin standardizasyonu için Tablo 1.'de gösterilen sınıflandırma kullanılabilir. Bu sınıflandırmaya göre standardize edilmiş olan tematik eğim haritası Şekil 3'te gösterilmiştir.

Tablo 1. Eğim sınıflarının standardizasyon değerleri

Eğim Sınıfları (^{0}) Sınıfları (0)	**Standardizasyon değeri**
0.00 - 4.99	255
5.00 - 10.49	200
10.50 - 17.49	140
17.50- 26.99	50
27.00 - 161.00	0

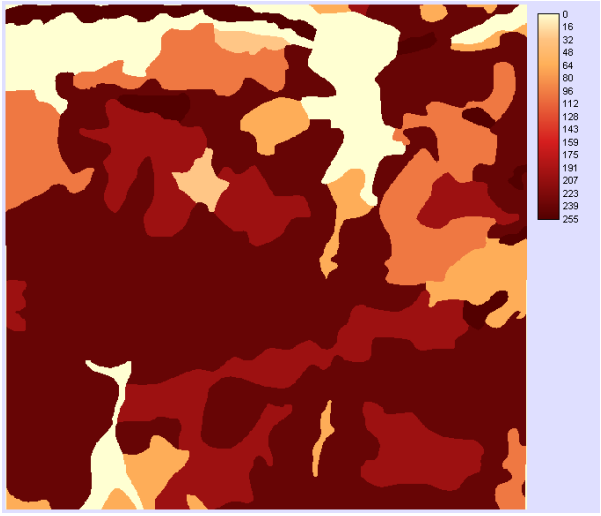


Şekil 3. Sınıflı olarak standardize edilmiş eğim tematik haritası

Bu yöntem de kullanımı kolay bir yöntemdir: ancak bu yöntemin de benzer sakıncaları vardır. Bu yöntemde de sınıfların standardizasyon değeri hakkında kesin yargılarda bulunmak gerekir ve sınıflar arasında keskin çizgiler oluşur. Bu nedenle süreklilik sağlanamaz. Örneğin eğimi 17,49^0 olan yer 140 uygunluk değeri alırken, eğimi 17,50^0 olan yer 50 uygunluk değeri alır. Ayrıca aynı sınıftaki tüm yerler eşit derecede uygun kabul edilir. Örneğin eğimi 10.50^0 olan yer ile eğimi 17.49^0 olan yer arasında hiçbir fark yoktur. Dolayısıyla bu yaklaşım da gerçekçi değildir. Sınıflar arası devamlılığın sağlanabileceği bir standardizasyon daha uygun olacaktır.

Öte yandan bazı tematik haritalar doğası gereği sınıflardan oluşmalıdır. Örneğin, toprak sınıflarını veya jeolojik katmanları gösteren bir tematik harita zorunlu olarak sınıflardan oluşmalıdır. Bu tür tematik haritalara sürekli standardizasyon uygulamak mümkün değildir. 0-255 ölçeğindeki uygunluk değerlerinin 8 zemin yetenek sınıfına atandığı standardize edilmiş toprak sınıfları haritası Şekil 4'te verilmiştir. Bu tür haritalar Boolean standardizasyonu yaklaşımına göre de

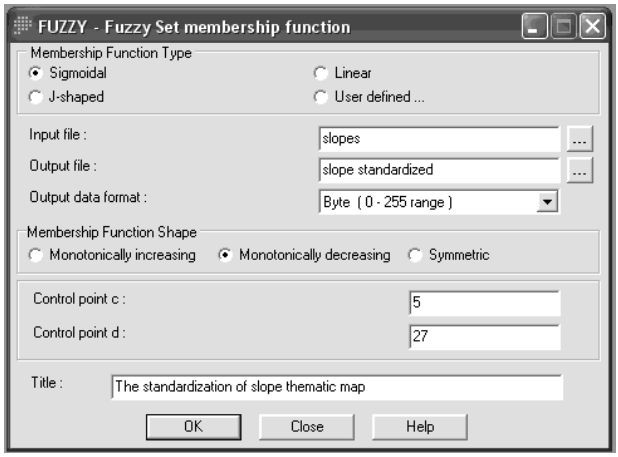
standardize edilebilir, çünkü Boolean standardizasyonu, sınıflarla standardizasyonun özel bir durumudur: sadece iki sınıftan oluşan bir sınıflı standardizasyondur. (Benzer şekilde, sürekli standardizasyon, sınıflarla standardizasyonun özel bir durumu olarak tanımlanabilir: sınıf sayısı arttıkça, ortaya çıkan harita sürekli standardizasyon haritasına benzer).



Şekil 4. Toprak sınıfları haritası

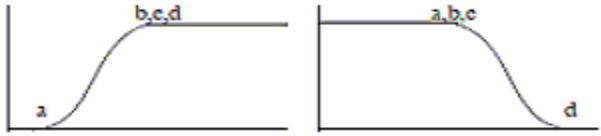
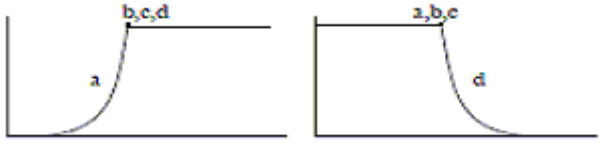
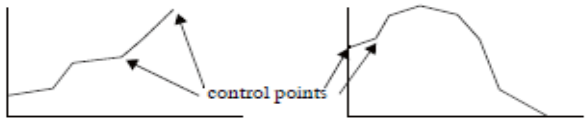
3.1.3. Sürekli Standardizasyon

Standardizasyondaki süreklilik problemlerini çözmenin en iyi yolu, uygun kriter haritalarının standardizasyonunda bulanık küme fonksiyonlarını kullanmaktır. Bulanık Kümeler, 0 ile 1 arasında değişen bulanık üyelik değerleri ile karakterize edilir. 0, üyelik yok durumunu, 1 ise tam üyelik durumunu ifade eder. IDRISI yazılımı, standardizasyon işlemlerinde bulanık kümeleri kullanmak için olanaklar içerir (Eastman, 2003). Bu çalışmada standardizasyon işlemlerinde IDRISI yazılımındaki FUZZY modülü kullanılmıştır (Şekil 5). FUZZY modülünde Sigmoidal, J şekilli, Lineer ve Kullanıcı Tanımlı olmak üzere 4 tip üyelik fonksiyonu bulunmaktadır (Tablo 2). Kriterlerin standardizasyonunda, uygun kritik değerler (a, b, c, d) atanarak bu fonksiyonlardan en uygunu kullanılabilir.



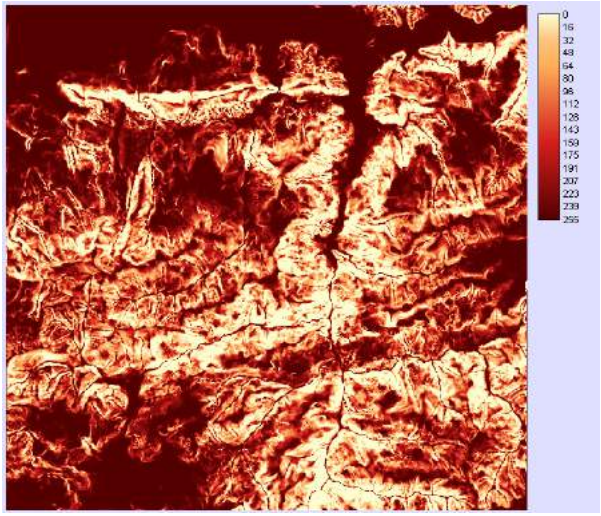
Şekil 5. IDRISI yazılımının FUZZY modülü

Tablo 2. Fuzzy (bulanık) fonksiyonlar

Fonksiyon tipi	**Fonksiyon grafiği**
Sigmoid fonksiyon	
J şekilli fonksiyon	
Doğrusal fonksiyon	
Kullanıcı tanımlı fonksiyon	

Eğim örneği ile devam edilirse; 0^0 ile 5^0 arasında eğimi olan yerlerin tam uygun (uygunluk=255) olarak tanımlandığı, 5^0'den 27^0'ye uygunluğun sürekli azaldığı ve 27^0'de 0'a ulaştığı bir standardizasyon elde etmek için; a=b=c=5^0 ve d=27^0 kritik noktaları ile monoton azalan bir Sigmoid fonksiyon kullanılabilir. Bu şekilde standardize edilen tematik harita Şekil 6.'da görülmektedir. Şekilden de

anlaşılacağı gibi bu standardizasyonda süreklilik büyük ölçüde sağlanmakta ve keskin sınırlar ortadan kaldırılmaktadır. Yukarıda bahsedildiği gibi, sınıflardan oluşan haritaların (toprak çeşitleri haritası gibi) sürekli standardizasyonu mümkün değildir.



Şekil 6. Sürekli standardize edilmiş eğim haritası

3.2. Birden Fazla Tematik Haritanın Birlikte Kullanılmasıyla Temsil Edilen Kriterlerin Standardizasyonu

Bazı kriterler ancak birkaç tematik haritanın bir arada kullanılmasıyla gösterilebilir. Örneğin, yol güzergahı belirlenirken dikkat edilmesi gereken kriterlerden biri toprak kirliliği kriteri olabilir. Karayoluyla ilgili toprak kirliliği iki boyutta düşünülebilir: karayolu kullanıcıları tarafından salınan emisyon miktarı ve maruz kalan alanın türü. Eğimin artması ile emisyon miktarı arttığı için bu açıdan düşük eğimli alanlar tercih edilecektir. Öte yandan, verimli toprakların kirliliğe maruz kalacak alanını azaltmak için karayolu, tarım topraklarından mümkün olduğunca uzaktan geçirilmelidir. Yani çalışma alanındaki hücrelerin uygunluğu hem eğime hem de tarım topraklarına olan uzaklığına bağlıdır. Bu iki konunun tematik haritalarını birleştirmeyi mümkün kılmak için tematik haritaların her birini ayrı ayrı standardize eden ve matematiksel veya mantıksal bir işlemle birleştiren bir yöntem kullanılabilir.

Tematik haritaların ayrı ayrı standardizasyon sürecinde üç standardizasyon yönteminden biri (Boolean, sınıflı veya sürekli) kullanılabilir. Bu kombinasyondan 9 farklı durum ortaya çıkmaktadır (Tablo 3):

Tablo 3. Birleştirilecek tematik haritaların standardizasyonu sırasında ortaya çıkabilecek ihtimaller

Standard. tipi	1. haritanın stan. yöntemi	2. haritanın stan. yöntemi
1	Boolean	Boolean
2	Boolean	Sınıflı
3	Boolean	Sürekli
4	Sınıflı	Boolean
5	Sınıflı	Sınıflı
6	Sınıflı	Sürekli
7	Sürekli	Boolean
8	Sürekli	Sınıflı
9	Sürekli	Sürekli

Yukarıdaki tabloya göre oluşturulan haritaların tamamı yer darlığı nedeniyle verilememektedir. 1 (boolean-boolean), 5 (sınıflı-sınıflı) ve 9 (sürekli-sürekli) numaralı standardizasyonlar aşağıda analiz edilmektedir.

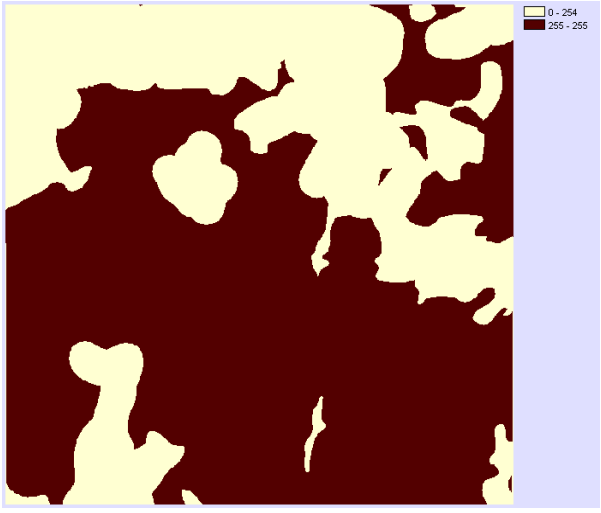
Ayrı ayrı standartlaştırılmış tematik haritaları birleştirmek için farklı alternatifler vardır: Değerlerin en düşük olanını almak, en yüksek olanını almak, ortalamasını almak (aritmetik, geometrik, harmonik, kareköklü), sıralı ağırlıklı ortalama kullanmak, kartezyen çarpım almak, vb. (Günay, 2006 ve Atkinson ve diğerleri, 2005). Bu işlemlerin her birinin farklı anlamı vardır. En yaygın ve en kolay işlemler en düşük olanı almak, en yüksek olanı almak, ortalamayı almak ve cebirsel çarpımı almaktır.

En düşük değeri almak temkinli bir işlemdir. Bu işlemde, bir hücrenin nihai uygunluk değeri, bileşen tematik haritalardan gelen değerlerin en düşük olanıdır. Toprak kirliliği örneğine dönülürse; eğer bir hücre eğim kriteri açısından çok uygunsa ancak tarım topraklarına çok yakınsa (yani uygunluk değeri düşükse), bu hücre toprak kirliliği kriterleri için bu düşük uygunluk değerini alacaktır. Genel olarak, her iki bileşen tematik haritada da uygunluk değeri yüksek olan hücrelerin yüksek uygunluk değeri alacağı, diğer hücrelerin ise düşük uygunluk değeri alacağı söylenebilir.

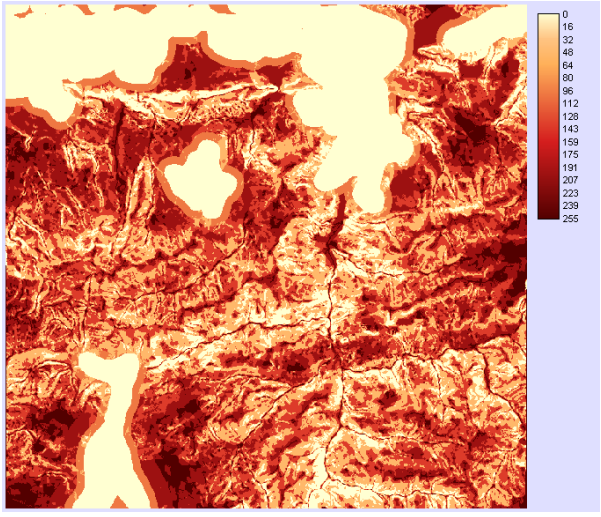
En yüksek değeri almak müsamahakar bir işlemdir. Bu işlemde, bir hücrenin nihai uygunluk değeri, bileşen tematik haritalardan gelen değerlerin en büyüğüdür. Toprak kirliliği örneğine dönülürse; bir hücre eğim açısından çok uygunsa (yani uygunluk değeri yüksekse) ancak tarım topraklarına çok yakınsa, bu hücre toprak kirliliği kriteri için de yüksek uygunluk değeri alacaktır. Genel olarak, bileşen tematik haritalardan en az birinde uygunluk değeri yüksek olan hücrelerin yüksek uygunluk değeri alacağı, sadece her iki tematik haritada da uygunluk de-

ğeri düşük olan hücrelerin düşük uygunluk değeri alacağı söylenebilir.

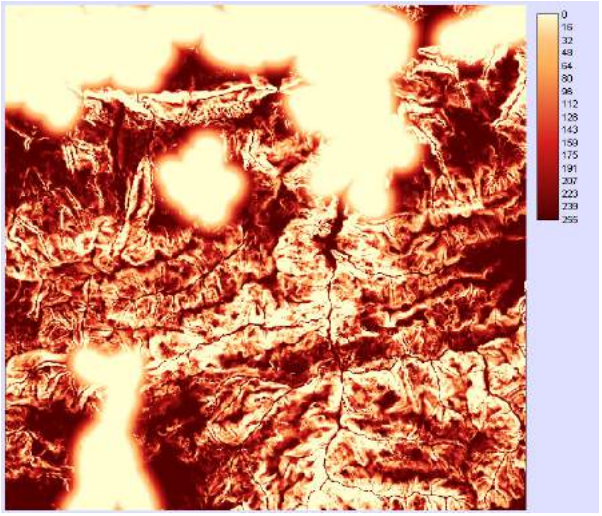
Bu çalışmada örnek olarak yapılan 1 (boolean-boolean), 5 (sınıf-sınıf) ve 9 (sürekli-sürekli) numaralı standardizasyon örneklerinde "en düşük olanı alma" işlemi kullanılmıştır. Şekil 7, 8 ve 9 sırasıyla bu standardizasyonları göstermektedir.



Şekil 7. En düşük değerleri alarak Boolean-Boolean birleştirme

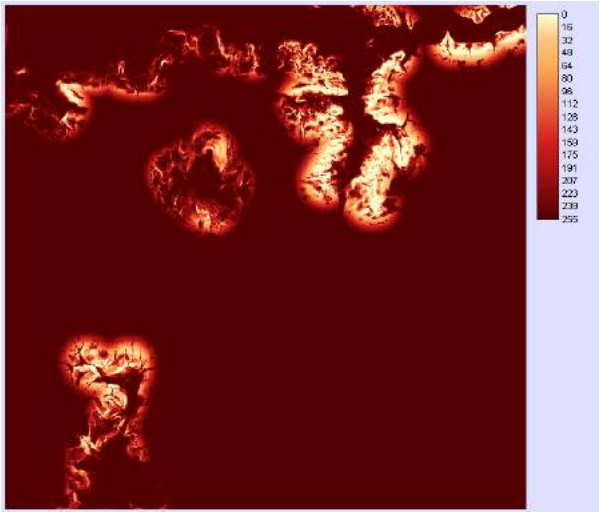


Şekil 8. En düşük değerleri alarak Sınıflı-Sınıflı birleştirme

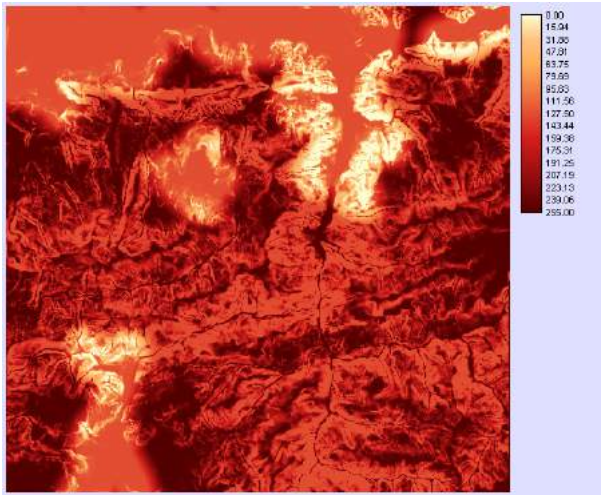


Şekil 9. En düşük değerleri alarak Sürekli-Sürekli birleştirme

Farklı birleştirme işlemleri arasındaki farkları göstermek için 9 numaralı (sürekli-sürekli) standardizasyon örneği; "maksimum alma" (Şekil 10) ve "ortalama alma" (Şekil 11) kullanılarak da yapılmıştır. Farklı birleştirme işlemlerinin ortaya çıkardığı farklar tartışma bölümünde ele alınmıştır.



Şekil 10. En yüksek değerleri alarak Sürekli-Sürekli birleştirme



Şekil 11. Ortalama değerleri alarak Sürekli-Sürekli birleştirme

4. Tartışmalar

Farklı yöntemlerle standardize edilmiş "eğim" ve "tarım topraklarına uzaklık" tematik haritalarının birleştirilmesiyle oluşturulan farklı toprak kirliliği haritaları yukarıda verilmiştir. Bu haritaların oluşturulmasında en düşük değerleri alma işlemi kullanılmıştır. Haritalarda; boolean-boolean standardizasyona ait haritanın sadece iki sınıfı gösterdiği (Şekil 7), sınıflı-sınıflı ve sürekli-sürekli standardizasyonlara ait haritaların farklı renkleri içerdiği gözlemlenmektedir. (Şekil 8 ve 9). Sınıflı-sınıflı standardizasyonda her iki bileşendeki sınıf sayıları artarsa, elde edilen haritanın sürekli-sürekli standardizasyon haritasına benzerliği artacaktır.

Farklı birleştirme işlemleri arasındaki farkları göstermek üzere hazırlanmış olan Şekil 10. ve Şekil 11. incelendiğinde; en fazla alanı uygun gösteren haritanın "maksimum alma" işlemi ile elde edildiği görülmektedir. Bu haritayı sırasıyla "ortalama alma" ve "minimum alma" işlemlerine ait haritalar takip etmektedir.

5. Sonuçlar

Yoğun konumsal veri kullanımını gerektiren yatırım kararı çalışmalarında CBS ve ÇKKV kullanılması büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu tür çalışmalarda ele alınacak kriterleri temsil etmek için kullanılan ve farklı birimlere sahip olan tematik haritaların ortak bir birime dönüştürülmesi yani standardize edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla Boolean standardizasyon, sınıflı standardizasyon ve sürekli standardizasyon yöntemleri kullanılabilir. Üç yöntemin her biri ile standartlaştırılmış tematik haritalar yukarıda verilmiştir. Boolean standardizasyonda, "uygun" ve "uygun olmayan" sınıflar arasındaki keskin sınır nedeniyle süreklilik

sorunu vardır. Ayrıca uygun sınıftaki her hücre eşit uygun kabul edildiğinden, optimum (en iyi) çözümden ziyade kabul edilebilir bir çözüme ulaşılabilmektedir. Sınıflı standardizasyon ise bu olumsuzlukları azaltmakta ancak kısmen de olsa içinde barındırmaktadır. Standardizasyon için en doğal yöntem sürekli standardizasyondur.

Bazı kriterler tek bir tematik harita ile gösterilebilirken, bazıları birkaç tematik haritanın bir arada kullanılmasıyla gösterilebilir. Tematik haritaları birleştirmek için kullanılabilecek çeşitli işlemler olsa da en yaygın yöntemler minimum alma, maksimum alma ve ortalama alma yöntemleridir.

Çalışmada örnek standardizasyonların tamamı IDRISI yazılımındaki modüller kullanılarak yapılmıştır. IDRISI, sahip olduğu modüller sayesinde, tematik haritaları çeşitli yöntemlerle standardize etmek, tematik haritaları farklı işlemler kullanarak birleştirmek ve gerekli karşılaştırmaları çok kolay ve hızlı bir şekilde yapmak için karar vericilere önemli imkanlar sağlamaktadır.

Kaynaklar

1. Bilgiç, Ş. (2002) Türkiye'de Ulaştırma Yatırımlarının Değerlendirilmesi için Çok Ölçütlü Bir Yöntem Geliştirilmesi. Phd. Thesis. İstanbul Technical University.
2. Koçak, E. (1985), Kartoğrafya, Karadeniz Technical University , pp 123-124, Trabzon
3. Malczewski, J. (2006) GIS Based Multicriteria Decision Analysis; A Survey of the Literature. Int. J. Of GIS. Vol 20, No:7, 703-726.
4. Eastman, J. R. (2003) IDRISI Kilimanjaro- Guide to GIS and Image Processing. Clarklabs.
5. Günay, H. (2006) Bulanık Karar Vermede Birleştirme Operatörleri ve Uygulamaları. Master Thesis, Yıldız Technical University.
6. Atkinson, D.M., Deadman, P., Dudycha, D., Traynor, S. (2005). Multi-criteria evaluation and least cost path analysis for an arctic all-weather road. Applied Geography. 25, 287–307.

✔ 9. Bölüm

SÜRDÜRÜLEBİLİR MALZEME YÖNETİMİ İÇİN PLASTİK ATIKLARIN KİMYASAL OLARAK GERİ KAZANIMI

Gamze GÜNDÜZ MERİÇ[1]

1 Dr. Öğr. Üyesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Bilecik, gamze.gunduz@bilecik.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9487-4267,

1. Giriş

Plastikler, 1950'lerden bu yana modern toplumlarda yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Plastik ürünlerin üretiminde kullanılan hammaddeler ağırlıklı olarak yenilenemeyen ham petrol kaynaklıdır. Plastik üretimi için yenilenebilir olmayan hammadde kullanımının, plastik kullanımındaki güçlü büyüme göz önüne alındığında, 2014'te % 6'dan 2050'ye kadar % 20'ye yükselmesi öngörülmektedir [1]. 9,2 milyar tondan fazla işlenmemiş plastik üretildiği ve küresel yıllık plastik üretiminin 2019'dan günümüze 368 milyon tona yükseldiği tahmin edilmektedir [2]. Gıda endüstrisinde, giyimde, konutta ve ulaşımda plastik bazlı ürünlerin düşük üretim maliyeti ve çok yönlü uygulamaları nedeniyle, üretilen plastik malzeme miktarının gelecekte de artacağı tahmin edilmektedir. Büyük üretimin aksine, dünya çapındaki toplam plastik atığın sadece % 10'u geri dönüştürülmüş, % 14'ü ise yakılmış ve geri kalanı çöplüklere boşaltılmış veya çevreye bırakılmıştır [3]. Plastik atıkların geri dönüşümündeki doğru olmayan yönetim anlayışı ve kaybedilen fırsatlar, çoğunlukla karasal ve deniz ekosistemlerinin geniş çapta yayılan plastik kirliliği ile ilgili küresel endişelere yol açmıştır [4]. Plastik atıklar çevreye yayıldığında mekanik ve kimyasal ayrışmaya uğrayarak ortaya çıkan kirleticiler mikro ve nano-plastik partiküllere kadar indirgenebilmekte ve insan sağlığı üzerindeki etkileri henüz anlaşılmadığı için büyük ilgi görmektedirler [5]. Bununla birlikte; atık plastikler, yenilenebilir olmayan fosil yakıtların tamamlayıcısı olan değerli kaynaklar olarak kabul edilmektedir. Plastik atıkların yanlış yönetimi, tamamen biyolojik olarak parçalanabilen ve ekonomik olarak uygulanabilir plastik dönüşüm çözümleri mevcut olana kadar yaygın olarak kullanılan plastik geri dönüşümü için etkili yöntemlerin geliştirilmesini de teşvik etmektedir.

Plastik atıklar için mevcut olarak kullanılan malzeme yönetimi, büyük ölçüde polimer ekonomisinde uygulanan tipik teknolojiler olan yakma ve depolamaya dayanmaktadır. Plastik atıkların geri dönüştürülmesi, ekonomik ve çevresel faydaları teşvik edilebilmekte ve polimer bir malzemeye geçişi sağlanabilmektedir (Şekil 1) [6]. Geri dönüşüm stratejileri, birincil olarak yeniden ekstrüzyon, ikincil mekanik geri dönüşüm, üçüncül kimyasal geri dönüşüm ve enerji geri kazanımı için dörtlü yakmayı içermektedir. Dört yaklaşım arasında, birincil olan geri dönüşüm sadece temiz ve tek kullanımlık plastikler için geçerliyken, mekanik işleme ise önemli sorunlarla karşı karşıya kalmıştır. Sonuncu yaklaşım yeniden işleme döngülerinin sayısı ve geri dönüşüm döngüleri boyunca malzeme özelliklerinin işlenmemiş reçinelere kıyasla bozulması sebebiyle geri dönüştürülmüş plastikler için uygun uygulamalarla sınırlı kalmıştır [7]. Malzeme değer zincirini genişletmek için plastik atıkların katma değerli malzeme ve enerjiye dönüştürülmesi teşvik edilmelidir. Üçüncül kimyasal plastik atık geri dönüşümü, monomerlerin, petrol yakıtlarının ve

kimyasalların geri kazanılmasına odaklanılarak daha düşük karbon ayak izi sağlamaktadır [8]. Öte yandan, malzeme katma değerli ürünlere geri dönüştürülmediği için yakma doğrusal bir ekonomi yaklaşımı olarak kabul edilmektedir. Bunun yanı sıra, yakma, önemli miktarda CO_2 emisyonu (plastik atık kütlesinin üç katı kadar) ve NO_x, dioksinler ve katı partiküller gibi diğer kirleticileri oluşturmaktadır [9].

Kimyasal geri dönüşüm, ekonomik ve çevresel olarak uygulanabilir bir atık plastikleri katma değerli ürünlere dönüştürme yoludur. Plastik atıklardan ısıl değeri yüksek, farklı karbon malzemeleri ya da hidrojen, sentez gazı ve diğer değerli kimyasallara sahip sıvı yağlar, piroliz, reforming, gazlaştırma ve kemoliz gibi işlemler sonucu geri kazanım sağlanabilmektedir [10]. Bu işlemler tipik olarak, ortam koşullarında plastiklerin kimyasal yapısına bağlı olarak yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Katalizörlerin kullanılması, reaksiyon kinetiğini önemli ölçüde artırabilir ve ürün seçiciliğini ayarlayarak katma değerli malzemelerin geri kazanılması için yüksek bir işlem verimliliğinden faydalanılabilir [11]. Bununla birlikte, bu işlemlerin endüstriyel uygulaması, atık plastiklerin (genellikle kirli ve karışık) doğası, geri dönüştürülmüş malzemelerin değeri ve yeterli aktivite, seçicilik, kararlılık ve düşük maliyetli katalizörlerin geliştirilmesi nedeniyle hala yapılamamaktadır.



Şekil 1. (a) Doğrusal polimer ekonomisi, (b) döngüsel polimer ekonomisi [12].

Bu çalışmanın amacı, hem gelişen hem de umut veren yeni teknolojiler ile değerli bakış açıları sağlayarak atık plastiklerin kimyasal geri dönüşümü, katalizörlerin tasarımı ve daha yeşil bir plastik atık yönetimiyle ilgili dönüşüm süreçlerini geliştirmektir. Yaygın olarak kullanılan plastikler ve atık plastikler için termokimyasal geri dönüşüm süreçleri çalışmada özetlenmektedir. Ayrıca, çeşitli termo-katalitik piroliz işlemleri için kullanılan katalizörlerin son gelişimleri izlenmektedir. Piroliz uçucu maddelerinin H_2, buhar ve CO_2 ile yeniden yapılandırılarak yükseltilmesi tartışılmakta ve gazlaştırma yoluyla da plastik dönüşümü değerlendirilmek-

tedir [13,14]. Son olarak da, gelişen katalizörlerin tasarımına ilişkin perspektifleri göstermekte ve ortaya çıkan yeni süreçleri vurgulamaktadır.

2. Atık plastik türleri ve kimyasal geri dönüşüm süreçleri

Plastik malzemelerin yeniden kullanılması oldukça istenilir olsa da kaynak ve çevresel bakış açıları, plastik atık geri dönüşümünü teknik olarak sınırlı ve ekonomik olarak da zorlayıcı kılmaktadır [15]. En başta, kullanılmış plastik atıklar kontaminasyon nedeniyle geri dönüşüme uygun olmayabilir. Ayrıca plastik ürünler, geri dönüşüm sürecini zorlaştıran plastikleştiriciler, antioksidanlar, ısı stabilizatörleri, anti statik maddeler, renklendiriciler, bromlu alev geciktiriciler ve takviyeler gibi katkı maddeleri de içermektedirler [16]. Endüstriyel polimer kompozitlerin genellikle toplanması, ayrılması ve yeniden kullanılması da engel teşkil etmektedir. Özelleştirilmiş plastik ürünler, hafiflik, yüksek korozyon direnci ve yorulma mukavemeti gibi avantajları nedeniyle araç ve uçak yapılarında yaygın olarak kullanılmaktadır [17]. Bu nedenle, geri dönüştürülmüş malzemenin uygun maliyetli işlenmemiş plastiklere kıyasla daha düşük kalitesi göz önüne alındığında, atık plastiklerin geri dönüştürülmesinden makul bir kâr elde etmek zordur. Bu zorluklara çözüm bulmak için, bu bölümde, yaygın kullanımlar ve geri dönüştürülebilirlik hakkında yorum yapılarak çeşitli atık plastik türleri kısaca tanıtılacaktır. Pratik geri dönüşüme dayalı termokimyasal süreçler vurgulanacaktır.

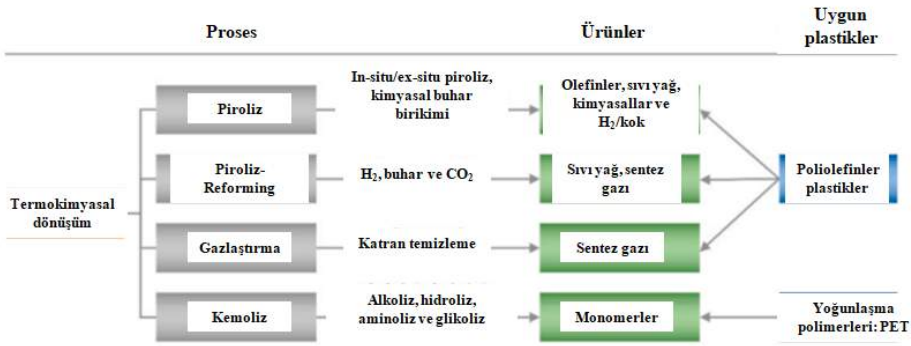
2.1. Atık plastiklerin kimyasal geri dönüşümü

Heterojenliği ve kontamine plastik atık yönetiminde yüksek kapasite içeriği nedeniyle atıkların kimyasal geri dönüşümüne artan bir ilgi vardır. Şekil 2 tipik termokimyasal süreçleri özetlemektedir. Benzin, dizel benzeri sıvı yağlar ve gaz yakıtlar, atmosferde genellikle 300-600 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen atık plastiklerin termal pirolizinden elde edilebilirler [18]. Katalitik olmayan pirolizden türetilen ürünler, yoğunlaştırılamayan gazlar, sıvı yağ, mum ve katı artıklar şeklinde geniş bir moleküler ağırlık (M_A) dağılımına sahip çeşitli doymuş ve doymamış hidrokarbonların karışımlarıdır [19]. Seçici olmayan pirolizden elde edilen ürünler, uygulamalardan önce daha fazla saflaştırma ve yükseltgenme gerektirirler, bu da yüksek enerji girdisi nedeniyle genel olarak daha düşük maliyetli bir süreçle sonuçlanmaktadır [20]. Buna karşılık, katalitik piroliz, reaksiyon aktivasyon enerjisini azaltabilir ve ürün M_A dağılımını da daraltabilir. Katalitik piroliz sırasında, katalizörler ya doğrudan atık plastiklerle karıştırılabilir (in-situ piroliz) ya da piroliz uçucularının katalitik reformu için ayrı bir reaktörde (ex-situ piroliz) kullanılabilir. Yerinde (in-situ) piroliz, katalizörler ve plastikler arasındaki etkileşimi desteklerken, iki aşamalı (ex-situ) piroliz, katalizörlerin kolay geri kazanılmasını ve yeniden kullanılmasını ko-

laylaştırır. Ex-situ proses ayrıca, özellikle karışık plastik atıklar için uygun olan ve ölçek büyütme işlemleri için yüksek bir potansiyele sahip piroliz reaksiyon koşullarını optimize etme kolaylığı da sunar [21]. Ayrıca, piroliz plastik atık toplama noktalarına yakın merkezi olmayan birimlerde gerçekleştirilebilirse, nakliye ve işlem sonrası maliyetler önemli ölçüde azaltılabilir. İki aşamalı reaksiyon sistemi uygulanarak, Ni bazlı katalizörler varlığında piroliz uçucularından H_2 ve katma değerli karbon malzemeleri de üretilebilir [22,23].

Pirolizi katalitik reform ile birleştirmek, doymuş sıvı yağlar (hidro-reforming yoluyla) ve sentez gazı (buhar/CO_2 reforming yoluyla) ile sağlanabilir. Önemli bir endüstriyel ara ürün olan sentez gazı, elektrik, H_2 (örn., su gazı reaksiyonu (WGSR) ve basınç salınımlı adsorpsiyon ayırma yoluyla), sentetik yakıtlar (örn., Fischer-Tropsch işlemi [24] yoluyla) ve kimyasal gübreler (örn. Haber-Bosch prosesi ile amonyak sentezi) üretmek için çok yönlüdür. Bununla birlikte, katalizör deaktivasyonu, koklaşma, sinterleşme ve reaksiyon akışlarındaki hetero-atom kirleticiler tarafından potansiyel katalizör zehirlenmesi nedeniyle reform prosesleri için teknik bir engeldir.

Gazlaştırma, hidrokarbonların gazlaştırma ajanları (hava, buhar) tarafından kısmi oksidasyonu için 700–1000 °C gibi yüksek sıcaklıklarda ticari olarak mevcut bir teknolojidir ve harici ısı olmaksızın kendi kendine devam edebilir [25]. Havayla gazlaştırma, kazanlar ve yeni nesil türbinler için uygun, ancak kimyasal sentez için uygun olmayan, nispeten düşük kalorili (N_2 ile seyreltilmiş) bir gaz üretir. Buharla gazlaştırma ise, yüksek kalorili değere ve H_2 konsantrasyonuna sahip N_2 sentez gazını üretir. Buharla gazlaştırmanın dezavantajı, güçlü endotermik reaksiyonlar için yüksek enerji girdisinde olmasıdır. Ek olarak, katran ve hidrojen halojenürler gibi kirleticiler nedeniyle, üretilen sentez gazının sonraki uygulamalar için uygunluğu sınırlıdır [25].



Şekil 2. Atık plastiklerin termokimyasal geri dönüşümü için teknikler ve ana ürünler.

3. Piroliz

Kapalı sistem bir plastik geri dönüşümünü gerçekleştirmek için monomer geri kazanımı istenir. Bununla birlikte, monomerlere seçicilik, 300–600 °C gibi tipik sıcaklıklarda atık poliolefinlerin piroliziyle sınırlıdır. Ağırlıkça % 70,6'lık yüksek bir stiren verimi 500 °C'de ağızlı bir yataklı reaktörde (CSBR) gerçekleştirilmiştir [26]. PE ve PP için, monomerlerin geri kazanımı, son zinciri arttırırken yan reaksiyonları azaltmak için optimum reaksiyon koşulları altında arttırılabilir. PE'den % 48 etilen monomeri ile >% 99 gaz verimi 1000 °C'de flaş piroliz yoluyla elde edilirken [27], % 94 propilen ve % 78 PP dönüşümü ise gaz akışlı indüksiyona bağlı bir plazma reaktöründe elde edilir [28]. Bu süreçlerin büyük ölçekli reaktörlerde çalışmasını engelleyen temel zorluklar, endotermik kraking reaksiyonları için yüksek enerji girişi ve monomerlere olan sınırlı seçiciliktir. Ek olarak, piroliz sırasında partikül oluşumu, yüksek sıcaklıklarda ve uzun alıkonma süresinde tercih edilen bir yan etkidir [29]. Buna rağmen, yaşam döngüsü değerlendirmesi ile süreç modellemesine dayalı olarak, PE pirolizinden etilen monomer geri kazanımının, üretim maliyetini önemli ölçüde azaltabilen bir alternatif temsil ettiği görülmüştür [30]. Sonuçlar atık PE pirolizinin kapalı bir geri dönüşüm döngüsü içinde etilen üretimi için potansiyel bir çözüm olabileceğini düşündürmektedir. Monomer geri kazanımının yanı sıra, atık plastiklerin karbon bazlı malzemelerin pirolizinden benzin ve dizele benzer özelliklere sahip sıvı yakıtlar elde edilebileceği görülmüştür [31].

3.1. Termal piroliz

Termal pirolizden elde edilen ürünler çeşitli yapı ve bileşimlere sahip plastik atıklardan etkilenirler. PP ve PS, yüksek kalorili değere sahip sıvı yakıtlar üretmek için uygundur. PE'nin termal pirolizi ile, motor çalışması için uygun olmayan yüksek miktarlarda mum üretilir. PET ise, değerli kimyasalları geri kazanmada kemoliz için daha uygundur. Aynı piroliz koşulları altında PS, PP ve PE'den daha az gaz verirken; PE, elde edilen sıvı yağda PP'den daha fazla mum üretir [32]. Bu, uzun karbon zincirli yapılara sahip PE'nin yüksek kristallik ve termal stabilitesi ile açıklanabilir. PP'nin üçüncül karbon merkezlerinde C–H'nin aktivasyonu, gelişmiş C–C bağı için radikal bölgeler sunabilir, bu da PP›yi oksidasyon ve ısıl bozulmasına karşı daha savunmasız hale getirir [10,33]. PVC'nin pirolizi, reaktör korozyonuna neden olan önemli miktarda hidrojen klorür [34] üretir ve bu nedenle Cl'nin uzaklaştırılması için ön veya son işlemler zorunludur. Kademeli piroliz tekniğinin, piroliz öncesi adımdaki klorür türlerinin çoğunu daha düşük bir sıcaklıkta sınırlamak için etkili olduğu kanıtlanmıştır (60 dakika boyunca 300 °C'de bir klorsuzlaştırma adımıyla sıvı fraksiyonda klorun ağırlıkça

%75 azalması) [35]. Üretilen sıvı yağların kalorifik değerini iyileştirmek için H bakımından zengin poliolefinlerle birlikte piroliz için çalışılan PET gibi O içeren polimerlerden önemli miktarda oksijenat üretilir [36].

3.2. Katalitik piroliz

Termal pirolizde reaksiyon koşullarının optimize edilmesi, ürün dağılımının ayarlanmasına yardımcı olmasına rağmen, katı asit katalizörünün kullanılması, istenen ürünlere yönelik seçiciliği geliştirmektedir. İn-situ (yerinde) pirolizden elde edilen ürünler daha çok benzinli yağlardır. In-situ (yerinde) katalitik termal pirolizden yağ üretimi ihmal edilebilir olduğunda, piroliz düşük sıcaklıklarda (350–380 °C) yüksek bir yağ verimi sağlayabilir [37,38]. In-situ katalitik pirolizin termal pirolize göre avantajları şunlardır: (i) TGA-DTG tarafından gözlemlendiği gibi düşük reaksiyon sıcaklığı, bu da daha düşük bir enerji girişi anlamına gelir; (ii) proses verimliliğini önemli ölçüde artırabilen artan reaksiyon hızı; (iii) artan hafif hidrokarbon fraksiyonu ile daralmış M_A dağılımı; ve (iv) her ikisi de üretilen yağın daha yüksek araştırma oktan sayısına (RON) faydası olan aromatikler ve izoparafinlerin oluşumunu teşvik etmek.

Ex-situ katalitik piroliz ise, uçucu maddelerin aynı atmosfer altında, ancak bağımsız bir reaksiyon sıcaklığında ve alıkonma süresinde 1. aşama termal piroliz ve 2. aşama katalitik iyileştirmeden oluşan iki aşamalı bir işlemdir. Ex-situ katalitik pirolizin avantajı, her reaksiyon aşamasında koşulları seçme esnekliğine sahip olmasıdır. İki aşamalı ex-situ piroliz, çeşitli faydalara sahiptir: (i) hem piroliz hem de kraking endotermik reaksiyonlar olduğu için artan ısı transferi; (ii) aynı asit bölgelerinde piroliz ve kraking reaksiyonları arasında daha yüksek katalitik verimliliğe ve daha az katalizör deaktivasyonuna yol açabilecek rekabetin olmaması; (iii) karışık plastik atıklar için yüksek uygunluk; ve (iv) paralel reaktörlerle reaksiyon rejenerasyon döngülerinde yeniden kullanılabilen katalizörlerin kolay geri kazanılması veya yenilenmesi [39].

4. Piroliz uçucularının H_2, buhar ve CO_2 ile reforme edilerek yükseltilmesi

Termal piroliz, çok çeşitli karbon sayılarına sahip hidrokarbonlardan oluşan piroliz yağları üreten karışık plastik atıkların bozunmasına uygun basit bir işlemdir. Üretilen yağın ısıl değeri benzin ve dizel ile karşılaştırılabilir olmasına rağmen, genellikle daha fazla iyileştirme gerektirir. Uçucuları aynı atmosferde piroliz ile katalitik olarak yükseltmek yerine, uçucular yüksek kaliteli doymuş yağlar ve sentez gazı üretmek için H_2, buhar ve CO_2 gibi çeşitli ajanlarla yeniden şekillendirilebilir. Atık plastiklerden elde edilen piroliz yağı, motor yakıtları olarak doğrudan uygulanmasını engelleyecek önemli oranda olefinler ve uzun

zincirli hidrokarbonlar içerir. Dizel motor yakıtı olarak uygunluğunu göstermek için piroliz yağı dizel ile karışım halinde incelenmiştir. PP'den elde edilen piroliz yağı, daha düşük karbon sayılarına sahip bileşiklerden oluşan HDPE, LDPE ve PS'den elde edilen yağdan daha üstün bulunmuştur [40]. Bununla birlikte, piroliz yağı motorun performansını yine de bozarak daha yüksek CO, hidrokarbon ve NO_x emisyonlarına neden olmaktadır [41,42]. Plastik piroliz yağının yetersiz performansı, aşırı doymamış hidrokarbon içeriğine ve eksik yanmaya neden olan yüksek karbon sayısına bağlanabilmektedir. H_2, doğal gazın buhar reformasyonu ile üretilen geleceğin temiz enerjisi olarak kabul edilmektedir. Fosil kaynaklardan elde edilen atık plastikler, buhar reforming yoluyla H_2 veya H_2 açısından zengin sentez gazı üretmek için kullanılabilir. Reaksiyon sistemi tipik olarak iki ayrı aşamadan oluşur. Birinci reaktörde atık plastikler pirolize edilir (uçucu hale getirilir) ve ikinci reaktörde de uçucu maddeler buharla yeniden şekillendirilir. Huang vd. [41], yukarı ve aşağı yönlü sabit yataklı reaktörlerden oluşan iki aşamalı bir sistem kurmuşlardır. Olazar ve diğerleri tarafından geliştirilen reaksiyon sistemi ise [39], sürekli plastik piroliz için bir CSBR ve buhar reformasyonu için akışkanlaştırılmış veya sabit yataklı bir reaktör içermektedir. Sabit yataklı reaktör ile karşılaştırıldığında, akışkan yataklı reaktör, uygun ısı ve kütle transferi ve koklaştırmadan kaynaklanan minimum basınç birikimi sunmuştur. Sentez gazı üretimi için CO_2 kullanımı ekonomik olduğu ve CO_2 emisyonlarını azalttığı için çevresel faydalar sağlamaktadır. Buhar için plastik piroliz uçucularının CO_2 reformasyonu Saad ve diğerleri tarafından incelenmiştir [38]. Ni/Al_2O_3, $Ni–Co/Al_2O_3$ ve $Ni–Mg/Al_2O_3$ katalizörleri çeşitli plastik türlerin (LDPE, HDPE, PS, PET, PP ve simüle edilmiş plastik atıklar) değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Bununla birlikte, CO_2'nin CO'ya dönüştürülmesi nedeniyle H_2/CO oranı düşüktür (<0,6). Ayarlanabilir H_2/CO oranına sahip sentez gazı üretmek için buhar, $Ni–Co/Al_2O_3$ ve $Ni–Mg/Al_2O_3$ katalizörleri varlığında CO_2 ile birlikte beslenmiştir [42]. Sonuçlar, ilk katalizörün geliştirilmiş kuru reform ve Boudouard reaksiyonu ile yüksek CO ve sentez gazı verimini desteklediğini, ikinci katalizörün ise buhar reformunu ve su gazı reaksiyonunu (WGSR) desteklediğini, artan buhar ilavesiyle de daha yüksek H_2 verimi ve daha yüksek H_2/CO molar oranı ürettiğini göstermiştir.

5. Gazlaştırma ve hidrotermal sıvılaştırma

Pirolize kıyasla gazlaştırma daha yüksek sıcaklıklarda çalışmaktadır. Karbonlu maddelerin kısmi oksidasyonu için gazlaştırma ajanlarının (örneğin hava, O_2, buhar ve CO_2) yardımıyla 700–1000 °C'de, esas olarak CO, H_2, CO_2 ve CH_4'ten oluşan sentez gazı üretilmektedir. Diğer hidrokarbonlar küçük miktarlarda bulunur. Hem yakıt hem de kimyasal sentez için yüksek kaliteli sentez gazı istenmek-

tedir. O_2 ile zenginleştirilmiş hava kullanılan gazlaştırmada, daha az N_2 seyreltildiği için yüksek kalorili değere ve gaz konsantrasyonuna sahip sentez gazı üretilebilmektedir, ancak hava ayırma işlemi maliyetli olabilir. O_2 kullanmak yerine, gazlaştırma, kısmi oksidasyon için saf oksijen sağlamak üzere geçiş metali bazlı oksijen taşıyıcıları kullanan kimyasal döngü süreçleri ile birleştirilebilir. Azaltılmış oksijen taşıyıcıları daha sonra buhar veya hava ile yeniden üretilebilir. Oksijeninin aktivitesi, CH_4'ün sentez gazına seçici kısmi oksidasyonu için tasarlanmıştır [33-40]. Bu nedenle, katı oksijen taşıyıcılar kullanılarak plastik uçucuların gazlaştırılması, maliyetli hava ayrımı olmaksızın sentez gazı üretimi için ilginç bir alternatif olabilmektedir.

6. Sonuç

Yakılan ve düzenli depolama alanlarına ve çevreye boşaltılan büyük miktarda plastik atıkla, atık plastiklerin yönetiminde, özellikle kimyasal geri dönüşüm yaklaşım yoluyla daha fazla iyileştirme için önemli bir alan oluşmaktadır. Bu çalışmada, atık plastiklerin kimyasal geri dönüşümü ile ilgili son çalışmalar, termal piroliz, in-situ/ex-situ katalitik piroliz, yardımcı piroliz, hidro-reforming, buhar/CO_2 reformu için plastik piroliz uçucuları kapsamlı bir şekilde özetlenmiş ve gazlaştırma eleştirel olarak değerlendirilmiştir. Asitlik ve gözenekli yapının, katalizör performansını etkileyen faktörler olduğu görülmüştür. İleride dünyamız için sürdürülebilir plastik atık yönetimini gerçekleştirmek, gelecekte daha gelişmiş süreçler ve yüksek geri dönüşüm verimliliğine sahip katalizörlerin hazırlanması düşünülmektedir.

Kaynaklar

[1] Jambeck JR, Geyer R, Wilcox C, Siegler TR, Perryman M, Andrady A, et al. Plastic waste inputs from land into the ocean. Science 2015;347:768–71.

[2] Napper IE, Thompson RC. Plastic debris in the marine environment: history and future challenges. Global Challenges 2020;4:1900081.

[3] Wright SL, Kelly FJ. Plastic and human health: a micro issue? Environ Sci Technol 2017;51:6634–47.

[4] Guan Q-F, Yang H-B, Zhao Y-X, Han Z-M, Ling Z-C, Yang K-P, et al. Microplastics release from victuals packaging materials during daily usage. EcoMat 2021;3: e12107.

[5] Kerdlap P, Low JSC, Ramakrishna S. Zero waste manufacturing: a framework and review of technology, research, and implementation barriers for enabling a circular economy transition in Singapore. Resour, Conserv Recycl 2019;151: 104438.

[6] Winans K, Kendall A, Deng H. The history and current applications of the circular economy concept. Renew Sustain Energy Rev 2017;68:825–33.

[7] Rahimi A, García JM. Chemical recycling of waste plastics for new materials production. Nat Rev Chem 2017;1:0046.

[8] García JM. Catalyst: design challenges for the future of plastics recycling. Inside Chem 2016;1:813–5.

[9] Thiounn T, Smith RC. Advances and approaches for chemical recycling of plastic waste. J Polym Sci 2020;58:1347–64.

[10] Solis M, Silveira S. Technologies for chemical recycling of household plastics - a technical review and TRL assessment. Waste Manag 2020;105:128–38.

[11] Ragaert K, Delva L, Van Geem K. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. Waste Manag 2017;69:24–58.

[12] Lopez G, Artetxe M, Amutio M, Bilbao J, Olazar M. Thermochemical routes for the valorization of waste polyolefinic plastics to produce fuels and chemicals. A review. Renew Sustain Energy Rev 2017;73:346–68.

[13] Lopez G, Artetxe M, Amutio M, Alvarez J, Bilbao J, Olazar M. Recent advances in the gasification of waste plastics. A critical overview. Renew Sustain Energy Rev 2018;82:576–96.

[14] Al-Salem SM, Antelava A, Constantinou A, Manos G, Dutta A. A review on thermal and catalytic pyrolysis of plastic solid waste (PSW). J Environ Manag 2017;197:177–98.

[15] Miandad R, Barakat MA, Aburiazaiza AS, Rehan M, Nizami AS. Catalytic pyrolysis of plastic waste: a review. Process Saf Environ Protect

2016;102:822–38.
[16] Williams PT. Hydrogen and carbon nanotubes from pyrolysis-catalysis of waste plastics: a review. Waste Biomass Valorization 2020;12:1–28.
[17] Vollmer I, Jenks MJF, Roelands MCP, White RJ, van Harmelen T, de Wild P, et al. Beyond mechanical recycling: giving new life to plastic waste. Angew Chem Int Ed 2020;59:15402–23.
[18] Mark LO, Cendejas MC, Hermans I. The use of heterogeneous catalysis in the chemical valorization of plastic waste. ChemSusChem 2020;13:5808–36.
[19] E. National Academies of Sciences, Medicine. Closing the loop on the plastics dilemma: proceedings of a workshop–in brief. Washington, DC: The National Academies Press; 2020.
[20] Hahladakis JN, Velis CA, Weber R, Iacovidou E, Purnell P. An overview of chemical additives present in plastics: migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. J Hazard Mater 2018;344: 179–99.
[21] Martín AJ, Mondelli C, Jaydev SD, P´erez-Ramírez J. Catalytic processing of plastic waste on the rise. Inside Chem 2021;7:1487–533.
[22] Veksha A, Yin K, Moo JGS, Oh W-D, Ahamed A, Chen WQ, et al. Processing of flexible plastic packaging waste into pyrolysis oil and multi-walled carbon nanotubes for electrocatalytic oxygen reduction. J Hazard Mater 2020;387: 121256.
[23] Zhou W, Cheng K, Kang J, Zhou C, Subramanian V, Zhang Q, et al. New horizon in C1 chemistry: breaking the selectivity limitation in transformation of syngas and hydrogenation of CO2 into hydrocarbon chemicals and fuels. Chem Soc Rev 2019; 48:3193–228.
[24] Somoza-Tornos A, Gonzalez-Garay A, Pozo C, Graells M, Espuna ˜ A, Guill´enGos´ albez G. Realizing the potential high benefits of circular economy in the chemical industry: ethylene monomer recovery via polyethylene pyrolysis. ACS Sustainable Chem Eng 2020;8:3561–72.
[25] Thahir R, Altway A, Juliastuti SR. Susianto. Production of liquid fuel from plastic waste using integrated pyrolysis method with refinery distillation bubble cap plate column. Energy Rep 2019;5:70–7.
[26] Cai N, Xia S, Zhang X, Meng Z, Bartocci P, Fantozzi F, et al. Preparation of ironand nitrogen-codoped carbon nanotubes from waste plastics pyrolysis for the oxygen reduction reaction. ChemSusChem 2020;13:938–44.
[27] Miandad R, Barakat MA, Aburiazaiza AS, Rehan M, Ismail IMI, Nizami AS. Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil. Int Biodeterior Bi-

odegrad 2017;119: 239–52.
[28] Quesada L, Calero M, Martín-Lara MA, ´ P´erez A, Blazquez ´ G. Production of an alternative fuel by pyrolysis of plastic wastes mixtures. Energy Fuels 2020;34: 1781–90.
[29] Kassargy C, Awad S, Burnens G, Kahine K, Tazerout M. Experimental study of catalytic pyrolysis of polyethylene and polypropylene over USY zeolite and separation to gasoline and diesel-like fuels. J Anal Appl Pyrolysis 2017;127:31–7.
[30] Kumagai S, Yamamoto M, Takahashi Y, Kameda T, Saito Y, Yoshioka T. Impact of common plastics on cellulose pyrolysis. Energy Fuels 2019;33:6837–41.
[31] Ma C, Yan Q, Yu J, Chen T, Wang D, Liu S, et al. The behavior of heteroatom compounds during the pyrolysis of waste computer casing plastic under various heating conditions. J Clean Prod 2019;219:461–70.
[32] Sangpatch T, Supakata N, Kanokkantapong V, Jongsomjit B. Fuel oil generated from the cogon grass-derived Al-Si (Imperata cylindrica (L.) Beauv) catalysed pyrolysis of waste plastics. Heliyon 2019;5:e02324.
[33] Miandad R, Barakat MA, Rehan M, Aburiazaiza AS, Ismail IMI, Nizami AS. Plastic waste to liquid oil through catalytic pyrolysis using natural and synthetic zeolite catalysts. Waste Manag 2017;69:66–78.
[34] Lee HW, Park Y-K. Catalytic pyrolysis of polyethylene and polypropylene over desilicated beta and Al-MSU-F. Catalysts 2018;8:501.
[35] Fekhar B, Gombor L, Miskolczi N. Pyrolysis of chlorine contaminated municipal plastic waste: in-situ upgrading of pyrolysis oils by Ni/ZSM-5, Ni/SAPO-11, red mud and Ca(OH)2 containing catalysts. J Energy Inst 2019;92:1270–83.
[36] Anene AF, Fredriksen SB, Sætre KA, Tokheim L-A. Experimental study of thermal and catalytic pyrolysis of plastic waste components. Sustainability 2018;10:3979.
[37] Xue Y, Johnston P, Bai X. Effect of catalyst contact mode and gas atmosphere during catalytic pyrolysis of waste plastics. Energy Convers Manag 2017;142: 441–51.
[38] Saad JM, Williams PT. Catalytic dry reforming of waste plastics from different waste treatment plants for production of synthesis gases. Waste Manag 2016;58: 214–20.
[39] Ochoa A, Barbarias I, Artetxe M, Gayubo AG, Olazar M, Bilbao J, et al. Deactivation dynamics of a Ni supported catalyst during the steam reforming of volatiles from waste polyethylene pyrolysis. Appl Catal, B

2017;209:554–65.
[40] Escola JM, Aguado J, Serrano DP, García A, Peral A, Briones L, et al. Catalytic hydroreforming of the polyethylene thermal cracking oil over Ni supported hierarchical zeolites and mesostructured aluminosilicates. Appl Catal, B 2011; 106:405–15.
[41] Huang J, Liu W, Yang Y, Liu B. High-performance Ni-Fe redox catalysts for selective CH4 to syngas conversion via chemical looping. ACS Catal 2018;8: 1748–56.
[42] Mangesh VL, Padmanabhan S, Tamizhdurai P, Ramesh A. Experimental investigation to identify the type of waste plastic pyrolysis oil suitable for conversion to diesel engine fuel. J Clean Prod 2020;246:119066.

✔ 10. Bölüm

ENERJİ HASATLAMA: DÜŞÜK VE YÜKSEK GÜÇTE

Hasan DEMİR[1]

1 Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği

1. **Giriş**

Günümüzde, enerji üretimin ve teknolojinin temel kaynağını oluşturmaktadır. Özellikle teknolojik olarak gelişmiş ülkelerde enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Konvansiyonel enerji kaynakları fosil, hidro enerji ve nükleer enerji kökenlidir. Fosil kaynaklar çevreye zarar vermekte ve özellikle son yıllarda etkisi giderek artan ve hissedilir hale gelen iklim değişikliğine neden olmaktadır. Bunun yanı sıra fosil kaynaklar artan enerji ihtiyacını karşılayamamaktadır [1]. Hidro kaynaklar suyun sahip olduğu kinetik enerjiden elektrik enerjisi üretmektedir. Ancak hem yüksek maliyetli hem de belli bir ömüre sahip olması nedeniyle enerji ihtiyacının karşılanmasında öncelikli tercih olmamaktadır. Ek olarak, iklim değişikliğine bağlı olarak değişen su rejimleri ve barajların çevreye olan etkileri düşünüldüğünde hidroelektrik enerjisine olan güven azalmaktadır. Nükleer enerji kaynaklarının kullanımı ise hem yüksek maliyet hem de ileri teknoloji gerektirmektedir. Bu nedenle nükleer enerji dünyada belli ülkelerin kullanabildiği bir kaynaktır. Ayrıca nükleer atıklar nedeniyle çevresel sorunlar yaşanmakta ve sürdürülebilirlik mümkün olmamaktadır. Geleneksel enerji kaynaklarının sahip olduğu bütün zararlı etkilerinin giderilmesi amacıyla devletler güneş, rüzgar, okyanus gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmaya başlamıştır (Şekil 1). Yenilebilir kaynaklardan enerji elde edilmesine enerji hasatlama adı verilmektedir. Teknolojik gelişmelerde yenilenebilir enerji yatırımlarının maliyetini düşürmekte ve bu kaynaklara yönelimi artırmaktadır. Gelecekte sürdürülebilir bir enerji üretimi için yenilenebilir enerji kaynaklarını enerji üretiminde etkisi büyük olacaktır [2].



Şekil 1. Bazı enerji kaynakları [3].

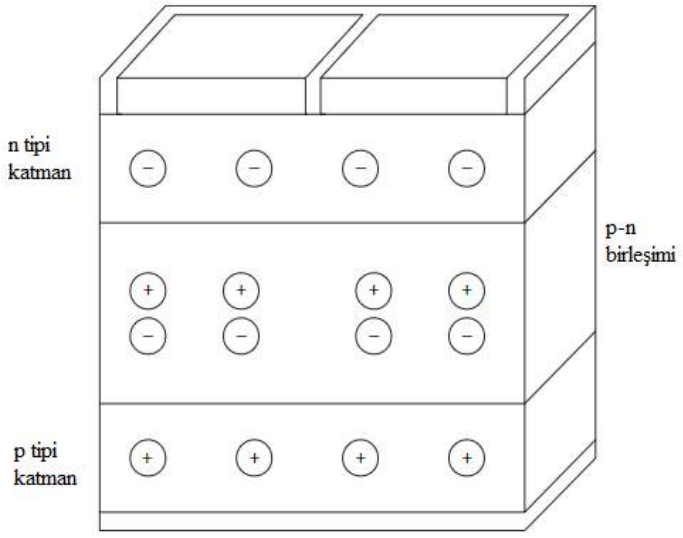
Enerji toplama olarak da adlandırılan enerji hasatı yenilebilir kaynaklardan veya atıl kaynaklardan enerjini yakalanması ve depolanarak kullanıma sunulmasıdır. Rüzgar, okyanus, güneş, okyanus, termal, elektromanyetik, titreşim gibi kaynaklar enerji hasatı için kullanılabilen kaynaklardır. Enerji hasatını yüksek güçte ve düşük güçte olmak üzere ikiye ayırabiliriz. Enerji hasatlama sonucunda elde edilen enerji yüksek güçte olursa şehirlerin ve endüstrinin elektrik şebekeleri beslenirken, düşük güçte enerji toplanması halinde ise genellikle kablosuz sensör ağları gibi düşük enerji ile çalışan elektronik cihazları çalıştırmaktadır [4]–[6]. Bu bölümde günümüzde oldukça yaygın olan güneş, rüzgar ve okyanus kaynaklarından elde edilen yüksek güçte enerji hasatlama ve radyo frekansı (RF), düşük frekanslı titreşimler ve termoelektrik kaynaklarından düşük güçte enerji hasatlama konu alınmıştır.

2. Yüksek Güçte Enerji Hasatlama

Yenilenebilir enerji kaynakları olarak da adlandırılan güneş, rüzgar ve okyanus kaynaklarından yüksek güçlerde enerji hasatı yapılabilmektedir. Hasatlanan gücün büyüklüğü kurulu tesisin büyüklüğü ile doğru orantılı olarak değişmektedir.

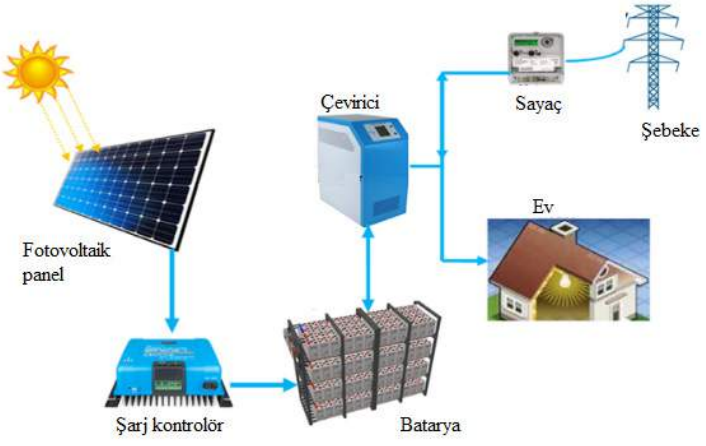
2.1. Güneş Enerjisi Hasadı

Güneş enerjisi hasadı güneşten gelen ışınların elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Güneş ışınları fotovoltaik hücrelerde fotoelektrik etki kullanılarak elektriğe dönüştürülmektedir [7], [8]. Hücre üzerine düşen güneş ışınlarının bir kısmı absorbe edilerek elektronların hareket etmesine ve elektrik akımının oluşmasına neden olmaktadır. Hücreler yarı iletken malzemeler olan p ve n tipi malzemelerden yapılmaktadır. Şekil 2'de fotovoltaik bir hücrenin malzeme yapısı gösterilmiştir. Hücreler birleştirilerek modüller, modüller birleştirilerek de fotovoltaik paneller oluşturulmaktadır.



Şekil 2. Fotovoltaik hücrenin malzeme yapısı [4].

Fotovoltaik panellerde doğru akım elektrik üretilmektedir. Üretilen doğru akım şarj kontrolör ile bataryalarda depolanabileceği gibi invertör ile alternatif akıma çevrilip şehirlerin elektrik şebekesine verilebilmektedir. Bir fotovoltaik panelin ortalama gücü 60W'dır. Güneş enerji sistemi şekil 3'de verilmiştir [9].



Şekil 3. Güneş enerji sistemi [9].

Güneş enerjisinden üretilen enerji 2021 yılında dünya genelinde 138.2 GW seviyelerine ulaşmıştır. 2022 yılında bu üretimin %25 artması beklenmektedir [10].

2.2.Rüzgar Enerjisi Hasadı

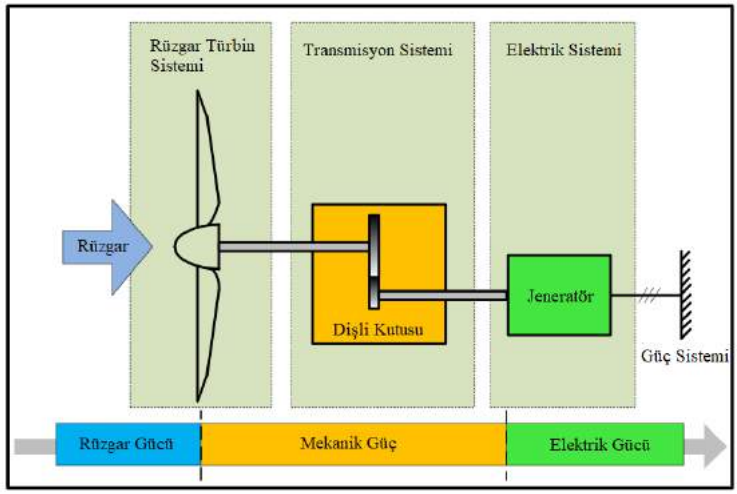
Rüzgar, dünyanın atmosferinde yeryüzünün ısınmasına bağlı olarak oluşan kuvvetlerin neden olduğu hava hareketleridir. Rüzgarın sahip olduğu kinetik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi rüzgar enerji hasatıdır [11]. Rüzgar enerjisinin tarihi milattan önceki yıllarda yel değirmenlerinde, yelkenli gemilerde kullanılmasına dayanmaktadır. Günümüz teknolojisiyle rüzgarın sahip olduğu kinetik enerji rüzgar türbinleri ile elektrik enerjisine çevrilebilmektedir.

Rüzgar türbinleri basit olarak pervaneler, kule, dişli kutusu, jeneratör ve elektrik-elektronik ekipmanlardan oluşmaktadır [12]. Rüzgarın sahip olduğu kinetik enerji pervaneler ile mekanik enerjiye çevrilerek jeneratöre iletilir. Jeneratör mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir ve uygun elektrik-elektronik ekipmanlar ile şebekeye verilir. Batarya kullanılması durumda ise elektrik doğru akım şeklinde bataryalar şarj edilir. Şekil 5'de rüzgar enerjisinin dönüşümü şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. Rüzgar Türbini [13].

2021 yılı itibariyle dünya genelinde rüzgar enerjisi kurulu gücü 743 GW'dır [14]. Dünyada kurulu güç her yıl artmakta ve kurulum maliyetleri azalmaktadır.

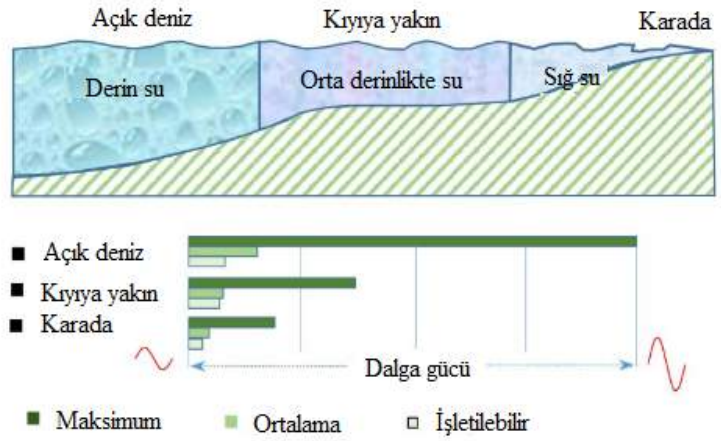


Şekil 5. Rüzgar enerjisinin dönüşümünün şematiği [15].

2.3.Okyanus Enerjisi Hasadı

Deniz veya okyanuslarda bulunan hidrokinetik enerjiden elektrik enerjisi üretme işlemi okyanus enerjisi hasadı olarak tanımlanmaktadır. Dalgalardan ve gel git olayından faydalanarak enerji üretimi yapılır.

Okyanus ve deniz yüzeyinde oluşan dalgalar farklı enerji düzeyine sahiptir. Bu enerjinin hasadını yapabilmek için farklı sistemler geliştirilmiştir [4], [16]–[19]. Dalgaların enerjisi kıyıya yaklaştıkça deniz dibine sürtünmeden dolayı azalmaktadır [5]. Dalga enerjisi lineer ve dönel jeneratörler tarafından elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Farklı kontrol şekilleri ile üretilen doğru akım enerji alternatif akımı dönüştürülerek şebekeye verilebileceği gibi bataryalarda doğru akım olarak da depolanabilmektedir.



Şekil 6. Dalgaların deniz derinliğine bağlı gücü [5].

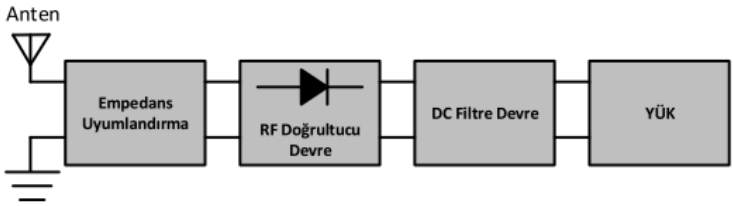
Gel git akıntıları, güneşin ve ayın hareketlerinden dolayı değişen yerçekiminin dünyanın okyanuslarında neden olduğu akıntılardır. Gel git akıntılarının sebep olduğu gel git havuzuna dolan suyun akışından yararlanarak enerji üretimi yapılmaktadır. Su seviyesinin yükselmesi ile doldurulan havuz gel git sona erdiğinde havuzdan dışarı turbo jeneratör üzerinden dışarı salınmakta ve elektrik enerjisi üretilmektedir. Gel git enerji hasadının en büyük avantajı gel git akımının düzenli ve tahmin edilebilir olması sonucunda devamlı yapılabilmesidir [20].

3. Düşük Güçte Enerji Hasatlama

Bazı enerji kaynakları düşük enerji yoğunluğuna sahiptir ve düşük gerilim ve akım üretmektedir. Bu kaynaklardan düşük güçte enerji hasadı yapılabilmektedir. Elde edilen düşük güçlü enerji bu enerji düzeyinde çalışabilen elektronik ekipmanların beslemesinde kullanılmaktadır.

3.1. Radyo Frekansı enerjisi Hasatlama

Günlük hayatımızda ortamda bulunana elektromanyetik enerjinin hasadının yapılması işlemine radyo frekansı enerjisi hasadı denir. Radyo frekansı bir bilgi taşıyan elektronik dalga şeklidir. Gelişen teknoloji ile birlikte günlük yaşam alanlarında radyo frekansı yoğunluğu artmıştır. Şekil 7'de gösterildiği gibi anten tarafından toplanan elektromanyetik sinyaller, doğrultucu ile anten arasındaki empedans uyumsuzluğu giderilerek doğrultucu devreye aktarılır. Doğrultucu devrede sinyaller doğru akıma çevrilerek filtreden geçirilir ve yüke veya bataryaya gönderilir. Farklı frekanslarda, farklı anten tasarımıyla ve farklı elektronik devre tasarımıyla farklı güçlerde doğru akım elde edilmektedir [21], [22].

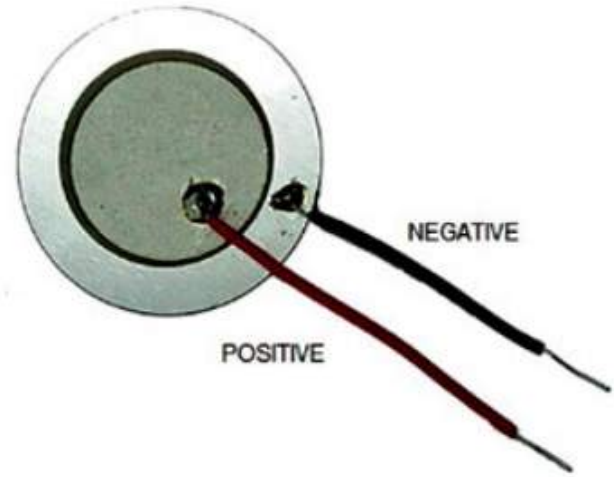


Şekil 7. RF enerji hasatlamanın blok şeması

RF enerji hasadından ortalama bir antenin 1 cm2'lik alanından 1 mW seviyelerinde güç elde edilmektedir [23], [24]. Elde edilen güç seviyesinin düşük olması ve kablosuz sensörler ile iletişimin yaygınlaşması nedeniyle RF enerji hasadından elde edilen enerji düşük güç harcayan kablosuz sensörlerin ve mikroişlemcilerin beslenmesinde kullanılmaktadır [25], [26].

3.2. Düşük Frekanslı Titreşim Enerjisi Hasatlama

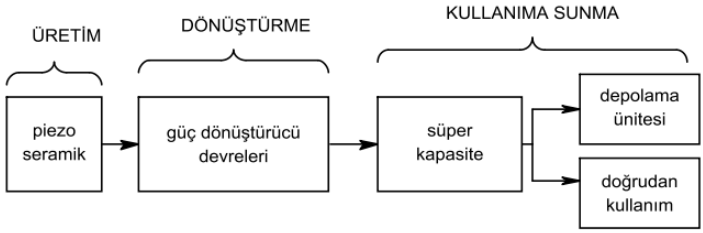
Piezoelektrik malzemeler mekanik olarak deforme olduklarında küçük gerilim üretirler. Düşük frekanslı titreşim ile elektrik üreten piezoelektrik malzemeler insan hareketi, düşük sismik hareketler, metro gibi ulaşım sistemlerinde, yol yapımında asfalttan düşük güçlerde enerji üretiminde kullanılmaktadır [27]–[30]. Şekil 8'de piezoelektrik malzeme gösterilmiştir.



Şekil 8. Piezoelektrik Malzeme [31].

Piezoelektrik malzemeden üretilen enerji direk kullanılabileceği gibi depolanarak da kullanılabilmektedir. Üretilen enerji düşük güçlerde olacağı ve doğru-

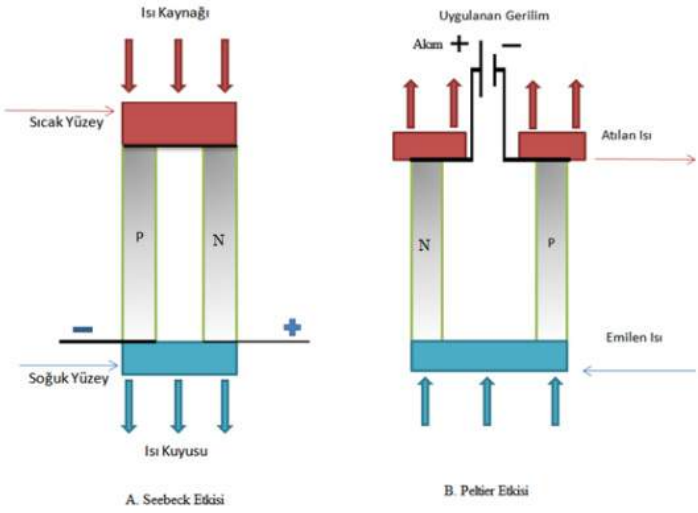
dan kullanıma uygun olmaması nedeniyle dönüştürme yapmak gerekmektedir. Şekil 9'da yapılan enerji hasadının blok şeması gösterilmiştir. Piezoelektrik malzemeler düşük güçlerde enerji üretmesi nedeniyle daha çok az enerji tüketen kablosuz sensör teknolojileri ile birlikte kullanılmaktadır [5].



Şekil 9. Düşük frekanslı enerji hasadı blok şeması [28].

3.3.Termoelektrik Enerjisi Hasatlama

İki yarı iletkenin birleştirilmesi ile oluşturulan termoelektrik modüller üzerinden elektrik akımı geçirilmesi ile birlikte iki yüzeyi arasında sıcaklık farkı meydana getirir. Bu etkiye peltier etkisi denir. Yüzeyleri farklı sıcaklığa maruz bırakılırsa elektronlar sıcak uçtan soğuk uca akar ve elektrik akımı oluşur. Peltier etkisinin tersi olan bu duruma da seebeck etkisi denmektedir. Şekil 10'da seebeck ve peltier etkileri ve şekil 11'de termoelektrik modül gösterilmiştir. Termoelektrik malzemelerin seebeck etkisi kullanılarak termoelektrik enerji hasadı yapılabilmektedir [2], [26], [32]–[34]. Yüzeyler arası sıcaklık farkının az veya çok olmasına bağlı olarak enerji hasadının miktarı belli olmaktadır. Atık ısı kaynakları ile birlikte kullanıldığında kaynağın ve hasatlama sisteminin çeşidine göre elde edilen enerji kablosuz sensörler ve düşük güçte çalışan elektroniklerin beslenmesinde kullanılabilmektedir. İstenildiği takdirde batarya şarj etmek içinde kullanılabilmektedir.



Şekil 10. Seebeck ve peltier etkisi [2].



Şekil 11. Termoelektrik modül [32].

4.Sonuç

Günümüzde dünyanın enerji ihtiyacı konvansiyonel kaynaklardan sağlanmaktadır. Ancak bu kaynaklar hem sınırlı hem de çevreye zarar veren kaynaklardır. Bu neden dünyanın artan enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji hasadı ile karşılama oranı gittikçe artmaktadır. Enerji hasadı var olan enerji kaynaklarından enerjinin hasatlamasını yaparak kullanılabilecek hale getirmektir. Enerji hasatı kaynağın sahip olduğu ve hasatı yapılabilen enerji miktarına göre yüksek ve düşük güçte olmak üzere ikiye ayrılır. Yüksek güçte enerji hasadı yapılabilen yenilenebilir enerji kaynakları konvansiyonel enerji kaynaklarına alternatif olmuştur. Çevreye etkileri oldukça az olan yüksek güçte enerji hasatı konvansiyonel kaynaklara göre kurulum maliyetlerinin az olması nedeniyle ön

plana çıkmaktadır. Düşük güçte enerji hasatı ise enerji yoğunluğunun düşük olduğu kaynaklardan yapılan enerji hasatıdır. Elde edilen enerji mW seviyelerinde olduğu için düşük güçte çalışan kablosuz sensörler, mikroişlemciler gibi elektronik devrelerin beslemesinde kullanılmaktadır. Enerji besleme imkanlarının bulunmadığı durumlarda bakım maliyetlerini düşürmek için düşük güçte enerji hasatı yöntemlerine başvurulmaktadır. Gelecekte, dijitalleşmenin ve artan enerji ihtiyacının karşılanması için enerji hasatlama yöntemlerinin giderek yaygınlaşması öngörülmektedir.

Kaynaklar

[1] A. E. COŞGUN and M. R. TOLUN, "Photovoltaic Systems : a Review," in *Academıc Studıes In Engıneerıng, Archıtecture, Plannıng And Desıgn Scıences-2019/2*, no. May, Cetinje, Montenegro: Ivpe, 2020, pp. 214–230.

[2] R. Kayabaşı and M. Kaya, "Fotovoltaik Modüllerin Atık Isılarından Termoelektrik Jeneratör İle Elektrik Üretimi," *Eur. J. Sci. Technol.*, pp. 310–324, Aug. 2019, doi: 10.31590/ejosat.562859.

[3] "yenilenebilir-enerji-kaynaklari." 16/11/2021https://ekolojist.net/yenilenebilir-enerji-kaynaklari-nelerdir/ (accessed Nov. 16, 2021).

[4] A. Khaligh and O. C. Onar, *Energy Harvesting: Solar, Wind, and Ocean Energy Conversion Systems*. CRC Press, 2010.

[5] O. Farrok, K. Ahmed, A. D. Tahlil, M. M. Farah, M. R. Kiran, and M. R. Islam, "Electrical power generation from the oceanic wave for sustainable advancement in renewable energy technologies," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 6. MDPI, Mar. 01, 2020, doi: 10.3390/su12062178.

[6] Y. Li *et al.*, "Feasibility of harvesting solar energy for self-powered environmental wireless sensor nodes," *Electron.*, vol. 9, no. 12, pp. 1–13, Dec. 2020, doi: 10.3390/electronics9122058.

[7] A. E. COŞGUN, "Türkiye'de 50MW Üstü GES Üretimi Gerçekleştiren Şehirlerimizde Agrivoltaic Sistem Kullanılabilirliğinin İncelenmesi," *Uluslararası Muhendis. Arastirma ve Gelistirme Derg.*, vol. 13, no. 2, pp. 711–718, Jun. 2021, doi: 10.29137/umagd.892391.

[8] A. E. Coşgun, "The potential of Agrivoltaic systems in TURKEY," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 105–111, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.egyr.2021.06.017.

[9] A. Awasthi *et al.*, "Review on sun tracking technology in solar PV system," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 392–405, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.egyr.2020.02.004.

[10] "Global solar power to cross 200 GW annual installation threshold in 2022." https://balkangreenenergynews.com/global-solar-power-to-cross-200-gw-annual-installation-threshold-in-2022/ (accessed Nov. 18, 2021).

[11] M. C. Şenel and E. Koç, "Dünyada Ve Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Durumu-Genel Değerlendirme," *Mühendis ve Makina*, vol. 56, no. 663, pp. 46–52, 2015.

[12] U. Elibüyük and İ. Üçgül, "Rüzgâr Türbinleri, Çeşitleri Ve Rüzgâr Enerjisi Depolama Yöntemleri," *YEKARUM*, vol. 2, no. 3, pp. 1–14, 2014.

[13] H. Göksel, "Rüzgar Enerjisinin Önemi, Dünya'da ve Türkiye'deki Durumu."

[14] “Global Wind Report 2021 - Global Wind Energy Council.” https://gwec.net/global-wind-report-2021/ (accessed Nov. 19, 2021).

[15] H. Meng, T. Yang, J. Z. Liu, and Z. Lin, “A flexible maximum power point tracking control strategy considering both conversion efficiency and power fluctuation for large-inertiawind turbines,” *Energies*, vol. 10, no. 7, 2017, doi: 10.3390/en10070939.

[16] A. Babarit, J. Hals, A. Kurniawan, T. Moan, J. Krokstad, and M. Muliawan, “The NumWEC project. Numerical estimation of energy delivery from a selection of wave energy converters-final report,” 2011. doi: 10.13140/RG.2.1.3807.8885.

[17] S. Gkaraklova, P. Chotzoglou, and E. Loukogeorgaki, “Frequency-based performance analysis of an array of wave energy converters around a hybrid wind–wave monopile support structure,” *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–23, Jan. 2021, doi: 10.3390/jmse9010002.

[18] S. Memon, O. M. Lawal, S. A. Tariq, and B. Khalid, “Wave energy in the UK: Current scope, challenges and prognostications,” *Int. J. Sol. Therm. Vac. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 59–78, Oct. 2020, doi: 10.37934/stve.2.1.5978.

[19] Q. Gao, B. Ding, M. Negnevitsky, and N. Ertugrul, “Offshore Wind, Wave and Integrated Energy Conversion Systems: A Review and Future,” in *Australasian Universities Power Engineering Conference*, 2020, vol. 2020, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/348446580.

[20] D.A. Dixon, “ Fish and the energy industry,” 2006.

[21] A. Belen and M. A. Belen, “GSM ve ISM Bandı RF Enerji Hasatlama Sistemleri İçin Tek Katlı Doğrultucu Devre Tasarımı,” *Mühendislik Bilim. ve Tasarım Derg.*, vol. 9, no. 2, pp. 359–365, Jun. 2021, doi: 10.21923/jesd.916164.

[22] M. A. Belen, “RF Enerji Hasatlama Sistemleri İçin Çift Bandlı Greinacher Doğrultucu Devre Tasarımı,” *Mühendislik Bilim. ve Tasarım Derg.*, vol. 6, no. 2, pp. 348–353, Jun. 2018, doi: 10.21923/jesd.396269.

[23] Z. Z. -, N. A. Z. -, M. N. H. -, and M. Z. A. -, “Current Developments of RF Energy Harvesting System for Wireless Sensor Networks,” *Int. J. Adv. Inf. Sci. Serv. Sci.*, vol. 5, no. 11, pp. 328–338, 2013, doi: 10.4156/aiss.vol5.issue11.39.

[24] L. G. Tran, H. K. Cha, and W. T. Park, “RF power harvesting: a review on designing methodologies and applications,” *Micro and Nano Systems Letters*, vol. 5, no. 1. 2017, doi: 10.1186/s40486-017-0051-0.

[25] Ö. Kasar, M. Kahriman, and M. A. Gözel, “Wilkinson Güç Birleştirici

Kullanarak İki Girişli RF Enerji Hasatlama Devresi ve DC Yük Analizi," *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, vol. 10, no. 1, pp. 68–72, Jun. 2019, doi: 10.29048/makufebed.550977.

[26] A. Çalhan, K. Gündoğdu, M. Cicioğlu, and M. Enes Bayrakdar, "Vücut Alan Ağları için Enerji Hasadı Ünitesi Tasarımı," 2019.

[27] H. Aslan, S. Üniversitesi, M. Fakültesi, and M. Bölümü, "Piezoelektrik Malzemelerle Asfalt Yollarda Elektrik Enerjisi Üretimi," vol. 2016, no. November, 2016.

[28] E. Aslan, M. Z. Bilgin, and T. Erfidan, "Piezoseramik Malzemelerle Elektrik Enerjisi Üretilmesi Ve Depolanması," *İleri Teknol. Bilim. Derg.*, vol. 5, no. 2, 2016.

[29] A. Analysis, "Ulaşım Sistemlerinde Titreşim Tabanlı Enerji Hasadı v e Uygulamalı Analizi Vibration Based Energy Harvesting on Transportation Systems and Applied Analysis," *Cilt1, Sayı*, vol. 2330, no. 1, pp. 52–58, 2014, [Online]. Available: http://edergi.bilecik.edu.tr/index.php/fbd.

[30] A. Çalişir, M. T. Akçay, and B. Sürmeli, "Metro İstasyonlarında Piezoelektrik Malzeme Kullanarak Elektrik Enerjisi Üretilmesi," *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, vol. 2, pp. 1–6, 2020.

[31] "What Is A Piezoelectric Sensor? - Electronics For You." https://www.electronicsforu.com/resources/piezoelectric-sensor-basics (accessed Nov. 21, 2021).

[32] I. Setyowidodo, S. Sutanto, A. Mufarrih, and I. M. Sholehah, "Exhaust temperature and peltier element optimization of thermoelectric generator output," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 850, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/850/1/012007.

[33] F. Baykal and Y. Kurt, "Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Fotovoltaik Destekli Peltierli Ev Soğutma Sistemi Projesi Bitirme Projesi Erdem Tüten."

[34] İ. Teknoloji Bilimleri Dergisi *et al.*, "Elektrikli Araçlarda Kullanılacak Batarya Yönetim Sistemi Geliştirilmesi Umas 2017'de sunulmuş ve genişletilmiş bildiridir."

✔ 11. Bölüm

BİGADİÇ BOR İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ TESİSLERİNDE ORTAYA ÇIKAN ATIK KİLİN YER KAROSU ÜRETİMİNDE KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

İlker ÖZKAN[1]

1 Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, Endüstriyel Cam ve Seramik Teknolojisi Programı

1. Giriş

Artan tüketim ve sanayi üretiminin artması doğal kaynakların tükenmesine neden olmaktadır. Öte yandan endüstriyel üretim atıkları ya da yan ürünleri de giderek büyümekte ve çevre sorunlarına yol açmaktadır. Yer ve duvar karoları gibi seramik malzemeler, çok geniş kapsamlı bir bileşime sahip killerden oluşur. Bu nedenle, bu malzemeleri üretmek için önemli oranda kil içeren atıklar kullanılabilir [1-3].

Türkiye, dünya bor rezervlerinin %70'ini oluşturan yaklaşık 800 milyon ton bor rezervine sahiptir. Türkiye'nin borat yatakları, Marmara Denizi'nin güneyinde, Batı Anadolu'da, yaklaşık 300 km doğu-batı ve 150 km kuzey-güney arasında bir alanda bulunur. Başlıca borat ilçeleri Bigadiç, Kestelek, Sultançayır, Emet ve Kırka'dır. Bigadiç borat yatakları dünyanın en büyük kolemanit ve üleksit yatakları arasındadır. Yüksek tenörlü kolemanit ve üleksit cevherleri dünyanın B ihtiyacını uzun yıllar karşılamaya yeterlidir. Bor cevherlerinin işlenmesi sırasında konsantratör atıkları oluşur ve bu atıklar atık barajlarında depolanır [4-8].

Seramik yer karoları esas olarak kil, kuvars, feldspat ve karbonat içeren çok bileşenli sistemlerdir [9-12]. Yer karosu gövde bileşiminin yaklaşık %50'si killerden oluşur. Seramik endüstrisinde kile olan talep istikrarlı bir şekilde artmaktadır. Türkiye'nin Söğüt ve İstanbul bölgelerindeki büyük yataklardan çıkarılan kilin (1.500.000 ton/yıl) tamamına yakını yerli sanayi tarafından Duvar karosu, yer karosu ve vitrifiye olarak kullanılmaktadır. Sonuç olarak, beyaz pişen killerin rezervleri tükenmektedir. Bu nedenle, üreticiler alternatif, daha ucuz hammaddeler aramaktadır [2].

Bu araştırmanın amacı Bigadiç atık kilini (BAK) karakterize etmek ve yer karosu üretiminde seramik hammaddesi olarak kullanmaktır.

2. Çalışma Alanı

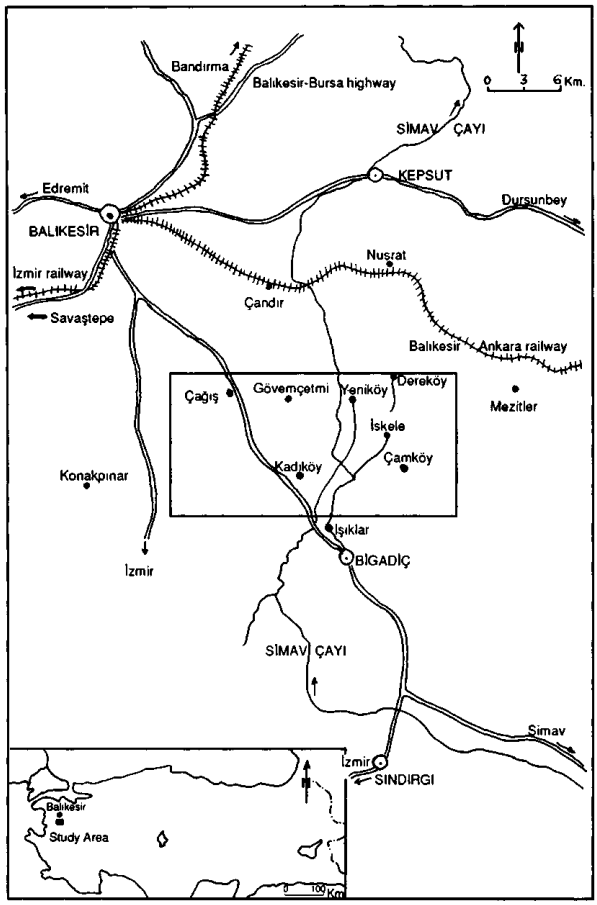
İşletme Müdürlüğü, Bigadiç ilçesinin 12 km kuzeydoğusunda Osmanca köyü hudutları içinde kurulmuştur. İlçenin Balıkesir'e uzaklığı 36 km, İzmir ve Bursa'ya uzaklığı ise 180 km'dir (Şekil 1).

Balıkesir'in Bigadiç ilçesinde 1976 yılında Bigadiç bor madenlerinin işletme ve imtiyaz haklarına sahip olmasıyla kurulan Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü, madencilik ve kimya konusunda önemli yatırımlar gerçekleştirerek bor ve bor ürünlerinin gelişimine katkı sağlamaktadır. Madencilik faaliyetlerine 1976 yılından itibaren faaliyetlere başlayan işletme müdürlüğü, 1980 yılında konsantratör tesisin kurulmasıyla üretime geçmiştir. Doğada bulunan bor minerallerini katma değeri yüksek ürünlere dönüştüren Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü; Tülü, Acep, Simav ve Kestelek olmak üzere 4 noktada kolemanit ve üleksit mineralleri üreti-

mini gerçekleştirmektedir. Ayrıca, bu ürünlerin ihracatının gerçekleştirilmesinde de etkin bir rol oynamaktadır. 1980, 1985 ve 2007 yıllarında devreye alınan konsantratörler ile konsantre kolemanit ve üleksit üreten Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü; 1998, 2007 ve 2012 yıllarında devreye aldığı öğütme tesisleri ile öğütülmüş ürün elde ederek dünyanın dört bir yanına ihracat gerçekleştirmektedir [13].

3. Bölgesel Jeoloji

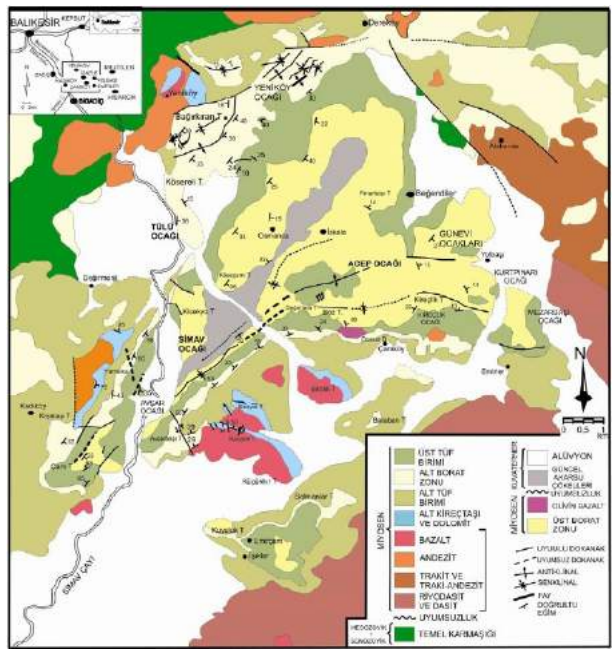
Bigadiç borat yatağı ile ilgili yapılan çalışmalarda stratigrafik istifin temelini Paleozoyik ile Mesozoyik yaşlı kayaçlar oluşturmakta, uyumsuzlukla gelen borat içeren Neojen birimleri ve bunları da uyumsuzlukla üzerleyen Kuvaterner birimleri ile istif tamamlanmaktadır [15]. Bigadiç borat yatağının jeolojik kesiti Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının yerbulduru haritası [14].

İnceleme alanında Helvacı ve Alaca 1991 ve Helvacı 1995'e göre; şişt, mermer (Paleozoyik) ve ofiyolit, kireçtaşı, radiolarit, kumtaşından (Mesozoyik) oluşan temel kayaçları üzerine uyumsuzlukla gelen Neojen yaşlı volkanik ve volkano-sedimanter kayaçları yer alır. Neojen yaşlı volkanik ve volkano-sedimanler kayaçlar kendi aralarında alttan üste doğru şu kaya birimlerine ayrılmışlardır: taban volkanitli birimi, taban kireçtaşı birimi, alt tüf birimi, alt boratlı birim, üst tüf birimi, üst boratlı birim ve bazalt [14-16].

İstifin en altında temel metamorfiti bulunmaktadır. Temel metamorfiti üzerinde rekristalize kireçtaşları, bunların üzerinde ise serpantinitleşmiş ofiyolitler yer almaktadır. Miyosen öncesi bu birimler üzerine Alt Miyosen yaşlı taban volkanitleri gelmektedir. Çalışma alanında geniş yayılım gösteren bu birim bazalt, andezit, aglomera ve tüflerden oluşmaktadır. Buna karşılık Helvacı ve Alaca 1991'e göre bu birim yeşilimsi gri, gri, pembe, siyah renklerde andezit, bazalt trakiandezit, trakit, dasit, aglomera ve tüflerden oluşmaktadır. Yine Helvacı 1995'e göre bu birim riyodasit, dasit, trakit, trakiandezit, bazalt, aglomera ve tüfden ibarettir. Bu birimi çakıl, blok ve iri blok boyutlarına sahip gri-beyaz renkli çimentolu kayaçların oluşturduğu taban volkanoklastiti takip eder. Taban volkanoklastitine Helvacı ve Alaca 1991 ve Helvacı 1995' de ayrıca değinilmemiş olup, bunlar tahminen taban volkanitleri içine dâhil edilmiştir. Taban volkanoklastiti üzerinde taban kireçtaşı yer alır [15].



Şekil 2. Bigadiç borat yatağı jeolojik haritası (11).

4. Materyal ve Metod

Balıkesir ilinde bulunan Eti Maden Bigadiç Bor İşletmesinden temin edilen atık kil, kimyasal ve X-ışını kırınım (XRD) analizleri ile karakterize edilmiştir. Atık kilin kimyasal bileşimi Atomik Absorbsiyon Spektroskopisi (GBC) ile analiz edildi. B_2O_3 bileşeni Eti Maden laboratuvarlarında titrimetrik yöntemle belirlendi. Numunede bulunan fazlar, monokromatik CuKα radyasyonlu bir Rigaku Model X-ışını difraktometresi (XRD) ile tanımlandı.

Numunelerin hazırlanması ve testleri laboratuvar ölçeğinde yapılmıştır. Yer karosu bileşimleri ticari hammaddeler (İstanbul ve Söğüt killeri, albit ve kuvars) kullanılarak, İstanbul kili yerine değişen oranlarda BAK kullanılarak formüle edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Farklı oranlarda atık kilin uygulandığı yer karosu reçeteleri

Hammadde	**YKO (%)**	**YK1 (%)**	**YK2 (%)**	**YK3 (%)**	**YK4 (%)**
BAK	-	5	10	15	25
İstanbul Kili	20	45	40	35	25
Söğüt Kili	30	15	15	15	15
Albit	40	10	10	10	10
Kuvars	10	15	15	15	15
TOPLAM	100	100	100	100	100

Fiziksel özellikleri belirlemek için pelet numuneler kullanılmıştır. Pelet numuneleri üretmek için her bir bileşim ayrı ayrı kurutuldu ve öğütüldü. Öğütülen karışımlar daha sonra ağırlıkça yaklaşık %6 su ihtiva edecek şekilde nemlendirildi. Nemli tozlar 150 kg/cm^2 basınç altında preslenerek 100x50x6 mm prizmatik numuneler elde edilmiştir. Şekillendirilen numuneler 120°C'de 24 saat kurutuldu ve bir laboratuvar fırını (Nabertherm LH 15/14) kullanılarak 1140, 1160, 1180 ve 1200°C'de fırınlandı. Malzemelerin fiziksel özelliklerini TS EN ISO 10545-3 ve TS EN ISO 10545-4 normlarına göre karakterize etmek için pişirilmiş numuneler kullanılmıştır. Pişmiş numunelerin mikro yapıları, SEM (JEOL-JSM 6060) taramalı elektron mikroskobu ile analiz edildi. Pişmiş numunelerin renkleri, 3NH NH-310 model renk ölçer kullanılarak L, a ve b parametreleri açısından analiz edildi.

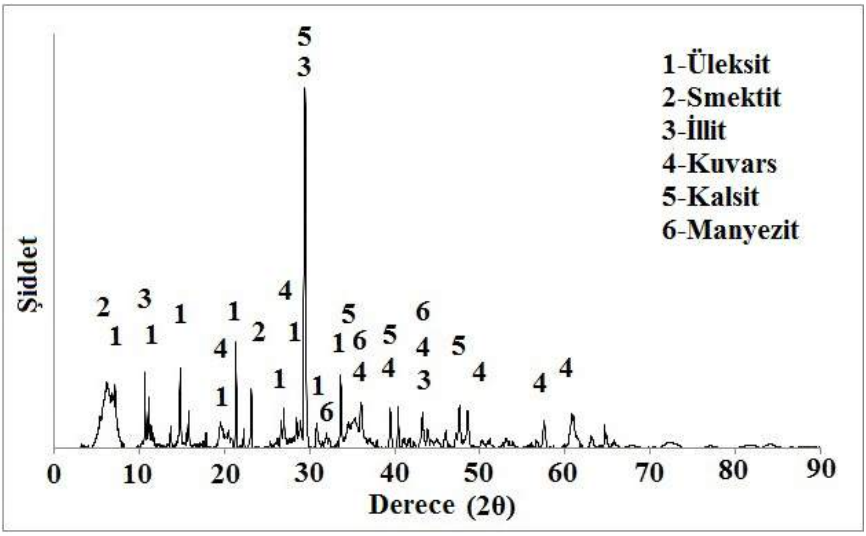
5.Deneysel Sonuçlar

Bigadiç atık kil (BAK) numunesinin kimyasal analiz sonuçları Tablo 2'de görülmektedir. Seramik bünyelerde ergitici görevi yapan Na_2O ve K_2O değerlerinin düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca CaO ve MgO değerlerinin çok yüksek olması numunelerde karbonat içeriğinin bulunduğunun bir göstergesidir.

Tablo 2. Bigadiç atık kili numunelerinin kimyasal analiz sonuçları.

Oksitler (%)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	B_2O_3	A.Z.
BAK	29.05	2.63	0.26	14.57	17.16	1.02	0.12	0.03	9.61	25.20

Atık kil numunesinin toplam kayaç XRD grafiği incelendiğinde ise mineral bileşenleri olarak; üleksit, smektit, illit, kuvars, kalsit ve manyezit içerdiği görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. BAK numunesinin toplam kayaç XRD grafiği.

Tablo 3. BAK kilinin farklı sıcaklıklarda fırınlandıktan sonra elde edilen fiziksel özelliklerini göstermektedir. Bu verilere göre sıcaklık arttıkça su emme değerleri azalmakta, boyut değişiminde küçülme değerleri ve mukavemet değerleri artmaktadır. Özellikle 1000°C'de değerlerde önemli değişim görülmektedir oldukça azalma göstermektedir. 1050°C'de numuneler deforme olmaya başladığından ölçümler alınmamıştır.

Tablo 3. BAK numunelerinin fiziksel özellikleri

	900°C	**950°C**	**1000°C**
Su Emme (%)	33,70	26,31	6,73
Boyut Değişimi (%)	0,80	-1,70	-11,90
Mukavemet (MPa)	8,46	9,18	19,67

Atık kil numuneleri tipik bir yer karosu reçetesinde, değişik oranlarda İstanbul kilinin yerine kullanılmıştır (Tablo 1). Tipik yer karosu reçetesi YKO kodu ile belirtilmiştir. BAK ile yapılan yer karosu reçeteleri artan kil oranlarına göre YK1, YK2, YK3 ve YK4 olarak kodlanmıştır.

1140˚C, 1160˚C, 1180˚C ve 1200˚C derecelerde pişirilen karışımların su emme testleri yapılmış, sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir. Toplam küçülme değerleri ise Tablo 4'de görülmektedir. Aynı sıcaklıkta pişirilen gövdelerde ise BAK kullanımı arttıkça su emme değerlerinin azaldığı görülmektedir. Yer karosu için tipik pişirme sıcaklığı 1180˚C'dir. %5 BAK **içeren YK1 reçetesi tipik pişirme sıcaklığının 20˚C altında optimum su emme ve boyut değişimi değerleri göstermiştir.**

Tablo 3. BAK kullanılarak hazırlanan yer karosu reçetelerin farklı sıcaklıklardaki su emme değerleri

Sıcaklık	**YKO (%)**	**YK1 (%)**	**YK2 (%)**	**YK3 (%)**	**YK4 (%)**
1140˚C	7,12	5,82	5,03	4,74	4,17
1160˚C	4,38	1,16	0,88	0,71	0,66
1180˚C	0,74	0,57	0,32	0,43	0,35
1200˚C	0,36	0,21	0,16	0,20	0,18

Tablo 4. BAK kullanılarak hazırlanan yer karosu reçetelerinin farklı sıcaklıklardaki boyut değişimi değerleri

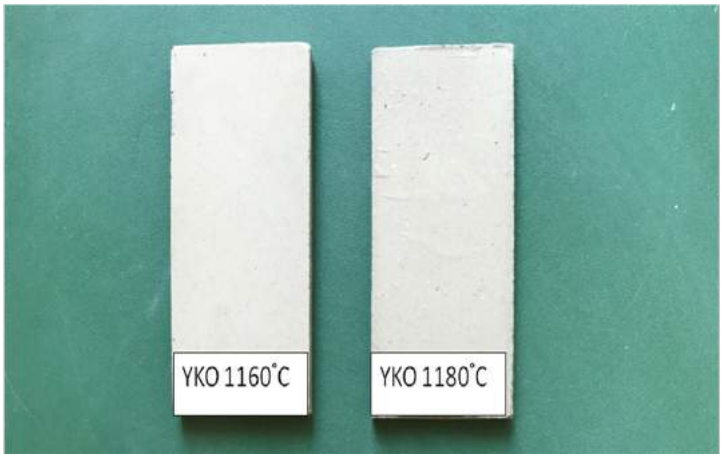
Sıcaklık	**YKO (%)**	**YK1 (%)**	**YK2 (%)**	**YK3 (%)**	**YK4 (%)**
1140˚C	-4,29	-5,52	-6,15	-6,28	-6,79
1160˚C	-6,29	-7,24	-7,64	-6,74	-7,81
1180˚C	-7,43	-8,70	-8,83	-7,71	-7,81
1200˚C	-7,71	-8,83	-9,19	-9,29	-7,48

Tablo 5. Hazırlanan yer karosu reçetelerin mukavemet değerleri

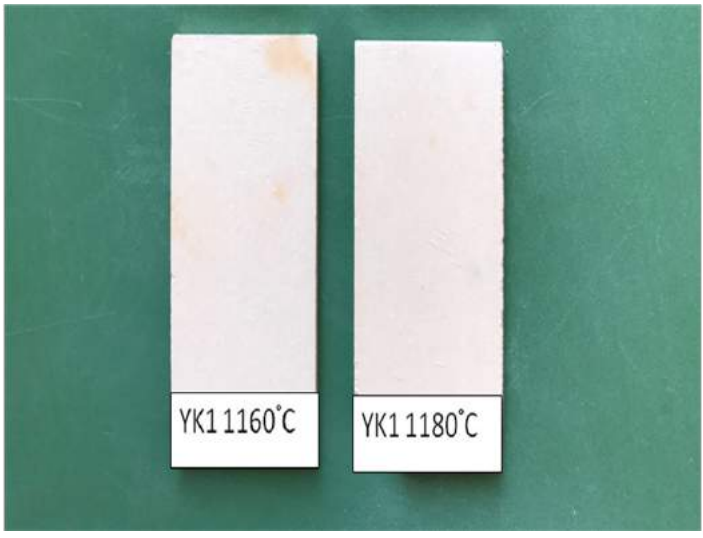
Sıcaklık (˚C)	**RO (MPa)**	**R1 (MPa)**
1140	39,4	40,2
1160	40,9	42,7
1180	43,2	46,5
1200	45,8	48,6

Farklı sıcaklıklarda pişirilen numunelerin görüntüleri Şekil 3 ve Şekil 4'de verilmektedir. YK1 kompozisyonundan daha fazla BAK içeren reçetelerde çatlaklar oluştuğu gözlemlendiğinden mukavemet testleri RO ve R1 numuneleri için gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık arttıkça mukavemet değerlerinde artış olduğu görül-

mektedir. Tipik pişirme sıcaklığı olan 1180˚C'de YKO reçetesinin mukavemet değeri 43.2 MPa değerinde iken, YK1 1060˚C'de benzer değere ulaştığı görülmektedir.



Şekil 3. YKO numunelerinin farklı derecelerde pişirildikten sonraki görüntüleri.



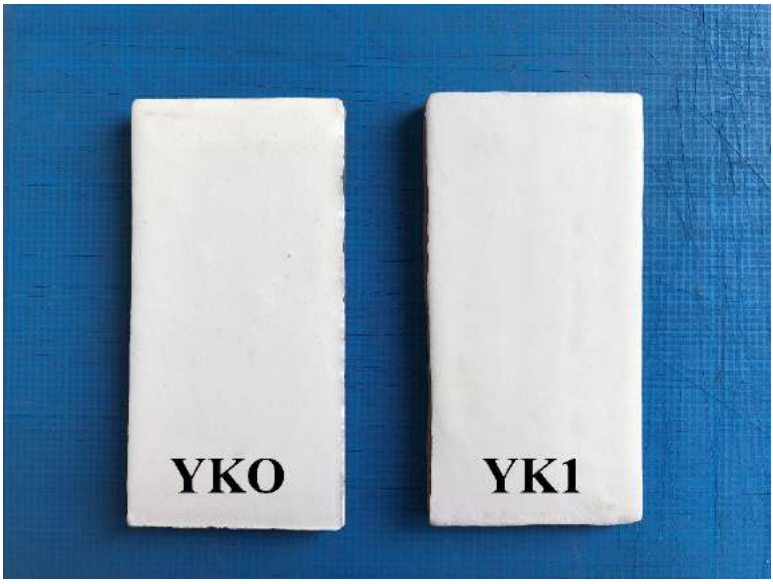
Şekil 4. YK1 numunelerinin farklı derecelerde pişirildikten sonraki görüntüleri.

Yer karosu denemelerinin renk ölçüm değerleri Tablo 6'da verilmektedir. Renk ölçüm değerleri aynı reçetede sıcaklık arttıkça numunelerin L değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Aynı zamanda reçetelerde kullanılan BAK değeri artması pişme sonrası numune renklerinde L değerinin artmasına yani renklerinde

açılmaya neden olmuştur. BAK kilinde bulunan CaO miktarının yüksek olması renkte açılmaya neden olmaktadır.

Tablo 6. Farklı sıcaklıklarda fırınlanan yer karosu numunelerinin renk ölçüm değerleri

Numune	**Pişme Sıcaklığı (˚C)**	**L**	**a**	**b**
YKO	1140	72,23	6,69	21,61
	1160	71,97	6,72	20,44
	1180	69,37	8,87	21,13
	1200	66,33	9,21	18,40
YK1	1140	75,21	8,40	23,48
	1160	74,79	8,71	23,77
	1180	73,88	8,53	23,33
	1200	73,77	8,56	23,70
YK2	1140	78,06	9,18	21,83
	1160	77,00	9,23	22,77
	1180	77,18	8,69	21,56
	1200	76,47	7,63	20,08
YK3	1140	82,99	9,12	15,81
	1160	82,90	9,02	15,96
	1180	82,23	9,50	16,75
	1200	82,37	9,70	16,77
YK4	1140	83,35	6,48	16,33
	1160	83,12	7,10	17,09
	1180	82,61	8,51	16,78
	1200	82,18	8,36	16,29



Şekil 5. Sırlı yer karosu denemelerin görüntüsü.

Ayrıca bisküvinin sıra olan etkilerini gözlemleyebilmek için YKO ve YK1 reçetelerinden üretilmiş numuneler sır uygulanmıştır. Daha sonra sırlı mamul pişirilmiştir. Sırlı numuneler fırınlama sonrası incelendiğinde gövdeye ilave edilen atık kilin sıra herhangi bir olumsuz etkisi olmadığı görülmüştür (Şekil 5).

Sonuçlar

Bu projede incelenen atık kil numuneleri, Balıkesir iline bağlı Bigadiç ilçesinde bulunan Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğüne bağlı Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü tesislerinden alınmıştır. BAK olarak kodlanan kil numunesinin karakterizasyonu ve yer karosu reçetelerinde kullanılabilirliği konuları araştırılmıştır.

BAK kili numunesinin kimyasal analiz sonuçlarına göre, numunede yüksek oranda CaO ve MgO değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra seramik bünyelerde ergitici görevi yapan B_2O_3 değerlerinin yüksek olması istenilen bir özelliktir. Yüksek CaO içeriği ve düşük Fe_2O_3 içeriği numunelerinin pişme renklerinin açık olmasını sağlamaktadır.

BAK numunesinin toplam kayaç XRD analizleri sonuçlarına göre kilin mineral bileşenleri olarak; üleksit, smektit, illit, kuvars, kalsit ve manyezit içerdiği görülmektedir.

BAK kilinin teknolojik özellikleri incelendiğinde sıcaklık arttıkça numunelerin su emme değerlerinde azalış, boyut değişimi değerleri ve mukavemet değerlerinde artışlar gözlenmiştir. Özellikle 1000C'de fiziksel değerlerinde önemli

değişiklikler gözlemlenmiştir.

BAK yer karosu reçetelerinde İstanbul kili yerine ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 oranlarında kullanılmıştır. Teknolojik özellikleri incelendiğinde yer karosu reçetelerinde İstanbul kili yerine ağırlıkça maksimum %5 BAK kullanılabileceği önerilmektedir.

Yer karosu denemelerinde yapılan renk ölçümleri BAK kullanımının numunenin renginde açılmaya yol açtığını göstermiştir. BAK içerdiği yüksek oranda CaO ile bu etkiye neden olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca bisküvinin sıra olan etkilerini gözlemleyebilmek için ağırlıkça %5 BAK içeren yer karosu bisküvileri sırlanmıştır. Sırlı numuneler fırınlama sonrası incelendiğinde gövdeye ilave edilen atık kilin sıra herhangi bir olumsuz etkisi olmadığı görülmüştür.

Ege bölgesinde faaliyet gösteren seramik karo üreten firmalar için hammaddelerin nakliye masrafları ürün maliyeti üzerinde önemli bir parametredir. Ege bölgesinde üretim yapan seramik karo fabrikaları özellikle İstanbul killeri için büyük miktarlarda nakliye ücreti ödemektedirler. Bu durum göz önüne alındığında Ege Bölgesinde bulunan bu atık kilin kullanımı hammadde nakliye masraflarını olumlu yönde etkileyecektir.

Teşekkür

Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2015.KB.FEN.027 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

[1] I. Demir, M. Orhan, Reuse of waste bricks in the production line, Building and Environment 38 (2003) 1451 – 1455. *DOI:10.1016/S0360-1323(03)00140-9*

[2] I. Özkan, M. Çolak, R.E. Oyman, Characterization of waste clay from the Sardes (Salihli) placer gold mine and its utilization in floor-tile manufacture, Applied Clay Science 49 (2010) 420–425. *DOI: 10.1016/j.clay.2009.08.021*

[3] I. Özkan, Z. Yayla, Evaluation of Ceramic Production Waste for Pavement Brick Production, Ceramics Technical 34 (2012) 32-35.

[4] B. Oto, A. Gür, Determination of mass attenuation coefficients of concretes containing ulexite and ulexite concentrator waste, Annals of Nuclear Energy 59 (2013) 72–74. *DOI:10.1016/j.anucene.2013.03.018*

[5] Ü.Gemici, G. Tarcan, C. Helvacı, A.M. Somay, High arsenic and boron concentrations in groundwaters related to mining activity in the Bigadiç borate deposits (Western Turkey), Applied Geochemistry 23 (2008) 2462–2476. *DOI:10.1016/j.apgeochem.2008.02.013*

[6] C. Helvacı, H. Mordogan, M. Çolak, İ. Gündoğan, Presence and Distribution of Lithium in Borate Deposits and Some Recent Lake Waters of West-Central Turkey, International Geology Review, 46:2 (2004) 177-190. *DOI:10.2747/0020-6814.46.2.177*

[7] C. Helvacı, Stratigraphy, Mineralogy and Genesis of the Bigadiç Borate Deposits, Western Turkey, Economic Geology, 90 (1995) 1237-1260.

[8] C. Helvacı, R.N. Alonso, Borate Deposits of Turkey and Argentina; A Summary and Geological Comparison, Turkish Journal of Earth Sciences, 9 (2000) 1-27.

[9] H.Çelik, Technological characterization and industrial application of two Turkish clays for the ceramic industry, Applied Clay Science, 50, (2010), 245–254. *DOI: 10.1016/j.clay.2010.08.005*

[10] H. Elçi, Utilisation of crushed floor and wall tile wastes as aggregate in concrete production, Journal of Cleaner Production 112 (2016) 742-752. *DOI:10.1016/j.jclepro.2015.07.003*

[11] A.J. Souza, B.C.A. Pinheiro, J.N.F. Holanda, Processing of floor tiles bearing ornamental rock-cutting waste, Journal of Materials Processing Technology 210 (2010) 1898–1904. *DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2010.07.001*

[12] C. M. F. Vieira, P. R. N. da Silva, F. T. da Silva, J. L. Capitaneo, S. N. Monteiro, Microstructural Evaluation and Properties of a Ceramic Body for Extruded Floor Tile, Revista Matéria, v. 10, n. 4, pp. 526 – 536, 2005.

[13] http://www.etimaden.gov.tr/-/page/uretim-bigadic
[14] C. Helvacı, O. Alaca, “Geology and Mineralogy of the Bigadiç Borate Deposits and Vicinity”, Mineral Res. Expl. Bull., 113, 31-63, 1991
[15] KOÇAK, İ., “Bigadiç (Balıkesir) çevresi borat yataklarının mineralojik ve jeokimyasal özellikleri, bunların derinliğe bağlı değişimleri ile manyetik rezonans yöntemiyle bazı yüksek teknolojik özelliklerinin incelenmesi”, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara, 2009.
[16] HELVACI, C., Stratigraphy, mineralogy and genesis of the Bigadiç borate deposits, Western Turkey. Economic Geology 90, 1995, 1237-1260.
[17] TS EN ISO 10545-3. Ceramic Tiles—Part3: Determination of Water Absorption, Apparent Porosity, Apparent Relative Density and Bulk Density, (2000).
[18] TS EN ISO 10545-4. Ceramic Tiles—Part4: Determination of Modulus of Rupture and Breaking Strength, (2000).

✔ 12. Bölüm

YENİLENEBİLİR BİYOKÜTLE ENERJİSİ OLAN PELETLEMENİN ENERJİ TÜKETİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ANALİZİ

Kübra TÜMAY ATEŞ[1]

1 Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 01330, Adana, Türkiye

GİRİŞ

Son yıllarda Dünyada tüketimin artması, kullanılan enerji miktarını da arttırmıştır. Tüketilen enerjinin artması zamanla yerini çevre ve doğa tahribatına dönüştürmüş, doğal kaynakların azalması da enerjinin üretimi için farklı yollar aramaya itmiştir. Bu durum da değişen dünya standartlarında yenilenebilir ve sürdürülebilir enerjinin devamlılığı ile mümkün olacaktır. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, hidroelektrik enerjisi, hidrojen enerjisi ve dalga enerjisi olmakla birlikte biyokütle enerjisi ile de mümkündür. Yaklaşık 8,6 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) üretilebilecek biyogazın Türkiye'deki biyokütle atık potansiyeli ile karşılanacağı düşünülürse bu miktarın 1,5-2 MTEP olarak tahmin edilmektedir. Biyokütle enerjisinin aynı zamanda çevreye dost bir üretim şekli olması da dikkat çekmektedir. Modern biyokütle teknikleri kapsamında, enerji ormancılığı ve enerji bitkileri tarımından yararlanılması gerekmektedir. Türkiye'de enerji ormancılığı için uygun alanın yüzde 15'i değerlendirilmiş olup, geri kalan yüzde 85 alan uygulama beklemektedir. Modern biyokütle için enerji bitkileri tarımı, enerji planlaması ve tarımsal üretim planlaması kapsamında birlikte ele alınması ileriki çalışmalar için çok daha iyi olacaktır [1-3]. Biyokütlelerden enerji üretebilmenin çeşitli yolları mevcuttur [2];

Hayvansal biyokütle kaynakları

- Sığır, at, koyun, tavuk gibi hayvanların dışkıları, mezbahane atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar.

Şehir ve endüstriyel atıklardan ve organik çöplerden, elde edilen biyokütle kaynakları

- Kanalizasyon ve dip çamurları, kağıt, sanayi ve gıda sanayi atıkları, endüstriyel ve evsel atık sular, belediye ve büyük sanayi tesisleri atıkları.

Bitkisel biyokütle kaynakları

- Elyaf bitkileri
- Protein bitkileri
- Yağlı tohumlu bitkiler
- Bitkisel ve tarımsal artıklar
- Şeker ve nişasta bitkileri

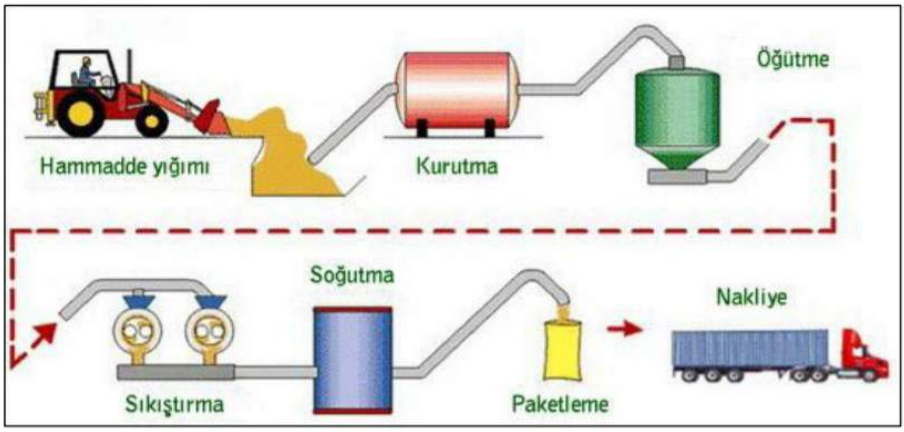
Orman ve orman ürünleri ile oluşan biyokütle kaynakları

- Odun ve orman atıkları



Şekil 1. Biyokütle kaynaklarına ait peletleme çeşitleri

Biyokütlenin yenilenebilir enerji kaynağına dönüşme yöntemlerinden birisi de bitkisel ve tarımsal artıkların (al, sap, saman, kök, kabuk gibi) peletlenmesi yöntemidir (Şekil 1 ve Şekil 2). Bu yöntem hayvan yemini andıran, silindirik küçük bir yapıdır. Biyokütle peletleri genelde 10-30 mm uzunluğunda ve 6-12 mm çapında yapılmaktadır. Peletleme yöntemi; biyokütle bileşenlerinin basınç yardımıyla yaklaşık 30 mm'lik daha küçük boyutlara getirilmesidir [4] (Şekil 2).



Şekil **2.** Peletleme İşlemi Prosesi

Şekil 3 incelendiğinde Türkiye'deki zeytinlerin biyokütle haritası görülmektedir. Buna göre kırmızı olarak renklendirilen bölgelerde biyokütle enerjisinin en fazla olduğu bölgeler belirlenmiştir [5].



Şekil **3.** Türkiye'deki Zeytin Biyokütle Haritası [5]

Biyokütle enerjisinin öneminin artması günümüzde yapılan çalışmalara da yansımıştır. Literatür incelendiğinde; zeytin bahçelerinden budama işlemleri sonucu ortaya çıkan biyokütle artıklarının açığa çıkardığı biyokütle enerjisi ve enerji tüketim miktarları ölçülmüştür. Çalışmada iki farklı nem ve üç farklı parçacık boyutu kullanılmıştır [6]. Başka bir çalışmada ise Türkiye'nin Güney Marmara Bölgesi'nde yetiştirilen zeytin çeşitlerinde budama kalıntı katsayılarının belirlenmesi

amaçlanmıştır. Bölgenin zeytincilikten kaynaklanan budama artıklarının miktarı ve enerji potansiyeli belirlenmiştir. Budama artıkları için ortalama tayin katsayıları 33.62 kg ağaç-1yıl-1 ve 5668.63 kg ha-1yıl-1 olarak hesaplanmıştır. Güney Marmara Kalkınma Bölgesi için budama artıklarından kaynaklanan enerji potansiyeli 5,16 PJ olarak belirlenmiştir [7]. Başka bir peletleme çalışmasında çim peleti üretiminde nem içeriğinin, kalıp delik çapının peletin fiziksel özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır [8]. Biyokütlelerden biyoenerji üretim potansiyeli, ürünün özelliklerine bağlı olduğu saptanmıştır [9]. Bu özellikleri ortaya çıkarabilmenin çok farklı metotları vardır. Bu tekniklerden bazıları, deneysel analiz metotları, ANOVA analizi, regresyon analizi ve istatistiksel bazı metotlardır. Literatür bu açıdan incelendiğinde ise ANOVA ve Regresyon analizinin bu çalışmada uygulanabileceği öngörülmüştür. Bu kapsamda, zeminin şev stabilite analizi ve yüksek kesme mukavemeti elde etmeyi amaçlayan bir çalışmada, parametreleri belirlemek için faktör analizi ve regresyon analizleri kullanılmıştır [10]. Metan buhar reformasyonu ile hidrojen üretimi için entegre bir membran reaktörünün ANOVA analizi yapılmıştır. [11]. Türkiye'de öğretmenlik mesleğinin durumsal analizi pareto ile yapılmıştır [12]. Başka bir çalışmada, toprakta bulunan ağır metallerin regresyon analizi yöntemi ile kategorilere ayırmışlardır [13]. Başka bir çalışmada, hava bazlı PVT sisteminin deneysel termodinamik analizi yapılarak Taguchi yöntemi ve ANOVA ile kontrol parametrelerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir [14]. Başka bir çalışmada; vaka çalışması aracılığıyla ücretler, banka kredisi, ekonomik büyümeye yönelik devlet harcamaları ve istihdam arasındaki korelasyon ile bir çıkarım sağlanmıştır [15]. Yapılan literatür çalışmalarına bakıldığında, çeşitli problemlere ait etki faktörlerinin belirlenebilmesinin çok farklı metotlar kullanılarak yapıldığı görülmüştür.

Biyokütle elde etmenin birçok yolu olmakla birlikte, bu çalışmada biyokütle enerjisi üretmek için bitkisel ve tarımsal artıklardan olan zeytin dalı peletleme yöntemi seçilmiştir. Peletleme yöntemi ile enerji üretilirken aynı zamanda enerji de tüketilmektedir. Bu tüketilen enerjinin hangi faktörlere daha bağlı olduğunu literatürden toplanan veriler ile ortaya çıkarabilmek için ANOVA analizi yapılmıştır. Aynı zamanda faktörlerin birbirlerine olan etkisini görebilmek amacıyla korelasyon analizi yapılarak enerji tüketimine sebep olan parametrelerin regresyon denklemi elde edilmiştir.

2. Kullanılan Analiz Yöntemleri ve Veri Toplama

Çalışmada peletleme yöntemi ile ilgili veriler literatürden toplanarak ve zeytinin biyokütle enerjisini etkileyen faktörler belirlenerek ANOVA analizi yapılmıştır. Aynı zamanda, biyokütleyi etkileyen faktörlerin korelasyon analizi yapılarak faktörlerin birbirlerine olan etkisi değerlendirilmiştir. Son olarak ise regresyon

analizi ile peletleme işleminin enerji tüketimine ait matematiksel bir model önerilmiştir. Yapılan literatür çalışmalarının sonucunda pelet yığınlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri olduğu görülmüştür [6,7,14]. Bu çalışma için ise yenilenebilir biyokütle enerjisi olan peletlemenin enerji tüketimi üzerindeki etkisi parçacık boyutu (2 mm, 4 mm, 6 mm), materyalin nemi (% 11 ve %15), üretim kapasitesi ve enerji tüketimi parametreleri kullanılmıştır [6,7,14].

Tek bağımlı değişken ile tasarlanmış deneyler tipik olarak ANOVA ile analiz edilmektedir. Deneysel faktörlerin her bir bağımlı değişken üzerindeki etkisi ANOVA ile ölçülebilmektedir [16]. Korelasyon ise incelenen iki değişken arasında bir ilişki kuran tek bir değer veya sayıdır. Bu değeri hesaplamak için iki yöntem kullanılmaktadır; Karl Pearson'ın çarpım momenti korelasyon katsayısı r veya daha basit bir şekilde Karl Pearson'ın korelasyon katsayısı r ve Spearman's rank korelasyon katsayısı rho (ρ) veya kısaca Spearman's rho (ρ). Pearson'ın korelasyon katsayısı, üç varsayıma dayalı olarak iki değişken arasında bir ilişki kurar. Bu kurala göre, ilişki doğrusaldır, değişkenler birbirinden bağımsızdır ve değişkenler normal olarak dağılmıştır denilir [17].

Regresyon analizinde ise sebep sonuç ilişkisi olan değişkenler arasındaki ilişkiyi tahmin etmeye yönelik istatistiksel bir tekniktir. Tek değişkenli regresyonun ana odağı, bağımlı bir değişken ile bir bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi analiz etmek ve bağımlı ve bağımsız değişken arasındaki doğrusal ilişki denklemini formüle etmektir. Bir bağımlı değişkenli ve birden fazla bağımsız değişkenli regresyon modellerine çok doğrusal regresyon denir. Lineer regresyon modelleri Denklem (1)'deki gibi bağımlı değişken (Y) ile bağımsız değişkenler (x_i,.x_n) arasındaki ilişkiyi inceler. Aynı zamanda burada ; i'inci denek için Y'nin tahmin edilen değeriyle gözlenen değer arasındaki farkı ifade etmektedir [18].

$Y= a+b_x$ veya

$$Y= b_0+b_1x +b_2x_2 + b_nx_n + e_i \quad (1)$$

3. Uygulama ve Bulgular

Analiz edilen ve kullanılan veriler Tablo 1'de sunulmuştur [6,7,14]. Literatürden elde edilen verilere ve bilgilere dayanarak biyokütle enerjisi oluşabilmesi için ne kadar enerji tüketileceği ve peletleme faktörlerinin sonuca ne derece etkili olduğu ANOVA analizi korelasyon analizi ve regresyon analizi ile bulunmaya çalışılmıştır. Çalışmadaki verilerin analizi paket program ile analiz edilip doğruluğu literatür verileri ile kıyaslanmıştır.

Tablo 1. Zeytinin Peletlenmesi ile Oluşan Biyokütle Enerji Verileri [6,7,14]

Kullanılan Materyalin Nem Oranı (%)	Parçacık Boyutu (mm)	Üretim Kapasitesi	Özgül Enerji Tüketimi
11	4	63	124
15	2	77	99
15	4	84	95
11	6	67	118
15	6	74	101
11	2	59	131

Çalışmadaki biyokütle enerji yöntemlerinden olan peletlemenin, özgül enerji tüketimini etkileyen faktörlere ANOVA analizi uygulanmış ve sonuçlar yorumlanmıştır daha sonra ise korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon analizi ile faktörlerin birbirleriyle olan ilişkisi irdelenmiş ve enerji tüketimine olan etkisine bakılmıştır. Daha sonra regresyon analizi yapılarak anlamlılık değeri ölçülmüş ve regresyon denklemi belirlenmiştir. Regresyon denklemi için kısaltmalar şu şekilde kullanılmıştır;

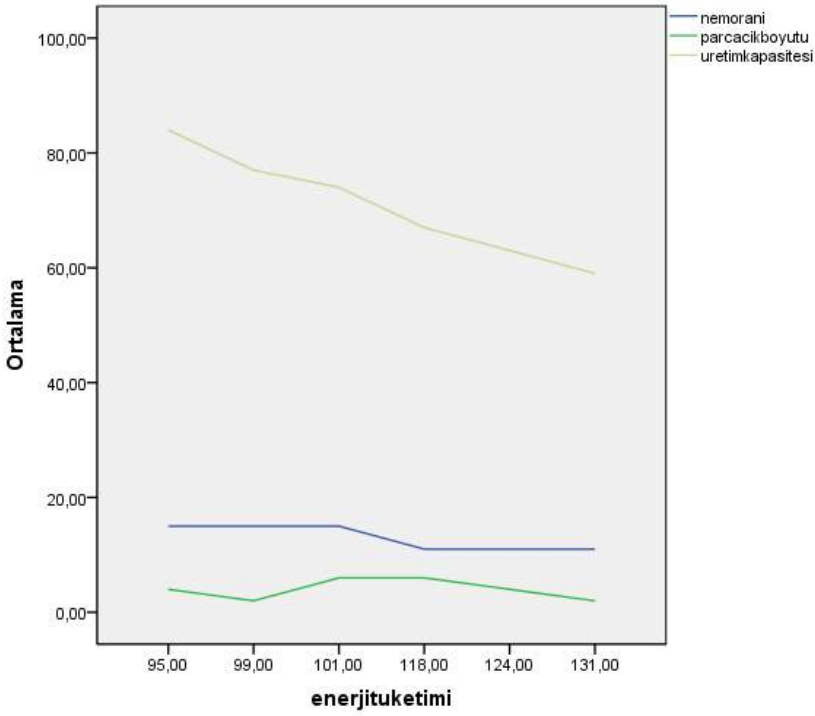
C1= Özgül Enerji Tüketimi
C2= Parçacık Boyutu
C3= Kullanılan Materyalin Nem Oranı
C4= Üretim Kapasitesi

Biyokütle enerji yöntemlerinden olan peletlemenin, özgül enerji tüketimini etkileyen faktörlerine Tablo 2'deki gibi ANOVA analizi uygulanmış ve P değeri 0,05 'ten küçük olduğu için ANOVA analizi anlamlı bulunmuştur. Böylelikle diğer analizlere geçilebilmiştir.

Tablo 2. Zeytinin Peletlenmesi ile Oluşan Biyokütle Enerjisine ait ANOVA Analizi

	DF	Adj	SS	Adj MS	F-Değeri	P değeri
Regresyon	3	1087	362,53	35,44	19,55	0,04
Parçacık Boyutu	1	45,05	45,05	2,43	0,259	
Kullanılan Materyalin Nem Oranı	1	1020,82	55,06	0,018		
Üretim Kapasitesi	1	35,44	1,91	0,301		
Hata	2	37,08	18,54			

Şekil 4. incelendiğinde nem oranının, parçacık boyutunun ve üretim kapasitesinin enerji tüketimi ile olan ilişkisi görülmektedir. Buna göre nem oranı ortalama 20 civarlarındayken enerji tüketiminin stabil şekilde arttığı görülmüştür. Nem oranı ortalaması azalsa bile enerji tüketimi 101-118 aralığında artmaktadır. Parçacık boyutunun ortalamasının arttığı durumlarda enerji tüketimi 101-118 aralığında seyretmektedir. Üretim kapasitesi ise ortalaması azalırken dahi enerji tüketimini arttırmaktadır.



Şekil 4. Enerji Tüketiminin Parametrelerle olan ilişkisi

Faktörlerin birbirleri ile ve enerji tüketimleri ile olan ilişkileri korelasyon analizi yapılarak Tablo 3'deki gibi elde edilmiştir. Tablo 3'e bakıldığında nem oranının üretim kapasitesi ile 0.05 düzeyinde pozitif bir etki gösterdiği dolayısıyla üretim kapasitesi arttıkça nem oranı parametresi de artmaktadır. Enerji tüketimi ile nem oranı 0,01 düzeyinde negatif korelasyona sahip olarak belirlenmiştir. Yani nem oranı arttıkça enerji tüketimi azalmaktadır. Enerji tüketimi ile üretim kapasitesi arasında ise 0,01'lik düzeyde negatif bir korelasyon vardır. Buradaki etki; üretim kapasitesi arttığında enerji tüketiminin de artması yönündedir.

Tablo 3. Faktörlerin Korelasyon Değerleri

		nemorani	parcacikboyutu	uretimkapasitesi	enerjituketimi
nemorani	Pearson Korelasyon	1	,000	,898*	-,953**
	Sig.		1,000	,015	,003
	N	6	6	6	6
parcacikboyutu	Pearson Korelasyon	,000	1	,120	-,165
	Sig.	1,000		,822	,755
	N	6	6	6	6
uretimkapasitesi	Pearson Korelasyon	,898*	,120	1	-,975**
	Sig.	,015	,822		,001
	N	6	6	6	6
enerjituketimi	Pearson Korelasyon	-,953**	-,165	-,975**	1
	Sig.	,003	,755	,001	
	N	6	6	6	6

*. 0,05'lik düzeydeki korelasyon katsayısı

**.0,01'lik düzeydeki korelasyon katsayısı

Peletleme yapılırken, tüketilen enerji miktarına etki eden faktörlerin katsayıları Regresyon analizi ile Tablo 4'deki gibi elde edilmiştir. Aynı zamanda C1 (özgül enerji tüketimi) faktörü için Denklem (2) elde edilmiştir.

Tablo 4. Zeytinin Peletlenmesi ile Oluşan Biyokütle Enerjisine Ait Regresyon Katsayıları

Model		Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Edilmiş Katsayılar	t	Sig.
		B	Std. Hata	Beta		
1	(Sabit)	231,024	25,256		9,147	,012
	Parçacık Boyutu (C2)	-1,767	1,137	-,208	-1,554	,260
	Kullanılan Materyalin Nem Oranı (C3)	-7,041	,978	-1,017	-7,202	,019
	Üretim Kapasitesi (C4)	-,305	,232	-,188	-1,315	,319

$$C1 = 231{,}024 - 1{,}767 * C2 - 7{,}041 * C3 - 305 * C4 \quad (2)$$

olarak elde edilmiştir.

Denklem (2)'de C1= özgül enerji tüketimi ve 231,024 sabit sayı olmak üzere, materyalin nem oranının öneminin (C4*305) diğer faktörlere oranla daha etkili olduğu söylenebilir. İkinci etkili bir faktör ise üretim kapasitesi (C3*7,041) olarak elde edilmiştir. Parçacık boyutunun (C2*1,767) ise diğerlerine göre daha düşük etkisi bulunmuştur. Toplanan bilgiler neticesinde, çalışmanın literatürle örtüştüğü görülmüştür.

Sonuç olarak, ANOVA analizi ile faktörlerin enerji tüketimi üzerinde anlamlı bir etki oluşturup oluşturmadığı ortaya çıkarılmıştır. Korelasyon analizi ile faktörlerin birbirlerine olan etkisi analiz edilmiştir. Zeytinin peletlenmesi ile oluşan biyokütle enerjisinin enerji tüketiminin, peletin nem oranına, parçacık büyüklüğüne ve üretim kapasitesine bağlı olduğu görülmüştür. Korelasyon analizindeki üretim kapasitesi faktörünün en büyük katsayı ile (-,975**), enerji tüketimine negatif yönlü bir ilişki ile bağlı olduğu görülmüştür.

Oluşturulan Regresyon denklemi ile (Denklem 2) yenilenebilir biyokütle enerjisi olan peletlemenin enerji tüketimi üzerindeki etkisi matematiksel olarak öngörebilecektir. Böylece hem yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını arttırabilecek hem de çevreyi daha az kirletecek, gaz salınımlarını azaltabilecek durumlar yaratılabilecektir. Sonraki çalışmalar için bu denklemin çeşitlendirilebilmesi ve daha farklı faktörlerle ele alınıp yorumlanması mümkün olabilir. Aynı zamanda faktörlerin birbirleriyle olan etkileşim analizleri ile de çeşitli çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKÇA

[1] Ültanır, M.Ö., (1998), 21. Yüzyıla Girerken Türkiye' nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi, TÜSAD-Türk Sanayicileri ve adamları Derneği, yayın no. TÜSAD-T/98-12/239, İstanbul.

[2] https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-biyokutle.

[3] Anonim, 2005 b. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, Kanun Numarası: 5346 Kabul Tarihi: 10/ 5/ 2005 Yayımlandığı R.Gazete: Tarih: 18/5/2005, Sayı: 25819 Yayımlandığı Düstur: Tertip: 5 Cilt: 44.

[4] Öztürk, H.H. (2012). Enerji Bitkileri ve Biyoyakıt Üretimi, Hasad Yayıncılık Ltd. Şti., İstanbul, ss. 272.

[5] https://bepa.enerji.gov.tr/.

[6] Koçer, A., ve Kürklü, A. (2018). Zeytin Budama Artıklarının Peletleme ile Değerlendirilmesi. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 14(2), 67-72.

[7] Çiçek, G., Sümer, S. K., Egesel, C. Ö., Say, S. M., ve Aydın, A. (2021). Determination of Coefficients and Biomass Potential for Pruning Residuals in Some Olive Varieties. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 24(2), 313-318.

[8] Yılmaz, H., Topakcı, M., Çanakcı, M., ve Karayel, D. (2021) Çim Peleti Üretiminde Kalıp Delik Çapı ve Nem İçeriğinin Üretim Parametreleri ve Pelet Fiziksel Özelliklerine Etkisi. ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 9(1), 47-56.

[9] Charis, G., Danha, G., and Muzenda, E. (2020). Characterizations of biomasses for subsequent thermochemical conversion: a comparative study of pine sawdust and Acacia tortilis. Processes, 8(5), 546.

[10] Khan, M. I., and Wang, S. (2021). Slope Stability Analysis to Develop Correlations between Different Soil Parameters and Factor of Safety Using Regression Analysis. Polish Journal of Environmental Studies, 30(5), 4021-4030.

[11]Leonzio, G. (2019). ANOVA analysis of an integrated membrane reactor for hydrogen production by methane steam reforming. International Journal of Hydrogen Energy, 44(23), 11535-11545.

[12] Tembo Silungwe, C. K., and Khatleli, N. (2020). An analysis of the allocation of pertinent risks in the Zambian building sector using Pareto analysis. International Journal of Construction Management, 20(4), 321-334.

[13] Koçer, A. (2018). Budama artıklarının peletlenmesi, peletleme parametrelerinin belirlenmesi ve yanma sonu gaz emisyonlarının ölçülmesi.

[14] Özakın, A. N., & Kaya, F. (2020). Experimental thermodynamic analysis of air-based PVT system using fins in different materials: Optimization of control parameters by Taguchi method and ANOVA. Solar Energy, 197, 199-211. Xu, J., and Xiao, P. (2021). Influence factor analysis of soil heavy metal based on categorical regression. International Journal of Environmental Science and Technology, 1-14.

[15] Olılıngo, F. Z., & Putra, A. H. P. K. (2020). How Indonesia economics works: Correlation analysis of macroeconomics in 2010-2019. The Journal of Asian Finance, Economics, and Business, 7(8), 117-130.

[16] Zwanenburg, G., Hoefsloot, H. C., Westerhuis, J. A., Jansen, J. J., & Smilde, A. K. (2011). ANOVA–principal component analysis and ANOVA–simultaneous component analysis: a comparison. Journal of Chemometrics, 25(10), 561-567.

[17] Deshpande, S., Gogtay, N., & Thatte, U. (2016). Data types. The Journal of the Association of Physicians of India, 64(6), 64-65.

[18] Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2021). Introduction to linear regression analysis. John Wiley & Sons.

✔ 13. Bölüm

ÇALIŞMA ORTAMLARINDA AYDINLATMA SİTEMLERİ SEÇİMİ ve AYDINLATMA ŞİDDETİ DEĞERLERİNİN ÖNEMİ

Mustafa Özgür KESKİN[1]

1 Dr. Çukurova Üniversitesi, Karaisalı Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, Karaisalı-ADANA-TÜRKİYE
okeskin@cu.edu.tr ORCID: 0000-0003-4717-5740

1. Giriş

Çevremizi duyu organlarımızla algılarız. İşyerlerinde ise duyu organlarımızın algı süre ve kapasiteleri, sağlık ve güvenlik açısından oldukça önemlidir. İşitme ve görme duyularımız, çalışılan çevrenin, tehlike kaynaklarının ve bunlardan kaynaklanan risklerin algılanabilmesi için diğer duyularımıza göre ön plandadır. Çevremizde olup bitenlerin %80'ini gözlerimizle; %10'unu akustik duyu organımız kulaklarımızla ve %5'ini ise dokunarak algılarız[3]. Görme duyumuz; gözlerimizle çevremizde olup bitenlerin algılanması ve beyinde işlenerek çıktıların değerlendirilmesi şeklinde bir süreci yönetir. Gözlerimizle çevremizi algılayabilmek ise belirli bir aydınlatma düzeyi ile mümkündür. Çalışma ortamı, yürütülen iş, kullanılan makine, ekipman ve malzemelerin boyutları gibi faktörler, ihtiyaç duyulan aydınlatma seviyesi belirler. Aydınlatma seviyesi, genellikle aydınlatma şiddeti ile tanımlanır. Farklı çalışma ortamları için farklı aydınlatma sistemleri kullanılabilir. Görme kaynaklı iş kazaları ve meslek hastalıklarında; kullanılan aydınlatma sistemleri, bu sistemlerin aydınlatma şiddeti değerleri, işin gerektirdiği asgari aydınlatma düzeyleri ve çalışma süreleri gibi birden fazla parametre göz önünde bulundurulur[2].

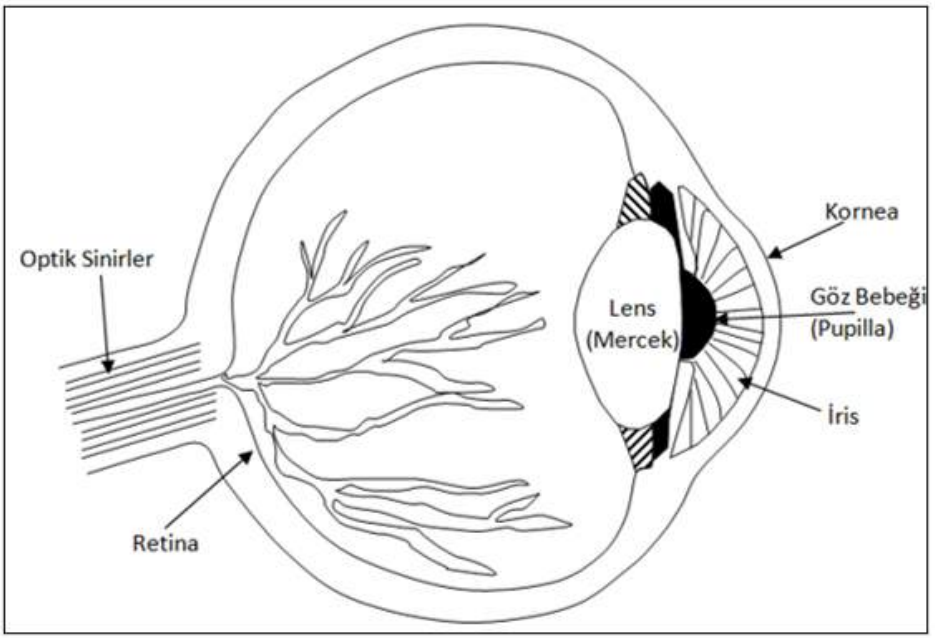
2. Gözün Yapısı Ve Görme

Göz yuvarlağını dıştan saran bir tabaka olan sert tabaka (sklera) gözün ön tarafında saydam bir yapı haline dönüşür ve saydam tabaka (kornea) ismin alır. Kornea ışığın göze giriş yaptığı kısımdır. Işık korneadan geçerken kırılır. Işık korneadan geçtikten sonra, göz bebeğinden (pupilla) gözün içine doğru hareketini sürdürür. Pupilla aslında gözün renkli kısmı olan "iris"in ortasındaki açıklıktır. İrisin düz kas bağlantıları pupilla'nın genişleyip daralmasını sağlayarak, göz içerisine giren ışığın miktarının belirlenmesini sağlar. Bu hareketler ışık refleksi ile kontrol edilmektedir. Göze gelen ışık miktarı arttıkça pupilla daralırken, azaldıkça genişleyerek daha fazla ışığın toplanmasını sağlar. İrisin hemen arkasında mercek (lens) bulunur. Lens gözün kırıcılığının değiştirilebildiği bir yapıdır. Kornea sabit bir kırıcılık sağlar ancak yine kaslar aracılığı ile lensin öne-arkaya çapı arttırılıp azaltılarak gözün toplam kırıcılığı ayarlanabilir. Bu olaylar gözün uyumu ya da akomodasyon olarak adlandırılır. Temel amaç dış ortamdan gelen ışık ışınlarını, ışığa duyarlı olan fotoreseptörleri içeren retina üzerine odaklayabilmektir. Gözü oluşturan doku tabakalarının en iç kısmında bulunan ve fotoreseptörlerin yanı sıra bu reseptörlerden kaynaklanan uyarıları görme korteksine taşıyacak olan sinir ağını barındıran tabaka ize retina tabakasıdır. Retina da iki tip fotoreseptör bulunur. Bunlar şekil benzerliği ile adlandırılan "koni" ve "basil ya da çubuk" tipindeki reseptörlerdir. Basiller retinada dağılmış olarak bulunurlar ve

düşük ışık yoğunluklarında dahi uyarılabilecek duyarlılıktadırlar. Düşük ışıklı ortamlarda varlıkların şekillerinin belirlenmesi gibi kaba görsel algılardan sorumludurlar. Retinada "fovea centralis ya da sarı benek" olarak adlandırılan bölgede yoğunlaşmış olan koniler ise daha yüksek ışık yoğunluğunda, keskin (ayrıntılı) ve renkli görmeyi sağlarlar. Fovea, göz içerisine giren ışığın odaklandığı noktadır. Bu alanda görme keskinliğimiz en yüksek seviyededir[1].

Görme işlevi varlıkların yüzeyinden yansıyan ışığın gözümüze ulaşması ile gerçekleşir. Işık olmazsa görme gerçekleşemez. Gözün yapısındaki (Şekil 1) retina tabakasında yerleşmiş olan reseptörler sayesinde görme işlevi gerçekleşir[1].

Sağlıklı bir gözde, gelen ışınlar "fovea centralis"e düşecek şekilde odaklanır. Dolayısı ile net bir görüntü oluşur. Ancak kırıcılık kusurları olan gözde görüntü net değildir. Bu durumlar; miyopi, hipermetropi ve astigmatizm şeklinde adlandırılan görme bozukluklarına işaret eder[1]. Bununla birlikte; migren, kronik baş ağrısı, dikkat dağınıklığı, göz yorgunluğu ve uyku düzensizlikleri gibi rahatsızlıkların oluşmasına da sebep olabilir.

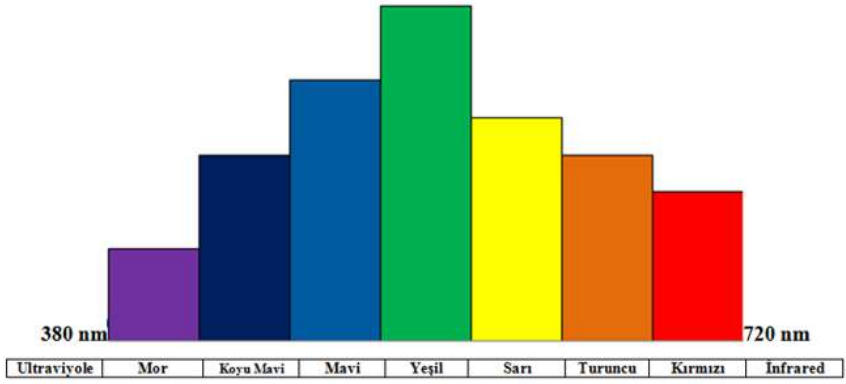


Şekil 1. Gözün yapısı (ölçeksiz-kesit)[2].

Gözlerimiz, fotoğraf makinesine benzer. Işık, göze düştüğünde; kornea, mercek ve ikisi arasındaki sıvı tarafından kırılır. Merceğin arkasındaki boşluk, şeffaf bir sıvı ile dolu olup, ışık huzmeleri retinada görüntü oluşturmak için buradan geçer. Retina ise ışığa duyarlı film gibidir[2].

2.1. Görünür Bölge Işık Dalgaları

Görünür ışık dalgaları, elektromanyetik dalganın sadece çıplak gözle görülebilen kısmına karşılık gelir. Biz bu dalgaları, gök kuşağında oluşan renkler olarak görebiliriz. Buradaki her bir renk farklı bir dalgaboyuna karşılık gelir. Kırmızı renge karşılık gelen dalga, görünür bölgenin en uzun dalgaboyuna karşılık gelirken, mor en kısa dalga boylarına karşılık gelir. Görünür bölgedeki bütün dalgaları birlikte gözlendiği zaman beyaz ışığı oluşturur. Bunun tersi de doğrudur. Yani, beyaz ışığı yandaki şekilde de görüldüğü gibi renklerine ayırabiliriz. Burada gökkuşağı ile prizma fiziksel olarak aynı görevi yapmaktadırlar. Beyaz ışık bir prizmadan veya gökkuşağı gibi bir su buharı ortamından geçirildiği zaman, beyaz ışık, görünür bölge spektrumunu oluşturan renklere ayrılmaktadır. Gözümüzdeki konik biçimli yapı, görünür ışık dalgaları için bir alıcı görevi yapmaktadır. Güneş, görünür bölge dalgaları için doğal bir kaynaktır ve gözlerimiz, bu ışınların çevremizdeki cisimler üzerinden yansımasını görmektedir. Gördüğümüz bir cismin rengi, görünür bölgedeki yansıyan ışığın dalga boylarına karşılık gelen renklerdir (Şekil 2). Aydınlatma sistemleri de, görünür ışık kaynaklarıdır [6;8]



Şekil 2. Görünür ışık spektrumu; enerji seviyeleri ve renk dağılımı (dalgaboyu-nanometre) [6].

3. Aydınlatma

Aydınlatma, iyi görebilmemizi sağlamanın yazı sıra, sinir sistemi ve nefes alma, sindirim, hormon salgılama gibi fizyolojik fonksiyonları da etkiler. Algılama, dikkat, konsantrasyon düzeyi aydınlatma şiddetinin artmasıyla yükselir. Yapılan işte; gözle takip ve kontrol gibi görsel görevler ağırlıktaysa, aydınlatmanın etkisi daha büyüktür. Daha iyi aydınlatılmış işyerlerinde iş kazalarının da genelde azaldığı tespit edilmiştir [3].

3.1. Temel Kavramlar

3.1.1. Işık akısı/akımı: Işık kaynağından yayılan ve bir alana gelen ışık miktarıdır. Kaynaktan göze gelen ve göz tarafından değerlendirilen ışık miktarı şeklinde de tanımlanabilir. Birimi lümen (lm) ve Φ sembolü ile gösterilir.

Bir aydınlatma sisteminde, aydınlatan lambanın gücü değil, aydınlatılan alana gelen ışığın akımı önemlidir. Kullanılan aydınlatma elemanının türüne göre verimi değişir. Yani, aldığı enerjinin belirli bir kısmını ışık akımı olarak yayar. Verime bakarak, hangi tür aydınlatma elemanının daha ekonomik olduğu anlaşılabilir. Akkor lambanın 15 lm/W, flüoresan lambanın 50 lm/W'tır [3].

3.1.2. Işık şiddeti (I): Işık şiddeti, bir noktadan belirli bir yönde birim katı açı başına yayılan ışık akısıdır. Bir bakıma kaynağın belirli bir yönde yaydığı ışık enerjisidir. Bir ışık kaynağından çıkan ışık akısının belirli bir doğrultudaki miktarıdır. Ölçü birimi Candela (cd)'dır [4].

3.1.3. Aydınlatma Şiddeti (E): Birim alana düşen ışık akımı aydınlatma şiddetidir ve birimi lükstür. Eşitlik 1›den hesaplanır.

$$E=\Phi/A \ (lm/m^2=lüks) \quad (1)$$

Işık, incelenen alana dikey gelmiyorsa, (E) aşağıdaki eşitlikten (Eşitlik 2) hesaplanır.

$$E=\Phi.Cos\alpha/A \quad (2)$$

Işık kaynağı tarafından aydınlatılan alan, ışık kaynağına olan mesafenin karesi ile doğru orantılı olduğundan, lambaya olan mesafenin iki katına çıkması, aydınlatma şiddetinin dörtte bir değerine inmesi anlamına gelir. Aydınlatmanın iş yapılacak yüzeye yönlendirilmesi ile aydınlatma şiddeti değerleri, iş yapılan yüzeyde yüksek olacaktır. Bir ameliyat masasında, 5000 lüks gibi yüksek değerlere ulaşabilir. Yapılması düşünülen işlerin türüne göre ihtiyaç duyulacak aydınlatma şiddeti değerleri Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir [3;5].

Çizelge 1. İş türüne göre aydınlatma şiddeti değerleri[3].

İş Türü	Aydınlatma Şiddeti Aralığı (lüks)
Kaba çalışma, depo, ardiye	50-200
Orta hassasiyetli işler, paketleme, sevkiyat	200-250
Basit montaj, takım tezgâhında çalışma	250-300
Hassas çalışma, okuma-yazma	500-750
Çok hassa işler, saat vb. montajı	1000-2000

Çizelge 2. İç kısımların (alanların), işlerin ve faaliyetlerin aydınlatma özellikleri için örnekler[5].

İç kısım, iş veya faaliyet tipi	Asgari Aydınlatma Şiddeti (lüks)
Dolaşım alanları ve koridorlar	100
Dinlenme odaları	100
Merdivenler, yürüyen yaya yolları	150
Yükleme rampaları/peronları	150
Geçiş yolları:insanlı	150
Makine daireleri	200
Çimento-Beton: genel makine işi	300
Haddehane kontrol panelleri	300
Güç istasyonları kumanda odaları	500
Konferans ve toplantı odaları	500
Kütüphane okuma alanı	500
Laboratuvar genel aydınlatma	500
Elektrik ölçü aletleri ile yapılan işler	1000
Ağaç işleri: kalite kontrol	1000

3.1.4. Işık (Aydınlatma) Yoğunluğu (L): Bir yüzeyin aydınlığı; göze parlak veya loş gelmesi, yaydığı veya yansıttığı ışığa bağlıdır ve ışık yoğunluğu ile tanımlanır. Işık yoğunluğunun birirmi cd/m^2'dir. Işık yoğunluğu, birim alanın yaydığı ışık şiddetidir ve aşağıdaki eşitlikten (eşitlik 3) hesaplanır.

$$L=I/A \ (cd/m^2) \qquad (3)$$

Aslında, görebilmemiz için gerekli olan, aydınlatma şiddeti değil, baktığımız nesneden gözümüz yönünde yansıtılan ışık miktarıdır ki, bu da ışık yoğunluğudur. Yüksek bir görüş performansının gerektiği yerlerde en az 100 cd/m^2 ışık yoğunluğuna ihtiyaç vardır[3].

İş alanı ile çevreleme alanındaki aydınlatma yoğunluğu ve dağılımı bir kişinin görsel bir işi çabuk, güvenli ve rahatça algılayıp sürdürebilmesinde büyük bir etkiye sahiptir. Aydınlatma yoğunluğu değerleri; sürdürülen aydınlatma yoğunluklarıdır ve görme rahatlığı ve performans ihtiyaçlarını hesaba katar.

Algısal farkı vermek için TS EN 12665'e göre tavsiye edilen aydınlatma yoğunluğu (lux cinsinden) adımları: 20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1000 – 1500 – 2000 – 3000 – 5000'dir.

Çalışma alanlarında aydınlatma yoğunlukları, yatay, düşey veya eğik olabilen referans yüzeydeki iş alanı üzerinde sürdürülen aydınlatma yoğunluklarıdır. Her iş için ortalama aydınlatma yoğunluğu, kurulumun yaşı ve durumu dikkate alın-

maksızın, Çizelge-2'de verilen değerin altına düşmemelidir. Bu değerler, normal görsel koşullar için geçerlidir ve aşağıdaki faktörleri göz önünde bulundurur:

- Görsel rahat ve iyi hissetme duygusu gibi psiko-fizyolojik bakış açıları,
- Görsel işler için kurallar,
- Görsel ergonomi,
- Uygulamayla ilgili tecrübe,
- Fonksiyonel güvenliğe katkı,
- Ekonomi.

Görsel koşullar normal varsayımlardan farklılık gösteriyorsa aydınlatma yoğunluğu değeri, aydınlatma yoğunlukları ölçeğindeki en az bir adım ile ayarlanabilir.

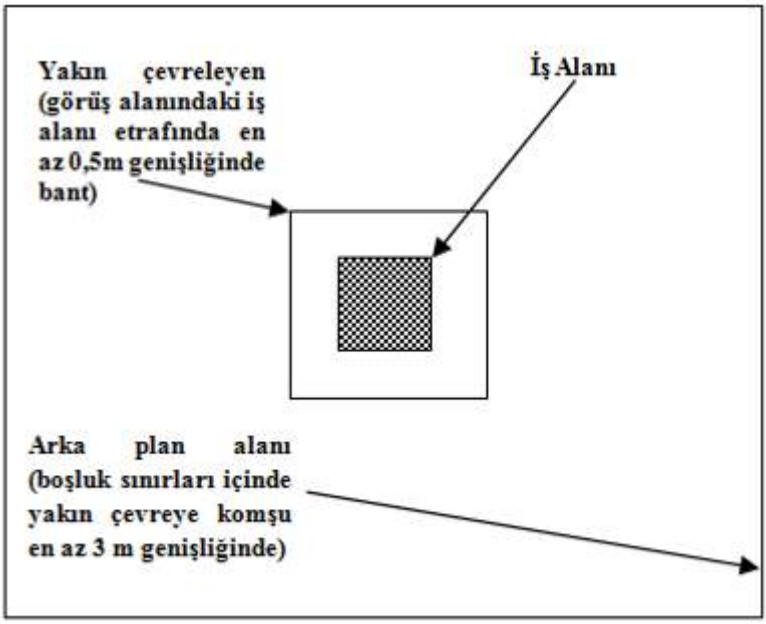
Gerekli sürdürülen aydınlatma yoğunluğu; görsel çalışma kritikse, hataları telafi etmek maliyetliyse, doğruluğun veya daha yüksek üretkenliğin önemi büyükse, iş detayları olağandan daha küçük boyutta veya düşük zıtlıktaysa, iş olağandan daha uzun süre için üstlenildiyse, işçinin görsel kapasitesi normalin altındaysa arttırılır ya da iş detayları olağandan daha büyük boyutta veya yüksek zıtlıktaysa, iş aşırı olağandan daha kısa süre için üstlenildiyse, azaltılır [5].

3.1.4.1. Aydınlatma Yoğunluğunun Belirlenmesi:

İş alan(lar)ının boyutu ve/veya konumu bilinmeyen iş istasyonları için:

- Tüm alan iş alanı olarak kabul edilir veya
- Tüm alan tekdüze ($U_o \geq 0{,}40$) olarak tasarımcı tarafından belirlenen bir aydınlatma yoğunluğuna aydınlatılır; iş alanı biliniyorsa, aydınlatma planı gerekli aydınlatma yoğunluklarını sağlamak için yeniden tasarlanmalıdır (Şekil 3).

İşin tipi bilinmiyorsa tasarımcı benzer işler hakkında varsayımlar yapar ve iş gereklerini belirler [5].



Şekil 3. İş alanıyla ilişkili yakın çevre ve arka plan alanının asgari boyutları [5].

3.1.5. Refleksiyon (Yansıma) Derecesi (ρ): Bir yüzeye gelen ışığın ne kadarının yansıtıldığını gösteren değerdir (Çizelge 3). Aydınlatılmış bir nesnenin ışık yoğunluğu; refleksiyon (yansıma) derecesi ile üzerine düşen ışık şiddetinin çarpımına eşittir.

$$L=E.\rho \quad (4)$$

Bu eşitlik, aydınlatılan cismin mat olması durumunda geçerlidir. Nesne parlak ise gelen ışık ve giden ışık açıları önem kazanır[3].

Çizelge 3. Seçilmiş yüzey türleri için yansıma derecesi değerleri[3].

Yüzey Türü	Yansıma Derecesi
Açık renk sıva	0,5-0,6
Temiz çelik	0,6
Yeni dökülmüş beton	0,5
Kuru asfalt	0,1-0,2
Sunta	0,4-0,6
Alüminyum folyo	0,8

3.1.6. Kontrast:

Bir cismi görebilmek, doğru algılayabilmek, o cismin aydınlatılmasındaki kontrasta, yani ışık yoğunluğu farklılıklarına bağlıdır. Gözün kontrast hassasiyeti, adaptasyonu ışık yoğunluğu diyebileceğimiz ortamın temel aydınlığına bağlıdır. Normal gün ışığı ya da lamba ile aydınlatılmış bir odada; 100 cd/m^2 düzeyinde bir yoğunluk, ortamla bakılan cisim veya yüzeyde yapılan iş arasında görece ışık yoğunluk farkı %1-2 arasında ise, cisim veya yüzeyin rahat algılanmasını sağlar [3].

3.1.7. Aydınlık çevre

İyi aydınlatma uygulaması için gerekli aydınlatma yoğunluğuna ek olarak nitel ve nicel ihtiyaçların sağlanması esastır.

Aydınlatma kuralları üç temel insan ihtiyacının sağlanmasıyla belirlenir:

- Çalışanların kendilerini iyi hissedecekleri görme rahatlığı; dolayısıyla yüksek bir verimlilik seviyesine de katkı,
- Çalışanların zor koşullar ve uzun periyotlar esnasında bile görsel işlerini yürütebildikleri görme performansı,
- Güvenlik.

Yapay ışık ve gün ışığına bağlı olarak aydınlık çevreyi belirleyen ana parametreler şunlardır:

- Işık yoğunluğu dağılımı,
- Aydınlatma yoğunluğu,
- Işığın doğrusallığı, iç alan boşluğunda aydınlatma,
- Işığın çeşitliliği (ışığın seviyeleri ve rengi),
- Işığın renkli görünmesi ve renk görüntüsü,
- Göz kamaşması,
- Titreme.

3.1.8. Aydınlatma Türleri

Kaynağı bakımından;

Doğal Aydınlatma: Ana kaynağı güneş olan gün ışığının, görsel konfor gereksinmelerini karşılamak için tasarlanan aydınlatma sistemi olarak tanımlanır.

Yapay Aydınlatma: Yapay ışık kaynaklarından üretilen ışığın, görsel konfor gereksinmelerini karşılamak üzere tasarlanan aydınlatma sistemi olarak tanımlanır.

Aydınlatma işlevinin gün ışığı dışında çeşitli aydınlatma elemanlarıyla sağlanmasıyla gerçekleştirilen aydınlatmadır. Aydınlatma şekli; Aydınlatma araçlarından çıkan ışığın, aydınlatılacak yüzeye hangi oranda yollandığının belirlenme-

sidir. Bu nedenle yapay aydınlatmalar beş gurupta toplanabilir.

Doğrudan Aydınlatma: Aydınlatma araçlarından çıkan ışığın % 90- 100 oranında, doğrudan aydınlatılacak düzleme yollayan aydınlatma şeklidir. Doğrudan aydınlatmalarda keskin sınırlar ve sert gölgeler elde edilmektedir.

Dolaylı Aydınlatma: Bu sistemde, aydınlatma aygıtlarından gelen ışığın %90-100'u tavana ve duvarın yüksek kısımlarına yönlenir ve odanın diğer bölümlerine yansır. Işıktan doğru şekilde faydalanabilmek amacı ile yüksek yansıtma katsayısına sahip renkte oda yüzey bitirmeleri uygundur. Bu yüzeylerin yüksek yansıtma değerlerini korumaları için bakımları sıklıkla yapılmalıdır. Dolaylı sistemlerde ışık, yüksek oranda yayınıma sahip olduğundan minimum gölge oluşur. İyi planlanmış uygulamalarda kamaşmalar minimumdur. Armatürün tavan düzleminden yeteri kadar alçakta kurgulanması tüm tavan yüzeyinde düzgün ışıklılığın oluşması açısından gereklidir. Yüksek aydınlatma düzeylerinde, tavanın, kamaşma ve yansımalara neden olmaması için gerekli kontrolün yapılması gereklidir.

Yarı Dolaylı Aydınlatma: Bu sistemde aydınlatma armatüründen gelen ışığın % 60- 90 kadarı dolaylı sistemdeki gibi yukarı doğru yönlendirilir. Tavan ana ışık kaynağı gibi kullanıldığından, dolaylı sistemde dikkate alınması gerekli tavan ışıklığına, oda bitirmelerine ve bakım onarıma yönelik unsurlar bu sistem için de geçerlidir. Aşağıya yönelen ışık oranı dolaysız sistemlere göre arttığından kamaşma ve rahatsız edici yansımalara dikkat edilmesi gereklidir.

Karışık Aydınlatma: Aydınlatılacak düzleme ışığın % 40- 60 oranında doğrudan yayılmasını sağlayan aydınlatma şeklidir. Karışık aydınlatmalara tavan ve duvar yansıtıcıları örnek olarak gösterilebilmektedir.

Bütünleşik Aydınlatma: Görsel konfor gereksinmelerini karşılamada, gün ışığının yetersiz kaldığı durumlarda takviye edici olarak yapma ışığın kullanıldığı aydınlatma sistemi olarak tanımlanır.

Aydınlatılan yer bakımından sınıflandırmada ise,

İç Aydınlatma: Çeşitli yapısal ögelerle dış cevreden ayrılmış, iç mekanların aydınlatma sistemini konu alır.

Dış Aydınlatma: Bina dışı çeşitli ölçekteki yapma çevrenin aydınlatma sistemini konu alır.

Aydınlatmada görünürlüğün sağlanması; iyi bir görüntünün elde edilmesi ve görüntünün gereği gibi olmasının sağlanması olmak üzere amacı bakımından, Fizyolojik aydınlatmada amaç cisimleri, şekil, renk ve ayrıntıları ile kolay ve hızlı bir şekilde görünürlüklerinin sağlanmasıdır.

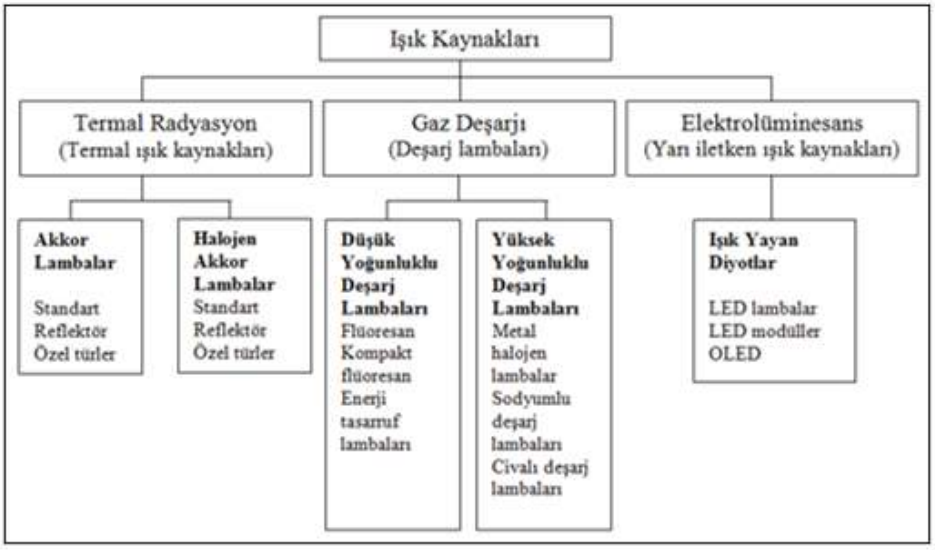
Dekoratif aydınlatmada amaç cisimleri ayrıntıları ile göstermek değil mimari ögeleri de kullanarak daha çok estetik etkiler uyandırmaktır.

Dikkati çeken aydınlatmada ise amaç dikkati çekmek yani reklam yapmaktır.

Bunun için yüksek aydınlık düzeyleri, renkli ışık kaynakları, değişken ışık şekilleri ve yanıp sönen düzenekler kullanılır.

3.1.9. Yapay Işık Kaynakları

Işık doğal ve yapay olarak, çok sayıda farklı yolla üretilebilir. Termal, düşük ve yüksek yoğunluklu deşarj lambaları ile yarı iletken olmak üzere dört ana ışık kaynağı grubu vardır (Şekil 4) [9].



Şekil 4. Yapay ışık kaynakları [9].

Akkor telli lambalar: Akkor haline gelinceye kadar ısıtılan tel, havası boşaltılmış veya asal gaz ile doldurulmuş bir cam balon içine konur. Bu şekildeki ilk lamba 1854'de Goebel ve 1879'da Edison tarafından kullanılmıştır.

- Akkor telli lambalar telin cinsine göre (flaman) farklı tiplere ayrılır. Normal akkor telli lambaların ömrü 1000 saat, etkinlik faktörleri de 10-20 lm/W'dır.
- Isıl yolla ışık ürettikleri için çevrelerine büyük miktarda ısı yaymaktadırlar. Renksel geriverim indisi 90-95 civarındadır. Renk sıcaklıkları 2700-3100 K° civarındadır.
- İlk satın alma maliyeti düşüktür. Etkinlik faktörü azdır.
- Loşlaştırmaya uygundur.

Fluoresan lambalar: Fosfor ultraviyole sonucunda ışık yayan bir hale gelir. Starter ve balast gibi yardımcı maddelere gereksinim vardır.

- İlk satın alma maliyeti akkor lambaya göre daha yüksek, fakat enerji tüketimi daha düşüktür. Etkinlik faktörü yüksektir.
- Tüp uzunlukları 600-2400 mm, çapları ise 38mm / 26mm'dir.
- Lambaların sıklıkla açılıp kapatılması ömürlerinin kısalmasına sebep olur.
- Isı farklılıklarından etkilenmektedirler. Ömürleri 10000-20000 saattir.
- Elektronik balastlarla loşlaştırılabilirler.
- CRI = 75-90 arasındadır. Renk sıcaklıkları 2700-5000 K° arasında değişebilmektedir.
- Okul, kütüphane, büro gibi mekânların aydınlatılması için uygundurlar.

Kompakt fluoresan lambalar: İlk olarak Philips tarafından PL lambaları olarak piyasaya sürüldüklerinden bugün hala bazen PL lambaları olarak anılmaktadırlar (Şekil 5).

- Renksel özellikler acısından çok gelişmiş tipleri mevcuttur.
- Konutlarda enerji tasarrufu acısından tercih edilmektedirler.
- Akkor lambalara kıyasla 1 / 5 enerji tükettikleri için ve tüp flüoresanlara göre boyutları küçük oldukları için bugün sıklıkla kullanılmaktadırlar.

Alçak basınçlı sodyum buharlı lambalar:

- Piyasada U tüpler ve lineer tüpler şeklinde bulunmaktadırlar.
- Işık spektrumunun sarı bölgesinde ışık yaydıkları için (monokromatik) renksel geriverim acısından son derece yetersizdirler. Fakat insan gözünün spektral duyarlılığının çok yüksek olduğu bir bölgede ışık yaymaları da bazı amaçlar için tercih nedenidir.
- Yol Aydınlatması, dış aydınlatma ve güvenlik aydınlatması için uygun lambalardır.

Yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar:

- Sodyumun cıva ile birlikte kullanılmasından dolayı renk sıcaklığı yükselmekte ve renksel geriverim de bununla birlikte artmaktadır.
- Şehir merkezlerinde, projektörlerde, spor salonlarında ve bazı endüstriyel iç mekanlarda kullanılır.

Yüksek basınçlı civa buharlı lambalar: Civa buharının elektrik akımı ile teması yoluyla ışık üretilmektedir.

- İç yüzeyin fosfor ile kaplanması sonucu renksel geriverim düzeltilebilmektedir. Renk sıcaklığı 3000-6000 K° arasındadır.
- Yol aydınlatmasında, ticari ve endüstriyel alanlarda kullanılır.
- Uzun ömürlüdürler, fakat kullanıldıkça renksel özellikleri değişmektedir.

Metal Halojen Lambalar: Cıva buharlı lambalara benzemektedirler, fakat cıva ve argona ek olarak diğer metaller de kullanılmaktadır.

- Renk sıcaklığı 3100-4000 K°
- Dış aydınlatmada: Ağaç aydınlatması, cephe aydınlatması, park alanları, yol aydınlatması.
- İç aydınlatmada: Downlighting, wallwashing veya vurgu aydınlatmasında kullanılmaktadır.

LED lambalar: LED ismi, İngilizcede "Light Emitting Diode" kelimelerinin baş harflerinden oluşturulmuştur ve "ışık yayan diyot" anlamına gelmektedir. Yarı iletken teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak ledlerin verimliliği artarken, maliyeti azalmakta ve gittikçe kullanım alanları yaygınlaşmaktadır (Şekil 5).

- Verimlilik: LED'ler akkor telli lambalara göre Watt başına daha fazla ışık çıkışı sağlar.
- Renk: LED'ler geleneksel sistemlerde olduğu gibi ışık rengini değiştirmek için renk filtresine gerek duymazlar.
- Boyut: LED'ler çok küçük olabilirler ve kolaylıkla bir devre üzerine monte edilebilirler. Bu özellikleriyle LED'ler kompakt armatür tasarımına olanak sağlamaktadır.
- Açma/Kapama zamanı: LED'ler çok çabuk ışık verir. Bir LED gösterge lambası tam parlaklığa bir mikro saniyenin altında ulaşır. LED ömrü ve bakımı açma/kapama hızından etkilenmemektedir.
- Döngü: LED'ler sıklıkla açma kapama döngüsü olan uygulamalar için idealdir. Örneğin flüoresan lambalar bu döngüye uyabilmede hız acısından başarısız iken, metal halide lambalar tekrar çalışabilmek için uzun bir zamana gerek duyar.
- Loşlaştırma: LED'ler bir darbe-genlik modülatörü ya da akımın düşürülmesi ile kolaylıkla loşlaştırılabilir.
- Soğuk ışık: Birçok ışık kaynağının aksine LED'ler hassas obje ve ürünlere zarar veren ısı üretmezler. Ayrıca LED'lerin performansı düşük sıcaklıklar-

da artmaktadır. Bu durum LED'lerin marketlerde buzdolabı derin dondurucu vb soğuk tutulması gereken yerlerin aydınlatılmasında olanak sağlar.

- Uzun ömür: LED'lerin ömrü göreceli olarak daha uzundur. Faydalı omur saati 35.000 ila 50.000 saat arasındadır. Bir akkor telli lambanın ortalama omru 1000- 2000 saat, bir fluoresan lambanın ömrü ise çalışma şartlarına bağlı olarak 10.000 ile 15.000 saat arasındadır.
- Şok dayanımı: LED'ler akkor ve flüoresan lamba balonlarının aksine dış etkilerle oluşacak şoklara dayanıklı katı hal cihazlarıdır [10].



Şekil 5. Kompakt fluoresan ve LED lamba.

3.1.10. Aydınlatma Şiddeti Ölçümü

Çalışma alanı önce mümkün olduğunca kareye yakın olacak şekilde birkaç eşit küçük alana bölünmelidir. Örneğin, aydınlatmanın yaklaşık 2,5 m yükseklikte olduğu 50 m'den daha küçük sıradan bir orta-boyutlu çalışma alanı için, çalışma alanı normalde minimum 16 küçük kareye bölünür. 2 büyüklüğünden yaklaşık 100m'ye kadar olan bir çalışma alanı için, önerilen minimum küçük kare sayısı 25'tir. Çalışma alanı daha da büyükse, minimum 36 küçük kare önerilir. Genel olarak, daha büyük bir çalışma alanı için daha küçük kareler tercih edilir. Küçük kareleri ayarladıktan sonra, her karenin ortasındaki aydınlatma şiddeti ölçümü bir lüksmetre gerçekleştirilir. Elde edilen değerlerin aritmetik ortalama değerleri, tüm çalışma alanı için ortalama aydınlatma şiddetini temsil eder[12]. Elde edilen değerler, çalışma alanı standart değerleriyle karşılaştırılarak, yeterli aydınlatmaya ulaşılıp ulaşılamadığı belirlenir.

Aydınlatma Şiddeti Ölçüm Tekniği: Yürütülen işler sonucu, çalışanların maruziyetlerinin tespit edilmesi ve çalışana etkilerinin önlenmesi, iş sağlığı ve

güvenliği çalışmalarının temelini oluşturur.

- Aydınlatma şiddeti ölçüm cihazının (lüksmetre) aralık seçim anahtarı, cihazı en hassas ve en kesin aralıkta kullanmak için mümkün olan en düşük aralığa ayarlanmalıdır,
- Lüksmetre (Şekil 6) ve sensörü yatay düzleme serilirler veya alan ölçümlerinde yatay düzlemde tutulurlar,
- Sensörün önü kapanmamalıdır/kapatılmamalıdır,
- 'Hold' butonu her ölçümde kullanılmalıdır,
- 4 ölçüm – düzenli aydınlık seviyesi varsa rastgele bölgelerden ölçüm, (nadir durum)
- 4 ölçüm – düzenli aydınlık seviyesi yoksa 4 nokta dikkatlice seçilmelidir.



Şekil 6. Aydınlatma şiddeti ölçüm cihazı (lüksmetre).

Aydınlatma Şiddeti Ölçümü**:**

- Çalışma pozisyonunda ölçüm, uygunsuz olmayan dört farklı noktada (temsili nokta etrafında) yapılır. Toplamlarının ortalaması alınır.
- Alan ölçümlerinde, zeminden 1 metre yükseklikte dört farklı ölçüm alınır (temsili nokta etrafında) ve yine toplamlarının ortalamaları alınır.
- Temsili nokta İG Uzmanının gözlemlerine dayanarak seçilir.
- 'Temsili', seçilen ölçüm noktalarının anormal olmadığı durumlardır.
- 4 en karanlık veya 4 en aydınlık noktanın seçilmesi temsili değer vermeyecektir[11].

Aydınlatma Şiddeti Ölçüm **Uygulama Değerleri:** Hane, ofis ve büro gibi alanların aydınlatılmasında, etkinliklerinin yüksek, ömürlerinin uzun ve ekonomik olması dolayısı ile tercih edilen kompakt fluoresan ve LED lambalar ile ilgili lüksmetre ile yapılan aydınlatma şiddeti ölçüm sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Kompakt fluoresan ve LED lambaların farklı yüksekliklerdeki aydınlatma şiddeti değerleri.

	Lamba Türü	
	Kompakt Fluoresan	LED
Yükseklik	Ortalama Aydınlatma Şiddeti Değeri (Lüks)	
10 cm	11300	11800
100 cm	168,30	134,70
150 cm	104,50	76,90

KAYNAKLAR

[1] Fizyoloji, YAMAN, M.O., 84. sayfa. İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi Ders Notu.

[2] Safety-Health and Working Conditions, Training Manual. Joint Industrial Safety Council, Stockholm, Sweden (1987). ISBN 91-7522-115-2.

[3] BABALIK, F.C., 215-248. sayfalar-13. Bölüm. Mühendisler için Ergonomi İşbilim. 2018. ISBN 978-6052470190

[4] ÖZKAYA, M. & TÜFEKÇİ, T. 2011. Aydınlatma Tekniği. ISBN 9 7 8 - 9755111049.

[5] TS EN 12464-1 Işık ve Aydınlatma - Çalışma Yerlerinin Aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı Çalışma Alanları, Türk Standardı. ICS 91.160.10, Türk Standardları Enstitüsü, 2013.

[6] Kelly, K.&O'Connell, K., 1997. Interior Lighting Design: A Student's Guide.

[7] TS EN 12665 Işık ve Aydınlatma-Aydınlatma Kurallarını Belirleyen Temel Tarifler ve Kriterler, Türk Standardı. ICS 01.040.91; 91.160.01, Türk Standardları Enstitüsü, 2019.

[8] KALKAN, H. & ASLANTÜRK, A., Ondokuzmayıs Üniversitesi Gözlemevi Yayınları. Elektromanyetik Spektrum.https://gozlemevi.omu.edu.tr/depo/elektromanyetik_spektrum.pdf. Son Erişim Tarihi:14.12.2021

[9] The Lighting Handbook, 2018. Zumtobel Lighting GmbH, Avusturya.

[10] ÇETİN, E., Aydınlatma Tekniği Ders Notları. Yozgat Bozok Üniversitesi, Elektrik Elektronik Bölümü.

[11] DOĞRU, Ö., Aydınlatma. T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İSGGM, İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü.http://www.etok.org/upload/Node/43348/files/ IETOX_2020 _Omer_Dogru_Gurultu_Termal_Konfor_Ve_Aydinlatma_Is_Hijyeni_Uygulamalari.pdf

[12] Lighting Assessment in the Workplace, 2008. Occupational Safety and Health Branch, Labour Department of the Government of the Hong Kong Special Administrative Region of The People's Republic of China.

✔ 14. Bölüm

DOĞAL LİF/PARTİKÜL TAKVİYELİ EPOKSİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Nilay KÜÇÜKDOĞAN[1]

1 Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği

1. Giriş

Küresel iklim değişikliği, okyanusların asidifikasyonundan, sıcaklıktaki sürekli bir artış ile dolaylı olarak buzulların erimesine ve sosyal ekonomik sistem üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Küresel iklim problemleriyle başa çıkmanın bir yolu ise doğal malzemelerin en büyük doğa kirleticisi olan polimer matris yapı içinde kullanımı olmuştur. Hem ekonomik hem de çevreci bir yaklaşım sergileyen bu malzemeler son yıllarda araştırmacıların ilgisini oldukça çekmektedir. Doğa da birçok doğal lif çeşidi mevcuttur. Fakat polimer kompozit üretiminde hemen hepsi potansiyel takviye malzemesi olarak kullanılamamaktadır. Bu durum doğal liflerin kendine özgü doğasına, gerekli ekstraksiyon işlemlerine ve endüstriyel boyutta kitlesel üretime uygun olup olmadıklarına göre değerlendirilmektedir. Nispeten iyi mekanik ve termal özellikler sergileyen rami, keten, jüt, kenevir, hindistan cevizi lifi, sisal, muz, kenevir, ananas yaprağı lifi ve şeker kamışı lifi gibi liflerin polimer kompozitlerde kullanılabileceğini gösteren araştırmalar yapılmıştır [1-5]. Ayrıca, bu çalışmalara ek olarak selülozik partiküllerde polimer matris içerisinde takviye olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, doğal liflerin ve partiküllerin polimer matris içerisindeki mekanik özelliklerinin daha iyi ve elverişli polimer kompozitlerin üretilmesi için mevcut literatür tartışılmaktadır.

Doğal lifler geleneksel malzemelere alternatif olabilmelerini sağlayacak sertlik, darbe direnci, esneklik, titreşim sönümleme ve elastik modül gibi ayırt edici özelliklere sahiptir. Aynı zamanda yenilenebilir, sürdürülebilir, biyolojik olarak parçalanabilir, büyük miktarlarda elde edilebilir olmalarının yanı sıra düşük maliyet, düşük yoğunluk, üretim sırasında daha az aşınmaya sebep olmaları da özelliklerine eklenebilir. Doğal liflerin hidrofilik yapısı dolayısıyla yüksek nem emilimi gibi dezavantaj oluşturabilecek özellikleri ise basit modifikasyon işlemleriyle (silan ve alkali emdirme) geliştirilebilir. Bu sayede hidrofobik matrislerle zayıf yapışma gibi önemli bir sorunla baş edilebilmektedir. Ayrıca doğal liflerin düşük bozunma sıcaklıklarına (~250 °C) sahip olması yüksek kürleme sıcaklıklarına sahip termosetler ile kullanımlarını sınırlamaktadır [1-10].

1.1Doğal lif çeşitleri

Kompozit üretiminde yaygın olarak kullanılan lif ve partikül çeşitleri Tablo 1'de listelenmiştir. Tabloda yer alan doğal lif ve partiküller, sürdürülebilirlikleri ve polimer matrislere kattıkları iyi özelliklerinden dolayı suni lif ve takviyelerin yerini almaktadır. Her birinin kendine has doğası polimer kompozitlerin özelliklerini belirleyici etkiye sahiptir. Bu sayede hem yüksek performansa sahip hem de çevre dostu kompozitlerin üretimi mümkün olabilmiştir. Geçtiğimiz son on

yılda popülerliği artan bu doğal fiber takviyeli polimer kompozitler otomotiv, yapı ve inşaat sektörüne kadar birçok endüstride kendine uygulama alanları bulmaktadır [3].

Tablo 1 Lif çeşitleri ve onlara ait yoğunluk ve çekme dayanımları

Lif çeşidi	Yaygın kullanımı	Yoğunluk (g/cm^3)	Çekme dayanımı MPa (ortalama değer)	Kopma uzaması (%)	Referanslar
Sak lifleri	Jüt	1.3	558	1.5-1.8	[11, 12]
	Keten	1.4	850	2.7-3.2	[12, 13]
	Kendir	1.2	690	1.6	[6, 11, 12]
	Kenaf	1.2	650	1.4-4.7	[7, 12, 14]
	Rami	3.7	519	3.6-3.8	[11, 12]
Yaprak lifleri	Abaka	1.58	750		[9, 15]
	Ananas lifi	1.4	125		[8, 16]
	Muz lifi	1.35	460	7	[12, 17]
Tohum lifleri	Pamuk	1.5	442	7-8	[11, 12]
Meyve lifleri	Hindistancevizi lifi	1.2	125	30	[11, 12]
	Demirhindi	1.48	-		
Kök lifleri	Sisal lifi	1.5	563	2-2.5	[11, 12]
Sap lifleri	Bambu	1.5	575	3	[12]
Partiküller	Fındık kabuğu	0.96	-		[18]
	Ceviz kabuğu	1.2	-		[19]

Tablo 1 incelendiğinde en yüksek çekme dayanımının keten ve abaka lifine ait olduğu görülmektedir. Yoğunluk açısından değerlendirildiğinde ise bu iki lifin yoğunluklarının sırasıyla 1.4 ve 1.58 g/cm^3'tür. Fakat diğer liflerin yoğunlukları incelendiğinde oldukça yakın değerlere sahip olan liflerin (ananas, muz ve pamuk vb. gibi) çekme dayanımları daha düşük olduğu görülmektedir. Liflere ait kopma uzamalarının yüzde değerleri incelendiğinde ise en yüksek değerin hindistan cevizi liflerine ait olduğu görülmektedir.

Doğal lifler, selüloz, hemiselüloz, lignin ve pektin gibi alt bileşenlerden oluşmaktadır. Bazı doğal liflere ait kimyasal kompozisyon değerleri Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2 Bazı doğal liflerin kimyasal kompozisyonuna ait değerler [2]

Lif çeşidi	Selüloz (%ağırlık)	Hemiselüloz (%ağırlık)	Lignin (%ağırlık)	Pektin (%ağırlık)	Nem içeriği (%ağırlık)
Keten	71.0	18.6-20.6	2.2	2.3	8.0-12.0
Kenevir	70.0-74.0	17.90-22.40	3.7-5.7	0.9	6.2-12.0
Jüt	61.1-71.5	13.60-20.40	12.0-13.0	0.2	12.5-13.7
Kenaf	45.0-57.0	21.50	8.0-13.0	3.0-5.0	-
Rami	68.6-76.2	13.10-16.70	0.6-0.7	1.9	7.5-17.0
Sisal	66.0-78.0	10.0-14.0	10.0-14.0	10.0	10.0-22.0
Muz	63.0-64.0	10.0	5.0	-	10.0-12.0
Abaka	56.0-63.0	-	12.0-13.0	1.0	5.0-10.0
Pamuk	85.0-90.0	5.7	-	1.0	5.0-10.0
Hindistancevizi	32.0-43.0	0.15-0.25	40.0-45.0	3.0-4.0	8.0
Fındık kabuğu partikülü	31.3	24.3	14.3	6.6	-

Liflere ait selüloz içerikleri liflerin çekme özelliklerini etkilemektedir. Yüksek selüloz ve lignin içeriğine sahip keten, kenevir, rami ve abaka lifleri diğer liflere göre daha iyi çekme dayanımına sahiptir. Selüloz morfolojisi mikro fibril elemanlarından oluşmaktadır. Lifteki lignin yapısı, hücre duvarındaki selüloz, hemiselüloz ve pektin bileşenleri arasındaki boşlukları doldurmaktadır. Lignin, hemi-selülozla bütünleşik haldedir ve bu sayede hücre duvarında bir bütünlük sağlayarak tüm bitkiye mekanik güç veren farklı bitki polisakkaritleri arasında çapraz bağ kurmaktadır. Lignin ayrıca bitki gövdelerinde suyun iletilmesinde de önemli bir rol oynamaktadır [2].

1.2. Termoset reçineler

Kırılgan yapıya sahip termoset matrisler dolgu ve takviye maddeleriyle kullanımları sayesinde Otomotiv, uçak, bina, yapı elemanları, denizcilik ve elektrik aletleri gibi birçok uygulamada kendilerine yer bulmaktadır. Polyesterler, fenolik, amino, üre/formaldehit reçineler ve silikonlar yaygın kullanıma sahip termosetlerdir. Genellikle kürlenmeyi başlatmak ve çapraz kimyasal bağları sağlayacak katkı maddeleri ile kullanılmaktadırlar. Ayrıca bu katkı maddeleri sayesinde termal, boyutsal kararlılık ve dayanım arttırmak gibi özellikleri de geliştirilmektedir. Epoksi reçinelere üstün mekanik özellikler kazandırılabilmesi tercih sebebidir [20].

2. Doğal fiber takviyeli epoksi kompozitlerin gelişimi

Doğal fiber/epoksi matris kompozit üretimi üzerine araştırmalar günümüzde popülerliğini sürdürmektedir. Jawaid ve ark. (2022), doğal liflerin hidrofilik davranışlarının zayıf lif/matris ara yüzey bağlanmasına yol açarak ve kompoztin nihai performansını etkilediğini belirtmişlerdir. Doğal fiber takviyeli kompozitlerinin içine ayrıca nanokil katmışlar ve kompozitlerin mekanik özelliklerinde önemli iyileşmeler sağlamışlardır. Montmorillonit nanokil, kompozitlerin mekanik özelliklerini artırmak için olası bir ikincil takviye olarak kullanılması sayesinde mekanik özellikler iyileştirilmiş aynı zamanda güçlü arayüzey yapışması sağlanarak su emme ve termal genleşmeye karşı daha iyi boyutsal kararlılık geliştirildiği söylenmiştir. Ancak, nem absorbsiyonu sonucu fiberlerin şişmesi nanokompozitlerde mikro çatlaklara sebep olmuştur. Lif/matris arasında zayıf ara yüzey oluştuğunu ve bu konu hakkında daha kapsamlı araştırma yapılması gerekliliğini vurgulamışlardır [21].

Fiore ve ark. (2022), keten lif takviyeli epoksi kompozitlerin deniz ortamı gibi tuzlu bir ortamda dayanımını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada kompozit numuneler 15-30 gün boyunca 35 °C'de tuzlu su püskürtme koşuluna tabi tutulmuş, sonrasında 22 °C'de kuru durumda 21 gün bekletilmişlerdir. Keten lifi takviyeli kompozitlerin ıslak faz sırasında hem tersine çevrilebilir hem de geri döndürülemez bozunma fenomenasına ulaştığı bildirilmiştir. Ayrıca, geri kurutma sayesinde kompozitlerin mekanik dayanımını geri kazandığını belirterek çok önemli bir sonucu ortaya koymuşlardır. Özellikle, tersine dayanım kazanımı testlerinde eğilme mukavemetinin neredeyse tamamen geri kazanıldığı vurgulanmıştır [22].

Barouni ve ark. (2022), hibrit olmayan keten/epoksi ve hibrit cam/keten/epoksi kompozitler üretmişlerdir. Kompozitlere uygulanan yorulma testlerinde cam tabakaların yorulma performansını arttırıldığı belirtmişlerdir. Ayrıca, kompozitlerin gözenek boyutlarının yorulma dayanımıyla doğrudan ilişkisi olduğunu belirtmişler ve numunelerine farklı sıcaklıklar altında dinamik mekanik analiz uygulayarak sonuçlarını desteklemişlerdir [23].

Vinod ve ark. (2022), jüt ve kenevir takviyeli hibrit epoksi kompozitlerini farklı lamine sıralarıyla üretmişlerdir. Kompozitlerin mekanik özelliklerinin yanı sıra su emme, yoğunluk, boşluk yüzdesi gibi sonuçları değerlendirmişlerdir. Hibrit kompozitin, saf fiber takviyeli kompozitler ve katkısız epoksi kompozitlerle karşılaştırıldığında daha iyi performans gösterdiği ve daha fazla nem içeriğine sahip amorf takviyelerin darbe direncini iyileştirdiği ortaya koymuşlardır. Termogravimetrik analizler ile tüm fiber takviyeli kompozitlerin termal stabilitesinin neredeyse benzer olduğu ve saf epoksi numunelerle karşılaştırıldığında doğal lif takviyeli olan kompozitlerin termal kararlılığında önemli bir gelişme gösterdiği

belirtmişlerdir. Ayrıca, nem emme testi, hibridizasyonun kompozitlerin nem direncinde önemli bir rol oynadığı sonucuna varılmıştır [24].

Helaili ve ark. (2021), alfa liflerini rastgele serme yöntemini kullanarak kalıplayarak epoksi kompozitler üretmişlerdir. Kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişler ve alfa lifinin miktarının artması ile elastik modülün arttığını ve kırılma gerilmesi değerinin ise iki katına kadar artabildiğini belirtmişlerdir [25].

Ugochukwu ve ark. (2021), jüt, kenaf ve kenevir lifi takviyeli epoksi kompozitleri, vakum infüzyon yöntemiyle üretmişlerdir. Çalışmalarında, termal yaşlanmanın (90 °C sıcaklıkta 7, 15 ve 30 gün) doğal elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin çizilme dayanımı üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Yaptıkları araştırmalar sonrasında termal yaşlandırma süresi arttıkça kompozitlerin çizilme direncinin azaldığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte, jüt lifi takviyeli epoksi kompozitler, 30 günlük termal yaşlandırma sonrasında kenaf ve kenevir lifi takviyeli epoksi kompozitlere kıyasla en yüksek kritik normal yüke, kırılma tokluğuna ve çizilme sertliğine sahip olduğunu vurgulamışlardır [26].

Putra ve ark. (2020), Hindistan cevizi liflerine sıvı-plazma (su ve sodyum bikarbonat ($NaHCO_3$) çözeltisi) işlemi uygulamışlar ve epoksi kompozitler üretmişlerdir. Sıvı plazma ilemi mikrodalga fırın içerisinde gerçekleştirilmiş ve pratik uygulamalar için, hindistan cevizi lifi-epoksi matrisinin ara yüzey kesme mukavemeti hem su hem de sodyum bikarbonat solüsyon ortamı ile sıvı-plazma muamelesinden sonra mekanik kilitlenme nedeniyle arttığını belirtmişlerdir. Hatta bu yapışmada kimyasal yapışma yer alabileceğini dile getirmişlerdir. Bu sonuçlara dayanarak, sıvı-plazma işleminin, kompozitte takviye olarak kullanılan doğal liflerin yüzey modifikasyonu için alternatif bir işlem olabileceğini belirtmişlerdir [27].

Mohan ve ark. (2019), muz liflerine nano kil aşılamış ve epoksi kompozitlerin dayanımını arttırmayı hedeflemişlerdir. Epoksiye kıyasla yaklaşık yüzde kırk üç oranında dayanımında artış olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, nanokil aşılanmış muz lifli kompozitlerin çekme modları nanokil aşılanmamış kompozitler kıyaslanmış ve yaklaşık 2 kat daha iyi enerji emme özelliği elde edildiği belirtilmiştir. Bunun sebebini ise nanokil parçacıklarının eğilme ve kısa kiriş modlarında daha yüksek düzeyde yüzey etkileşimi olduğu yönünde açıklamışlardır. Bir diğer değerlendirmeleri ise fiberdeki nanokil infüzyonunun fiber-matris ara yüzey ve yük transfer özelliklerini iyileştirdiğini ve nanokil ile aşılanmış muz fiber takviyeli epoksi kompozitlerde daha yüksek düzeyde özellik iyileştirmesine yol açtığını belirtmek olmuştur [28].

3. Doğal lif/partikül takviyeli epoksi kompozitlerin uygulama alanları

Hibrit polimer nanokompozitler, otomotiv, havacılık, bina ve inşaat gibi farklı endüstriyel segmentlerde daha fazla uygulama alanı bulmaktadır. Özellikle polimer nanokompozitler, dünya çapında otomotiv endüstrisinden büyük ilgi görmektedir. Yakıt, motor verimliliğinin arttırılması, otomobil ağırlığının azaltılması gibi aranan özellikleri kazandırmada etkili olmuşlardır [21]. Tablo 3'te bazı uygulama alanları özetlenmiştir.

Tablo 3 Doğal lif/partikül epoksi kompzoitlerin uygulama alanları

Doğal lif/ partikül takviyeler	Diğer takviyeler	Polimer matris	Uygulama alanları	Referanslar
Bambu, kenaf	Nanokil	Epoksi	Yapı, inşaat, otomotiv sektörleri	[29]
Kenaf	Nanokil	Epoksi	Gelişmiş çok hafif yapılar ve yapısal olmayan uygulamalarda	[30]
Bambu, kenaf,	Nanokil	Epoksi	Yük taşıyan yapılar, örneğin zemin, panel uygulamaları	[31]
Hindistan cevizi	Titanyum karbür	Epoksi	Havacılık uygulamaları	[32]

4. Sonuç

Mevcut literatürde potansiyel uygulamalar için hibrit kompozitlerin geliştirilmesinde doğal fiber/partikül takviyelerin kullanımı çevre açısından oldukça önemli bir yer tutmaktadır. İklim değişikliği, sürdürülemez sonlu kaynaklı üretim, çevreye zararlı kimyasal ürünlerin salınması gibi mevcut birçok sorunla başa çıkmaya yarayabilecek çok sayıda araştırma bulunmaktadır.

Doğal lif bazlı kompozitlerin dezavantajlarından biri hem polimer matrisin hem de doğal liflerin/partiküllerin farklı çevresel koşullar altında hasara meyilli olmasıdır. Doğal tabanlı kompozitler farklı çevre koşulları altında renk, yüzey bozulmalarının, boyutsal stabilite yanı sıra kompozit kullanımını oldukça sınırlayan termal stabilitenin bozulması ve mekanik özelliklerinin azalması araştırmacıların çözüm üretmeye çalıştıkları temel sorunları oluşturmaktadır.

5. Referanslar

1. Kumar, S., A. Manna, and R. Dang, *A review on applications of natural Fiber-Reinforced composites (NFRCs).* Materials Today: Proceedings, 2021.
2. Prabhakar, C., et al., *A review on natural fibers and mechanical properties of banyan and banana fibers composites.* Materials Today: Proceedings, 2021.
3. Sharma, S., et al., *A comprehensive review of current developments on the waste-reinforced polymer-matrix composites for automotive, sports goods and construction applications: Materials, processes and properties.* Materials Today: Proceedings, 2020. **33**: p. 1671-1679.
4. Shukla, N. and G. Devnani, *A review on mechanical properties of hybrid natural fiber polymer composites.* Materials Today: Proceedings, 2021. **45**: p. 4702-4705.
5. Yadav, V. and S. Singh, *A comprehensive review of natural fiber composites: Applications, processing techniques and properties.* Materials Today: Proceedings, 2021.
6. Buksnowitz, C., et al., *Acoustical properties of Lyocell, hemp, and flax composites.* Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2010. **29**(20): p. 3149-3154.
7. Cao, Y., S. Sakamoto, and K. Goda. *Effects of heat and alkali treatments on mechanical properties of kenaf fibers*. in *16th international conference on composite materials*. 2007.
8. Dinesh, T., A. Kadirvel, and P. Hariharan, *Thermo-mechanical and wear behaviour of surface-treated pineapple woven fibre and nano-silica dispersed mahua oil toughened epoxy composite.* Silicon, 2020: p. 1-10.
9. Moqadas, S., *Investigation on the possible application of Natural fibres (Abaca fibres) as reinforcement in concrete to create ductility*. 2014, Delft University of Technology.
10. Narayana, V.L. and L.B. Rao, *A brief review on the effect of alkali treatment on mechanical properties of various natural fiber reinforced polymer composites.* Materials Today: Proceedings, 2021.
11. Kumar, A. and A. Srivastava, *Preparation and mechanical properties of jute fiber reinforced epoxy composites.* Industrial Engineering & Management, 2017. **6**(234): p. 2169-0316.1000234.
12. Athijayamani, A., et al., *Effect of moisture absorption on the mechanical properties of randomly oriented natural fibers/polyester hybrid composite.* Materials Science and Engineering: A, 2009. **517**(1-2): p. 344-353.

13. Oksman, K., *High quality flax fibre composites manufactured by the resin transfer moulding process.* Journal of reinforced plastics and composites, 2001. **20**(7): p. 621-627.
14. Ochi, S., *Mechanical properties of kenaf fibers and kenaf/PLA composites.* Mechanics of materials, 2008. **40**(4-5): p. 446-452.
15. Shibata, M., et al., *Biodegradable polyester composites reinforced with short abaca fiber.* Journal of Applied Polymer Science, 2002. **85**(1): p. 129-138.
16. Arib, R., et al., *Mechanical properties of pineapple leaf fibre reinforced polypropylene composites.* Materials & Design, 2006. **27**(5): p. 391-396.
17. Pappu, A., et al., *Advances in industrial prospective of cellulosic macromolecules enriched banana biofibre resources: A review.* International journal of biological macromolecules, 2015. **79**: p. 449-458.
18. Sônego, M., *Biomimetism of Brazil nutshell (Bertholletia excelsa).* 2020.
19. Li, B., et al., *Preparation of Resinified Granulated Walnut Shell as Fracturing Proppant of Ultralow Density [J].* Oilfield Chemistry, 2009. **3**(006).
20. Xanthos, M., *Functional fillers for plastics*. 2010: John Wiley & Sons.
21. Jawaid, M., et al., *Sustainable kenaf/bamboo fibers/clay hybrid nanocomposites: properties, environmental aspects and applications.* Journal of Cleaner Production, 2022. **330**: p. 129938.
22. Fiore, V., et al., *On the response of flax fiber reinforced composites under salt-fog/dry conditions: Reversible and irreversible performances degradation.* Composites Part B: Engineering, 2021: p. 109535.
23. Barouni, A., et al., *Investigation into the fatigue properties of flax fibre epoxy composites and hybrid composites based on flax and glass fibres.* Composite Structures, 2021: p. 115046.
24. Vinod, A., et al., *Jute/Hemp bio-epoxy hybrid bio-composites: Influence of stacking sequence on adhesion of fiber-matrix.* International Journal of Adhesion and Adhesives, 2021: p. 103050.
25. Helaili, S., M. Chafra, and Y. Chevalier. *Natural fiber alfa/epoxy randomly reinforced composite mechanical properties identification*. in *Structures*. 2021. Elsevier.
26. Ugochukwu, S., et al., *Effect of thermal ageing on the scratch resistance of natural-fibre-reinforced epoxy composites.* Composite Structures, 2021. **261**: p. 113586.
27. Putra, A.E.E., et al., *Investigating the effects of liquid-plasma treatment on tensile strength of coir fibers and interfacial fiber-matrix adhesion of composites.* Composites Part B: Engineering, 2020. **183**: p. 107722.

28. Mohan, T. and K. Kanny, *Compressive characteristics of unmodified and nanoclay treated banana fiber reinforced epoxy composite cylinders.* Composites Part B: Engineering, 2019. **169**: p. 118-125.
29. Chee, S.S., et al., *Effects of nanoclay on mechanical and dynamic mechanical properties of bamboo/kenaf reinforced epoxy hybrid composites.* Polymers, 2021. **13**(3): p. 395.
30. Khan, A., et al., *Effect of cellulose nano fibers and nano clays on the mechanical, morphological, thermal and dynamic mechanical performance of kenaf/epoxy composites.* Carbohydrate polymers, 2020. **239**: p. 116248.
31. Chee, S.S., et al., *Thermo-oxidative stability and flammability properties of bamboo/kenaf/nanoclay/epoxy hybrid nanocomposites.* RSC Advances, 2020. **10**(37): p. 21686-21697.
32. Arshad, M.N., et al., *Effect of coir fiber and TiC nanoparticles on basalt fiber reinforced epoxy hybrid composites: Physico–mechanical characteristics.* Cellulose, 2021. **28**(6): p. 3451-3471.

✔ 15. Bölüm

SAGALASOS ANTİK KENTİNİN MERMER-DOĞALTAŞ LİTOLOJİSİ VE PETRO-KİMYASAL KARAKTERİSTİĞİ[1]

Ramazan HACIMUSTAFAOĞLU[2]

Hakan ELÇİ[3]

1 Yazı konusu birinci yazarın doktara çalışmasından düzenlenmiştir.

2 DR., Dokuz Eylül üniversitesi Torbalı Meslek Yüksekokulu Doğal Yapı Taşları Teknolojisi Programı, ramazan@deu.edu.tr

3 DOÇ. DR., Dokuz Eylül üniversitesi Torbalı Meslek Yüksekokulu Geoteknik Programı, hakan.elci@deu.edu.tr

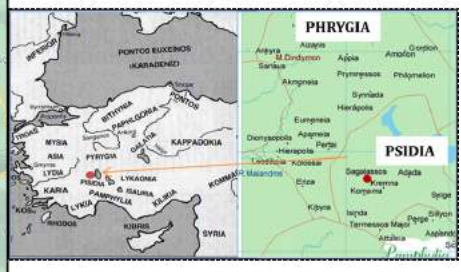
1. Giriş

Günümüze kadar ulaşmış antik kentlerin temel ortak özelliği, şehirlerin tamamında değişik doğal taş türlerinin ana yapı malzemesi olarak kullanılmış olmasıdır. Doğal taşlar, bu kentlerin günümüze kadar kalıcılığını sağlayan en önemli yapı malzemesi olmuştur. Antik kentlere baktığımızda, birinci malzeme olarak kullanılan farklı özelliklerdeki doğaltaşlar, şehir ve insanlarla birlikte, kentlerin kendine özgü karakterlerini aydınlatmaya imkan sağlamaktadır. Bu bağlamda, antik kentlerde kullanılan doğaltaş türlerini ve özelliklerini tanımlamak, arkeolojik açıdan önemli olduğu kadar, jeolojik bakımdan da son derece değerlidir.

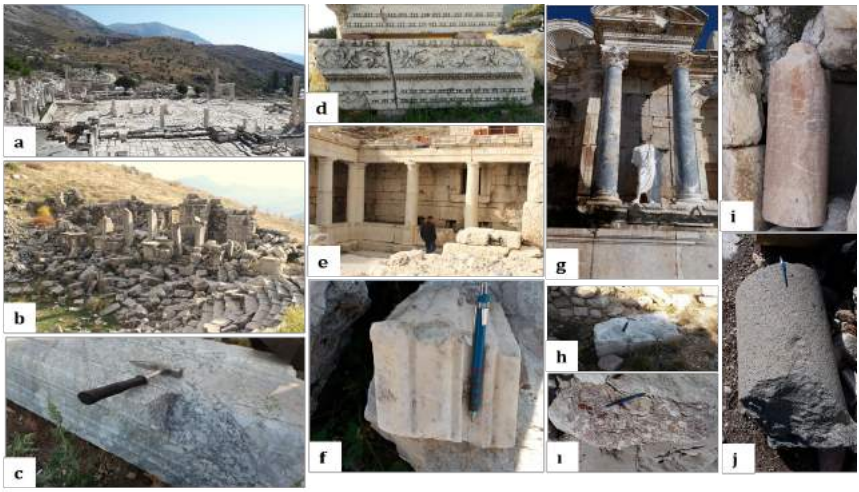
Çalışma kapsamında, bu açıdan, Sagalasos antik kentinde kullanılan doğaltaşlar incelenmiştir. Sagalasos antik kenti; Burdur ili Ağlasun ilçesi sınırları içerisinde yer alır (Şekil 1). Sagalasos, Türkiye'nin en iyi korunmuş antik kentlerinden birisidir. Ağlasun'un sadece 7 km kuzeyinde yer alır. 1990 yılından beri her yaz Leuven Üniversitesi'nden, Belçikalı, Türk ve diğer ülkelerden araştırmacılardan oluşan bir bilimsel ekip, Sagalasos'ta kazı çalışmaları yürütmektedir. MÖ 333'te Büyük İskender'in fethettiği kent, Roma İmparatorluğu'na MÖ 25'te bağlanır ve hızla gelişir. Roma İmparatoru Hadrian'ın (MS 117-138), Sagalasos'a Pisidya eyaletinin (bugün Göller Bölgesi) birinci kenti ünvanını vermesiyle, en büyük anıtları inşa edilir (Şekil 2). Sagalasos antik kentinde kullanılan doğal taşlar yaygın olarak, sedimenter kökenli çok ince taneli kireçtaşı ve breşik kireçtaşı türleridir. Bu tür doğaltaşların yasısıra, metamorfik kökenli ince-orta tane boyutlu farklı renklerde kristalin mermer ve magmatik kökenli Trakitik-Andezit, Trakitik Tüf türü doğaltaşlar antik kente kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 1: Sagalassos antik kent lokasyonu (https://www.google.com.tr/maps, 2021)



Şekil 2: Psidia bölgesi http://www.arkeololojidunyası.com



Şekil 3: Sagalasos antik kentinde mermer/doğaltaş kullanım örnekleri.
(Sagalasos mermer/doğaltaş: a-j)

Araştırmanın amacı, antik kentler içerisinde önemli yeri olan Sagalasos antik kentinde kullanılan doğaltaşları, gerek çevre jeoloji açısından, gerekse karakteristik özellikleri bakımından, köken, cins, tür, petrografik ve kimyasal analiz sonuçları itibari ile sınıflandırmak ve doğaltaş kullanım morfolojisini belirlemektir.

Çalışmada, doğaltaşların kimyasal analizleri için ICP-MS yönteminin yanında yeni bir yöntem olarak p-XRF (handheld portatif XRF/X-Ray Fluorescence Analyzers) kullanılmıştır. Bu yöntemle elde edilen kimyasal analiz sonuçları ICP-MS sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yüzde ve ppm olarak elementel değerler sağlayan bu yöntem, kısa zamanlı ve ekonomiktir. Doğaltaşlar için, önerilen farklı iki sınıflandırma yapılmıştır. Bu kapsamda doğaltaşların kökeni, cinsi ve türü olmak üzere üç özellik belirlenmiştir. Antik kentte kullanılan doğal taşlar, öncelikle bu özelliklere göre sınıflandırılmış ve tablolar oluşturulmuştur. Örneğin, doğaltaş köken grubu: Metamorfik, Doğaltaş cinsi: mermer, Doğaltaş türü: Orta kristalli beyaz renkli mermer biçimindedir. İkincisi, doğaltaşları belirlemede önemli parametrelerden bir tanesi kristal boyutlarıdır. Antik kentlerde kullanılan doğaltaşların kristal boyutlarını sınıflandırmak için kilavuz referans kristalin mermer örneklerinden yazar tarafından yapılan çalışma ile oluşturulan sınıflandırma kullanılmıştır. Bu çalışma, bilgisayarlı görüntü analiz yöntemi ile polarizan mikroskop kullanılarak mermerlerin tane boyutları ölçülmüş ve elde edilen veriler işlenerek, kristal boyutu, 100-250 µm arası ince, 250-1000 µm orta ve 1000 µm'den büyük olmak üzere, tane boyut skalası yapılmıştır. (Hacımustafaoğlu, 2019). Daha sonra aynı yöntem antik kentte kullanılan doğaltaş türleri için uygulanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Arazi Çalışmaları

Saha çalışmalarında, Sagalasos antik kentinden sistematik olarak toplanan farklı özellikteki doğaltaş türleri numuneleri çalışmasının temel materyalleridir. Antik kentten örnek numune seçimleri yapılırken sahanın tamamı taranarak, doğaltaş türlerinin en yaygın kullanılmış ve mümkün olan en çok sayıda olmasına hassasiyet gösterilmiştir.

2.2. Laboratuvar Çalışmaları

2.2.1. Mineralojik Analizler

Sagalasos antik kentinde kullanılan doğaltaşların detay mineralojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, alınan farklı doğaltaş numunelerinden içerdikleri ilksel tabakalanma ve foliasyon düzlemlerine dik, paralel ve verev yönlerde en az üçer adet ince kesit yaptırılmıştır. Olympus-Bx41TF polorizan mikroskop kullanılarak örneklerin detaylı petrografik analizleri yapılmıştır. TS EN 12407 doğaltaşlar deney metotları petrografik inceleme standardına uygun olarak yapılan çalışmada, doğaltaşların dokusal özellikleri ve mineral bileşimleri belirlenmiştir. Ayrıca kristal topluluğu şekli, boyut dağılımı ve tane sınır geometrisi sınıflandırması için Passchier ve Trouw, 1996'dan yararlanılmıştır.

2.2.1.1. Tane Boyut Analizi

Mikroskoba entegre digital fotoğraf makinesi ile ince kesitler fotoğraflanmıştır. Bu fotoğraflar tane boyut ölçümleri için TCA-300 mikroskop kamera entegreli software view7 programına aktarılarak bilgisayarlı görüntü analiz yöntemi kullanılmıştır. Mermer örneklerinden ortalama 500 tane boyut ölçümü yapılmıştır. Tanelerin her iki yönde boyutları ölçülmüş olup, ortalama değerler kullanılmıştır.

Doğaltaş türlerinin ortalama ve maksimum tane boyutları belirlenmiştir. Antik kente kullanılan doğaltaş türleri için sınıflandırma yapılmıştır. Referans mermer örnekleri ile yazar tarafından doktora çalışmasında oluşturulan tane boyut skalası kullanılarak antik kent mermerlerinin kristal boyut sınıfları belirlenmiştir.

2.2.2. Kimyasal Analizler

2.2.2.1. Temel Oksitler ve Eser Elementler

Antik kentten elde edilen örnek numunelerin çeşitlilikleri dikkate alınarak, her bir farklı örnek üzerinde İndüktif Eşlemeli Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry), kimyasal analiz yöntemi kullanılarak, oksit ve eser element bileşimleri belirlenmiştir. Analizler için örnekler, öncelikle 25-50 gr ağırlığında olacak şekilde 50 μm boyutunda ha-

zırlanmıştır. Bu işlem Dokuz Eylül Üniversitesi laboratuvarda yapılmıştır. Hazırlanan numunelerin kimyasal analizleri Kanada Acme laboratuvarında yaptırılmıştır.

2.2.2.2. Elementel Analiz

Elementel analizler için, olympus marka, delta portatif x-ray fluorescence cihazı (P-XRF) kullanılmıştır. Elementel analiz çalışmasında, tüm örnekler için ayrı olmak üzere ortalama on beş p-xrf ölçümü yapılmıştır. Ölçüm işleminde doğaltaş örneklerinin taze yüzeyleri kullanılmıştır. Her bir element için ölçülen değerlerin ortalaması değerlendirilmiştir. Daha sonra antik kentte kullanılan doğaltaş türlerinin P-xrf sonuçları ile ICP-MS değerleri karşılaştırılmıştır.

2.3. Jeolojik Haritalar

Sagalasos antik kenti ve yakın çevresinin jeolojik yapı özelliklerinin belirlenmesinde, önceki yıllarda MTA tarafından hazırlanan 1/500 000, 1/ 100 000 ve 1/ 25 000 ölçekli jeoloji haritaları temel alınmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

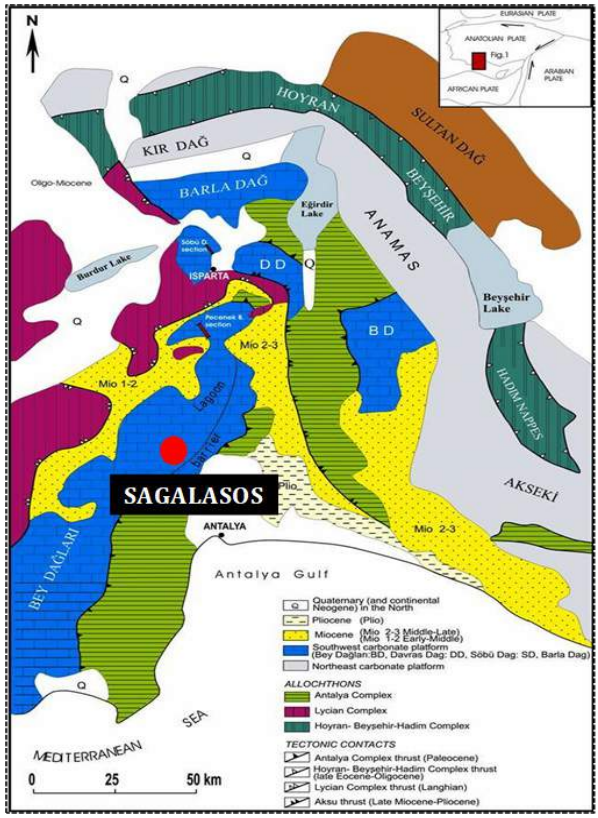
3.1. Sagalasos Antik Kent Tarihi

Burdur ilinin Ağlasun ilçesi sınırlarında, ilçeye yedi kilometre uzaklıktaki Sagalasos'un yakın çevresinin tarihi, MÖ 12 binlere kadar uzanır. MÖ 3 binde ilk yerleşim izlerinin fark edildiği Sagalasos, MÖ 1600'lerde Pisidia coğrafyası içerisinde kalır. Uzun bir süre tarihin karanlıklarında kalan Sagalasos, Büyük İskender'in bölgeyi kendi topraklarına katmak istemesiyle (MÖ 334) tarihteki yerini alır. Batı Toros dağlarının kollarından biri olan Akdağın güney yamacı üzerinde, 1450-1700 metreler arasında kurulu Sagalasos, Büyük İskender'in ordusuna karşı büyük bir savunmada bulunur. Pisidia'nın en cesur ve savaşçı halkının yaşadığı Sagalasos, kanlı bir savaş sonucunda İskender tarafından ele geçirilir. Beş yüz kişinin hayatını kaybettiği savaş (MÖ 334), kentin hemen önündeki bir tepede yaşanır. Büyük İskender'den sonra şansı açılan ve Helenistik dönem boyunca (MÖ 333-25) Pisidia bölgesinin en önemli ikinci kenti olan Sagalasos, MÖ 25 yılında Roma egemenliği altına girer. MS I. yüzyılın ortasında da, bölgenin en önemli ve büyük şehri haline gelir. MS 3. yüzyılın başına kadar mimari yönden en parlak devrini yaşayan, görkemli yapılarla donatılan kent, MS 518'de ağır bir deprem geçirir. Yıkılan yapılar tamir görüp yenilense de MS 7. yüzyılda yaşanan yeni bir deprem, hem kenti yok eder, hem de su kaynaklarını kapatır. Bunun üstüne kent, bir de Arap akınlarıyla karşı karşıya kalır. Üst üste kötü olaylarla sarsılan Sagalasos'u, susuzluk ve ardından gelen bulaşıcı hastalıklar da rahat bırak-

maz. Sonuçta kent terk edilir. Bu güzel kentin üzeri hemen yamacına kurulduğu Akdağ'dan inen yamaç molozları ile örtülür. Doğa tarafından böylelikle koruma altına alınan Sagalassos, yüzyıllarca sürecek derin bir uykuya dalar. Yüzlerce yıl sonra, 1706'da Fransız gezgin Paul Lucas Sagalasos'a gelir. Lucas seyahatnamesinde antik kentten perilerin yaşadığı yerler olarak söz eder. Sagalasos'un gerçek kimliği, 1824'te İngiliz papaz Francis Arundell tarafından tespit edilir. Arundell, Batı Torosların en önemli antik kentlerinden birinin Sagalassos olduğuna işaret eder. 1985'lerde İngiliz araştırmacılar, Stephen Mitchell başkanlığında bölgeye giderler. 1986 yılındaki araştırmalara katılan Belçikalı arkeolog Marc Waelkens ise Sagalasos'u yüzlerce yıllık uykusundan uyandıran bilim insanı olur (http:// Ağlasun.gov.tr, 2018).

3.2. Genel Jeoloji

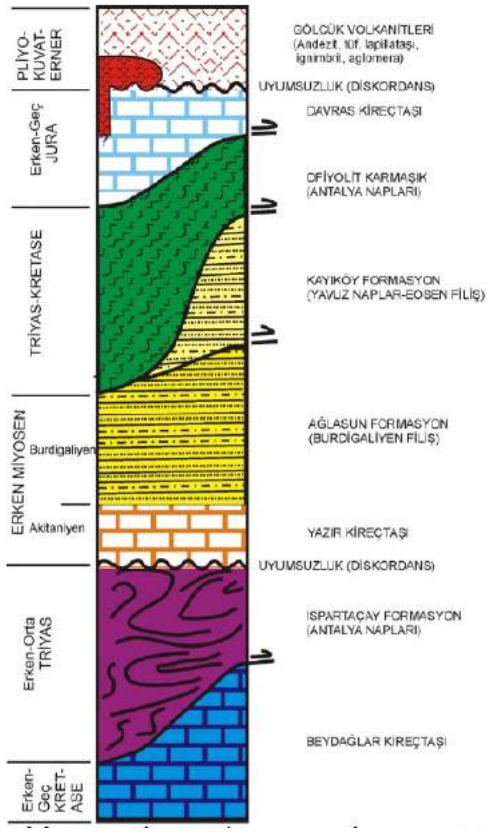
Sagalasos antik kenti ve yakın çevresinin temel jeolojik özellikleri önceki yıllarda, Yağmurlu (1994), Abubakır ve Yağmurlu (2017) ve Kamacı ve diğ. (2009) tarafından detaylı biçimde incelenmiştir. Bu nedenle, Sagalasos ve çevresinin jeolojik ve tektonik özelliklerinin ortaya konulmasında bu makalelerde verilen bilgiler temel alınmıştır. Şekil 6'da verilen bölgesel jeoloji haritası üzerinde görüldüğü gibi, Sagalasos antik kenti Isparta Açısının batı kanadı üzerinde yer alır. Sagalasos antik kenti Isparta Açısı içinde yer alan kaya birimleri ana çizgilerde, (1) Otokton-Paraotokton ve (2) Allokton kaya birimleri olmak üzere başlıca iki grup içinde toplanmıştır. Bölgedeki kaya birimlerinin bölgesel ölçekte ki yayılımları ve birbirleri ile olan tektonostratigrafik ilişkileri (Şekil 4 ve 5'de) verilmiştir (Abubakır ve Yağmurlu, 2017, Kamacı ve diğ.,2009). Otokton-Paraotokton kaya birimleri: Davras formasyonu (Erken-Geç Jura) Davras Formasyonuna ait karbonat kayalar, Antalya Körfezinin batısında Beydağları yükseltisini oluşturan Mesozoyik istifinin orta bölümünde yer alır. Birime ait karbonat kayalar Erken-Geç Jura dönemine ait olan ve egemen olarak bitümlü killi kireçtaşları ile dolomitli kireçtaşlarından oluşan kalın bir karbonat kaya istifinden yapılıdır (Şekil 5). Birime ait karbonat kayalar, altta bulunan Triyas -Jura yaşlı Kasımlar Formasyonu ile Kuyubaşı Dolomitlerini uyumlu olarak üstler. Isparta Açısı ve çevresinde toplam 1250 m kalınlığa ulaşan Davras Formasyonu, yörede Beydağları Formasyonunu oluşturan Kretase yaşlı karbonat istif tarafından konkordan bir dokanakla üstlenir.



Şekil 4: Sagalasos Antik Kenti'nin yerbulduru haritası ve Isparta Büklümü'nün jeotektonik konumu (Poisson ve diğ. 2003'ten değiştirilmiştir).

Beydağları formasyonu (Erken-Geç Kretase):Özellikle Isparta Açısının batı bölümünde ve Antalya-Beydağları yöresinde geniş yayılım gösteren Beydağ Formasyonu, Erken-Geç Kretase arasında değişen ve kalınlığı 1000 metreyi aşan pelajik ve neritik kireçtaşlarından oluşur (Şekil 5). Beydağlarını meydana getiren karbonatlı istif alttan üste doğru, egemen olarak kalın katmanlı Rudistli kireçtaşları ile bunlar üzerine gelen Globotruncana'lı pelajik kireçtaşları ve bunlara eşlik eden şeyl ve çamurtaşı arakatmanlarından yapılıdır. Isparta'nın batısında Söbüdağ yöresinde Beydağları Formasyonuna ait pelajik kireçtaşları Eosen yaşlı Kayıköy Formasyonuna ait kırıntılı tortullar tarafından uyumsuz olarak üstlenir (Yağmurlu, 1994). Yazır kireçtaşı (Akitaniyen):Isparta güneyinde ve Kışla Köyü çevresinde Antalya napları içinde bulunan Triyas yaşlı Isparta Çayı Formasyonunu açılı uyumsuzlukla üstleyen Akitaniyen (Erken Miyosen) yaşlı resifal özellikteki kireçtaşları önceki araştırıcılar tarafından (Karaman 1990, Yağmurlu 1994), "Yazır Kireçtaşı olarak adlandırılmıştır. Tipik kesit yerinde başlıca orta ile koyu

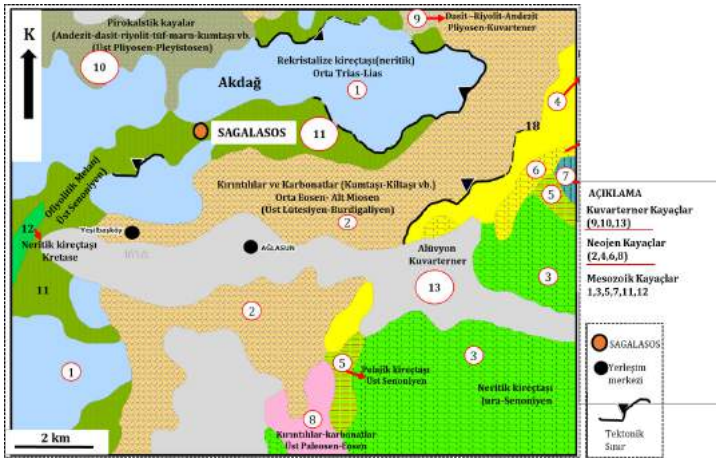
grimsi, kalın katmanlı, bitümlü, ve yersel mercan yığışımlı kireçtaşlarından oluşan birim, Ağlasun Formasyonuna ait Burdigaliyen yaşlı türbiditik tortullar tarafından uyumlu olarak üstlenir. Yazır kireçtaşının alt ve üst dokanaklarına ait tip kesitler, Kışla Köyü'nün batı kesimlerinde açık olarak gözlenir (Şekil 5).



Şekil 5: Sagalasos antik kenti ve yakın çevresinde yer alan kaya birimlerine ait genelleştirilmiş sütün kesit (Yağmurlu ve diğ. 2005).

Ağlasun formasyonu (Burdigaliyen): Egemen olarak şeyl, kumtaşı, kalkerli şeyl ve sualtı oturma ürünü olistrostromal oluşuklardan yapılı olan tortul istifi bu çalışmada Ağlasun Formasyonu olarak tanımlanmıştır (Şekil 5). Formasyon adı Karaman (1990) ve Yağmurlu (1994) tarafından Isparta güneyinde yer alan benzer litoloji sahip tortullar için kullanılmıştır. Aynı araştırıcı tarafından birim içinde saptanan mikrofauna içeriğine göre, Ağlasun formasyonu Burdigaliyen (Erken Miyosen) olarak yaşlanmıştır. Çalışma bölgesi içinde Kışla Köyünün kuzey kesiminde yaralan birime ait istif içinde alttan üste doğru iki farklı devresel tortul düzeyi ayırt edilmiştir. Sahada kumtaşı/şeyl içeriği, katman kalınlığı ve iç yapı özellikleri ile simgelenen bu tortul fasiyesler dereceli ve aşınmalı olabilen tortul

dokanaklarla birbirlerinden ayrılır. Ağlasun formasyonu içinde çok belirgin litofasiyes özellikleri ile birbirinde kolaylıkla ayrılabilen tortul düzeyler alttan üste doğru; şeyl, filiş ve kumlu filiş litofasiyeslerinden yapılıdır. Toplam kalınlığı 90 metreye ulaşan şeyl-filiş fasiyesine ait tortullar Akitaniyen yaşlı Yazır kireçtaşı olarak isimlendirilen sığ denizel karbonat kayaları uyumlu ve dereceli bir dokanakla üstler. Egemen olarak ofiyolit ve karbonat kayalardan türemiş kaya kırıntıları içeren kumtaşları bileşim bakımından Folk'un (1968) kumtaşı sınıflaması içinde litarenit alanına düşer. Gölcük volkanikleri: Isparta güneyindeki volkanitler (1) Kaldera dışı (Direkli yöresi) ve (2)Kaldera içi (Gölcük yöresi) olmak başlıca iki farklı alanda yayılım göstermektedir (Özgür ve diğ., 2008; Elitok ve diğ., 2008). Direkli yöresindeki kaldera dışı volkanitler daha çok bölgedeki Eosen yaşlı filiş birimi içinde subvolkanik stok ve dayklar şeklinde gelişmiş trakit, andezit, trakiandezit ile yersel olarak gözlenen lamproit ve lamprofirlerden oluşan ultrapotasik kayalardan meydana gelmektedir. Gölcük yöresinde ise egemen olarak piroklastik volkanitler yer almaktadır. Allokton kaya birimleri; Sagalasos bölgesi ve yakın çevresinde yer alan allokton birimleri, yerleşim yaşları itibariyle, başlıca iki grup içinde toplamak mümkündür. Bunlar, (1) Geç Kretase- Erken Paleosen döneminde bölgeye yerleşmiş olan Antalya napları, (2) Geç Eosen- Geç Miyosen aralığında bölgeye yerleşmiş olan ve Likya naplarının bir bileşeni olan Yavuz napları. Her iki nap sistemine ait kaya birimlerinin tanıtman özellikleri ile çevreleyen kayalarla olan yapısal ilişkileri aşağıda özetlenmiştir. Antalya napları (Ispartaçay Formasyonu) Antalya Körfezi'nin kuzeyinde geniş yayılım gösteren ve başlıca ofiyolitik kayalardan ve pelajik tortullardan oluşan allokton kaya topluluğu Poisson (1977) tarafından Antalya Napları olarak isimlendirilmiştir. Yavuz napı (Kayıköy Fm.): Ispartaçay yöresinde ve Sav Kasabasının güneyinde Erken Miyosen yaşlı tortulları bindirmeli bir dokanakla üstleyen Eosen yaşlı türbiditik tortullar, Poisson ve diğ. (2003) tarafından, Likya nap sisteminin bir bileşeni olarak "Yavuz napı" olarak isimlendirilmiştir. Başlıca kumtaşı, ince taneli çakıltaşı, şeyl, kireçtaşı ve çörtlü kireçtaşı bileşenlerinden oluşan tortul kaya topluluğu, önceki çalışmalarda Kayıköy formasyonu olarak ele alınmıştır. Formasyon adı Karaman (1990) tarafından Isparta'nın kuzeybatısında Kayıköy yöresinde yayılım gösteren benzer litoloji özelliğine sahip tortullar için kullanılmıştır. Yapısal Jeoloji: Çalışma bölgesinde yer alan tektonik yapılar daha çok bindirme fayları ve kıvrım sistemleri ile temsil edilir. Yörede yer alan belli başlı bindirme fayları, Aksu, Kışlaköy, Kapıkaya, Akdağ ve Erenler Tepe bindirmelerinden oluşur. Sangalasos antik kenti Akdağ kütlesini oluşturan Triyas yaşlı neritik kireçtaşlarına çok yakın bir alanda yer alır (Şekil 6). Bu kireçtaşları içerisinde çok sayıda doğaltaş üretimi gerçekleştirilmiş antik ocak lokasyonları mevcuttur.

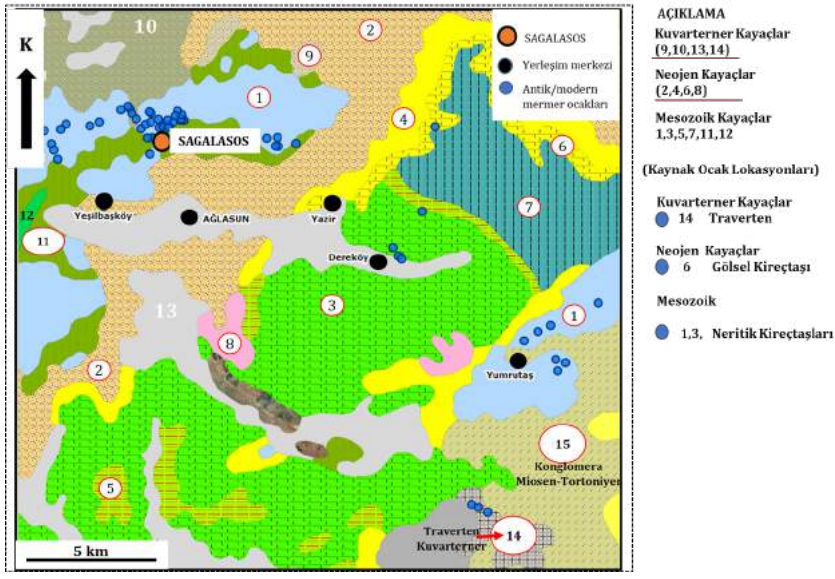


Şekil 6: Sagalasos antik kenti ve yakın çevresinin 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası üzerindeki konumu (MTA,218).

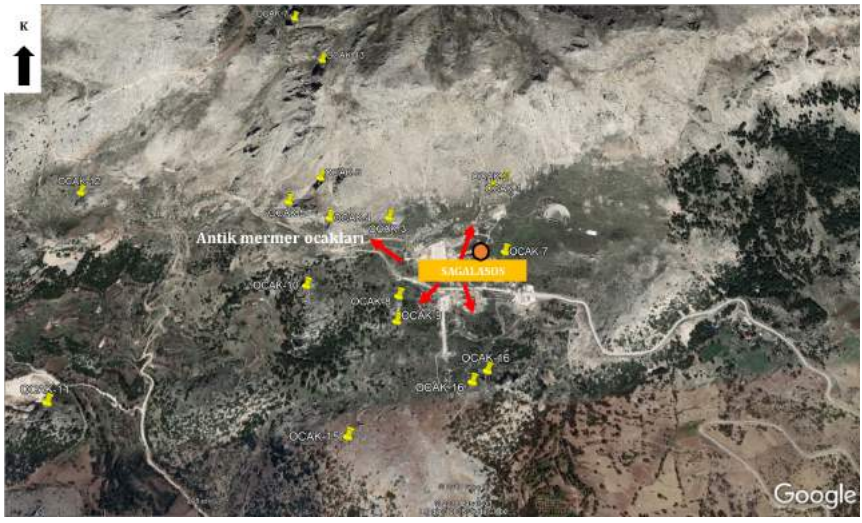
3.3. Sagalasos Çevresinde Bulunan Mermer Ocakları

Sagalasos antik kentinde kullanılan mermer/doğaltaşlar metamorfik, sedimenter magmatik kökenlidir. Metamorik kökenli olan doğaltaş tipleri kristalin mermer cinsidir. Bu mermerler, ince-orta tane boyutuna sahip, genellikle beyaz, beyaz-gri, grimsi renk değişkenliklerine sahiptir. Temel olarak kalsit mineralinin oluşturduğu bu tip mermerler %100'e yakın kalsiyum karbonat bileşimine sahiptir. Sedimenter kökenli olan doğaltaş tipleri, kireçtaşı cinsidir. Bu mermer cinsleri mikrokalsitik çok ince kristal boyutuna sahip olup, renkleri beyazımsı-açık bej (light bej), orta koyu bej (midium bej), penbe, kırmızımsı-koyu kahve renk aralığında değişmektedir. Magmatik (volkanik) kökenli doğaltaşlar ise grimsi-beyazımsı gri renkli hamur (matrix) ile fenokristal olarak koyu renkli amfibol ve açık renkli sanidin minerallerinin oluşturduğu trakit ve trakitik tüf cinsidir. Antik kentin yakın çevresinde çok sayıda antik mermer ocakları mevcuttur. Bu mermer ocakların büyük kısmı, antik kentin kuzeyinde Doğu-Batı yayılımlı Mezozoik (orta Trias-Lias) yaşlı neritik kireçtaşları içerisinde yer almaktadır. Antik ocaklar, kente kullanılan doğaltaşların en büyük blok mermer kaynağını oluşturmaktadır. Dereköy çevresinde Mezozoik (Jura-Snoniyen) yaşlı neritik kireçtaşları ve Yazir civarında Neojen(Akitaniyen-Burdigaliyen) yaşlı Algli neritik kireçtaşları içerisinde yer alan mermer ocakları, kentin mermer kaynak havuzu kapsamındadır (Şekil 7). Mermer ocaklarının koordinatlı olarak yerleştirilen uydu görüntülü haritası üzerindeki konumlarına bakıldığında kente çok yakın mesafede çok sayıda mermer/doğaltaş alanının mevcut olduğu görülmektedir (Şekil 8). Sagalasos antik kentinin çevre jeolojisi içerisinde güncel kireçtaşı cinsi mermer ocakları-

nın konumları, aynı formasyonlar içerisinde ve antik ocaklar çevresinde yoğunlaşmıştır. Kuvarterner yaşlı magmatik (volkanik) kökenli trakitik-andezit ve tüf cinsi doğaltaşlar kaynağı, antik kentin kuzey ve kuzey doğusunda yeralmaktadır. Yumrutaş güneyinde kuvarterner yaşlı traverten cinsi doğaltaş kaynağı olmasına rağmen antik kente uzaklığı nedeniyle ana yapı materyalı olarak tercih edilmemiştir. Sagalasos antik kentinde doğaltaş cinsi açısından, temelde iki tercih sözkonusudur. Bunlardan birincisi otoktan (yakın çevre jeolojisi tercihi) olarak kullanılan doğaltaş türleridir. Antik kente kısa mesafede bulunan, kireçtaşı türü litoloji içerisinde yer alan çok sayıda antik mermer ocakları bunu göstermektedir. Diğer taraftan, antik ocakların bulunduğu bu litoloji; yakınlığı, zengin rezervi, kaliteli olması ve blok verimliliği bakımından uygundur. Antik kentte kireçtaşı cinsi mermerlerin, yaygın öncelikli kullanım tercihi olması bu durumu destekleyen önemli bir faktördür. İkinci olarak allokton (yakın çevre jeoloji dışından getirilip kullanılan) olarak kullanılan doğaltaş cinsleridir. Bunlar ince-orta kristal boyutuna sahip, beyaz, beyaz gri, grimsi beyaz kristalin mermer türleridir. Kristalin mermerler içerisinde sektörel ismiyle Afyon kaplan postu (Tiger skin) ve Eskişehir supren-salome olarak bilenen mermerler makro özellikleri bakımından belirgindir. Antik kentte genelikle sutün şeklinde bulunan bu tür kristalin mermerlerin kent için antik dönem kullanımımı yoksa restorasyon aşamasında farklı bir tedarik şeklindemi olduğu tartışılacak bir konudur. İnce kristalli beyaz renkli mermerler ise kristal boyutları ve özellikleri bakımından Afyon beyaz mermer karakterindedir. Sagalasos antik kentinin doğaltaş kullanım rejiminde öncelikle yakınında yer alan zengin ve kaliteli kireçtaşı cinsi litolojideki kaynak ocakları tercih edilmiştir. Bu nedenle kent için genellikle otokton (yakın çevreden) doğaltaş kullanımı baskın olup, çevre jeoloji taş kullanım tercihinde etkin olmuştur. Özellikle kristalin mermer cinsi mermerler ise yakın olabilecek şehirlerdeki (Afyon, Denizli) antik dönemde kullanılan antik mermer ocaklarından tedarik edilmiştir.



Şekil 7: Sagalasos antik kenti ve yakın çevresinde bulunan antik/modern mermer ocaklarının lokasyonları.



Şekil 8: Sagalasos antik kenti ve yakın çevresinde yeralan antik mermer ocaklarının Google-Earth uydu görüntüsü üzerindeki konumları.

3.4. Sagalasos Kentinde Kullanılan Doğal Taşların Petrografik Özellikleri

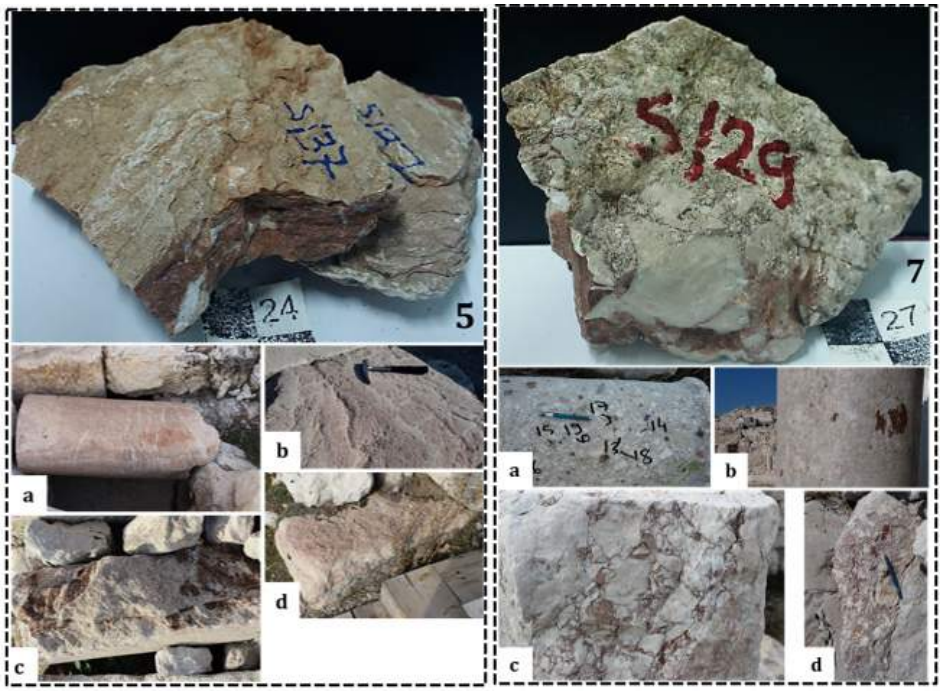
3.4.1. Litolojik Özellikler

Sagalasos antik kentinde yaygın olarak kullanılan doğaltaşlar litolojik olarak 14 tip olarak belirlenmiştir. Belirlenen doğaltaş tiplerinden Şekil 9-10-11 örnekleme verilerek Tablo 1'de tip sınflandırma belirtilmiştir. 1. tip doğaltaş, genel olarak beyazımsı- açık krem renkli (light bej) taze yüzey renk aralığına sahiptir. Kayaç içerisinde yaygın olarak gözlenmeyen, az sayıda beyaz renkli çok ince çatlaklar bulunmaktadır. Bu çatlaklar kalsit dolguludur. İnce tane monokromatik doğaltaş, mikrokalsitik kireçtaşı cinsi sedimenter kayaç grubunda yer alır. Sagalasos antik kenti 2 nolu tip doğaltaş, genel olarak orta-koyu krem renkli (medium-dark bej) taze yüzey rengine sahiptir. Kayaç içerisinde az sayıda genellikle beyaz renkli ortalama 0.5-1 mm kalınlığında çok ince çatlaklar bulunmaktadır. Bu çatlaklar kalsit dolguludur. İnce taneli monokromatik doğaltaş, mikrokalsitik kireçtaşı cinsi sedimenter kayaç grubunda yer alır.



Şekil 9: Sagalasos antik kenti 1 nolu tip doğaltaş. Açık krem (light bej)renkli kireçtaşı. 2 nolu tip doğaltaş, orta-koyu krem (medium-dark bej) renkli kireçtaşı.

Sagalasos antik kenti 5 nolu tip doğaltaş, dış yüzey rengi penbe, kırmızımsı-koyu kahve taze yüzey rengine sahiptir. Kayaç içerisinde yaygın genellikle beyaz renkli ortalama 0.5-2 mm kalınlığında çok ince çatlaklar bulunmaktadır. Bu çatlaklar çoğunlukla kalsit dolgulu damarlar şeklindedir. Yaygın demir oksit sıvamaları ve laminasyon gözlenen doğaltaş, İnce taneli monokromatik, mikrokalsitik kireçtaşı cinsi sedimenter kayaç grubunda yer alır. Sagalasos antik kenti 7 nolu tip doğaltaş, genelde açık krem ve kırmızımsı-kahve renkli taze yüzey rengine sahiptir. Breşik yapıya sahip açık krem rengi, açık krem renkli kireçtaşı çakıllarından oluşmaktadır. Kırmızımsı kahverengi ise çimento (matrix) bölünün rengidir. Bu kısım genellikle demir oksit (hematit?) ve küçük kalsit ve detritik kuvars kristallerinden oluşmaktadır. Çimento içerisinde 1cm boyuta ulaşan kalsit kristalleride mevcuttur. Kayaç içerisinde ince kalsit dolgulu damarlar olduğu gibi demir oksit dolgulu damarlar gözlenmektedir. Doğaltaş, breşik ince taneli polikromatik, baskın mikrokalsitik breşik kireçtaşı cinsi sedimenter kayaç grubunda yer alır (Şekil 10).



Şekil 10: Sagalasos antik kenti 5 nolu tip doğaltaş,
pembe-kırmızı/ koyu kahve renkli kireçtaşı, 7 nolu tip doğaltaş.
Krem-kırmızımsı-kahve renkli breşik kireçtaşı.

Sagalasos antik kenti 8 nolu tip doğaltaş, genel olarak gri taze yüzey rengine sahiptir. Kayaç içerisinde siyah renkli farklı boyutlarda ve ortalama 1 cm boyuta kadar ulaşan amfibol fenokristalleri gözlenmektedir. Kayaç hamur ve tanelerden oluşmaktadır. Hipokristalen dokuya sahiptir. polikromatik, trakit? cinsi magmatik (yüzey) kayaç grubunda yer alır. Sagalasos antik kenti 12 nolu tip doğaltaş, Genel olarak beyaz taze yüzey rengi göstermektedir. Makroskobik olarak belirgin bir yönlenme gözlenmemektedir. Kristalleri gözle seçilebilen kayaç, ince tane? boyuta sahip, heteroblastik doku özelliğindedir. Monomineralik, monokromatik doğaltaş, kristalin mermer cinsi metamorfik kayaç grubunda yer alır (Şekil 11).



Şekil 11: Sagalasos antik kenti 8 nolu tip doğaltaş. gri-siyah renkli trakit. Sagalasos antik kenti 12 nolu tip doğaltaş beyaz renkli kristalin mermer.

On dört tip olarak belirlenen Sagalasos antik kenti doğaltaşları (Şekil 12). doğaltaş köken grubu ve cinsleri açısından sınıflandırılarak bir tablo oluşturulmuştur (Tablo 1).



Şekil 12: Sagalasos antik kenti doğaltaş tipleri.

Tablo 1: Sagalasos antik kenti doğaltaşları köken ve cins sınıflandırması.

	Doğaltaş Tipleri	Doğaltaş Köken Grubu	Doğaltaş Cinsi
A SEDİMENTER	**1**	Sedimenter	Kireçtaşı
	2	Sedimenter	Kireçtaşı
	3	Sedimenter	Kireçtaşı
	4	Sedimenter	Kireçtaşı
	5	Sedimenter	Kireçtaşı
	6	Sedimenter	Kireçtaşı
	7	Sedimenter	Breşik Kireçtaşı
B METAMORFİK	**10**	Metamorfik	Kristalin mermer
	11	Metamorfik	Kristalin mermer
	12	Metamorfik	Kristalin mermer
	13	Metamorfik	Rekristalize mermer
	14	Metamorfik	Kristalin mermer
C MAGMATİK	**8**	Magmatik	Trakit-Traki-Andezit
	9	Magmatik	Trakitik tüf

3.4.2. Mikroskobik Özellikler

Sagalasos antik kenti doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, 4-10 arası değişen adetlerde ince kesit yapılmıştır. 4 ve 11 nolu tip. Doğaltaş türleri çalışma kapsamında örnekleme verilerek Şekil 13'te gösterilmiştir.

Mermer tipleri mikroskobik özellikleri sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. 4 nolu tip doğaltaşın ince kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesi sonucunda, kayacın mineral parajenezini mikrokalsit, dolomit mineralleri oluşturmaktadır. Kayacın %90 oranında temel mineral olan mikrokalsitten oluştuğu saptanmıştır. Kalsit minerali; baskın sparitik kalsit olarak çimentoyu oluşturmaktadır. Yersel mikrit bulut ve yığınları gözlenmektedir. Rekristalize damar dolgusu ise çoğunlukla sparkalsit ve yersel dolomitik ve demir oksit dolgu şeklindedir (Flügel, 2004). Dolomit %10'luk kısmı oluşturmaktadır. Yaygın sparitik matrix içerisinde düzensiz şekil ve boyutlarda iç yapısız mikritize genellikle küçük pelloid taneleri, mikritik zarf ile çevrili sparkalsit ve dolomit dolgulu ooids ve muhtemel biyoklast iskeletleri bulunmaktadır. İnce uzun Bio-iskeletlerin bazıları mikritik ve sparitik kalsit dolguludur. Dolomit hem çimento ve iskelet dolgu bileşeni, hemde romb kristaller şeklinde yer almaktadır. Dolomit kristalleri zonlu yapı göstermektedir. Çeper kısımları temiz çekirdek kısımları ise kirli (inklüzyon içerikli) olarak gözlenmektedir. Genellikle sparkalsit ve yersel dolomit dolgulu ince çatlaklar gözlenmektedir. Çatlakların bazılarında demir oksit sıvamaları mevcuttur. Üçten fazla fazda gözlenen dolgulu çatlaklar, ortalama 25-1500 μm kalınlığındadır.

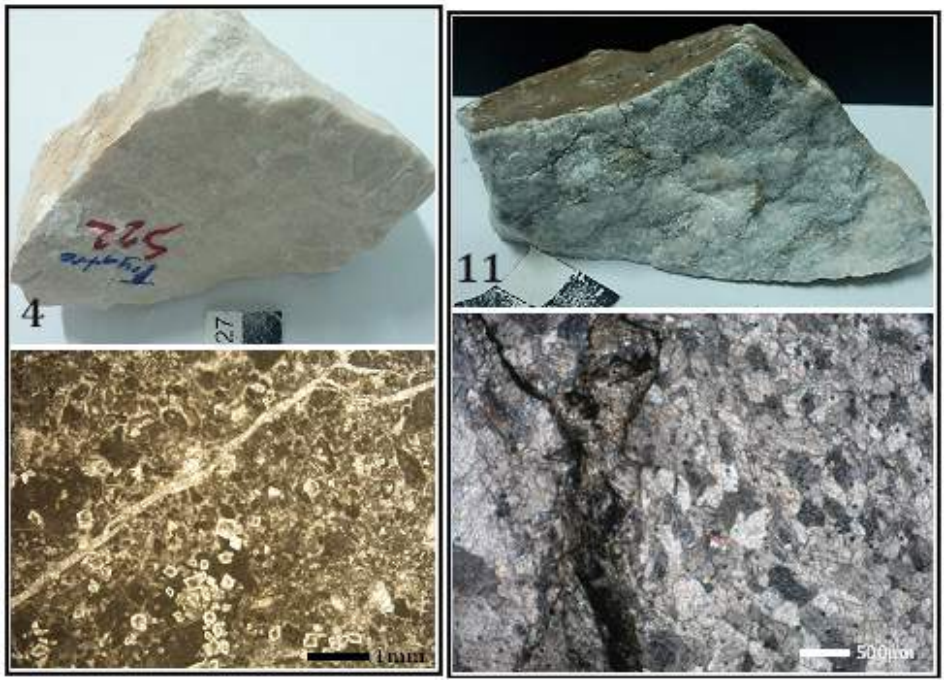
Bileşimsel Biyo-pelsparitik kireçtaşı (Folk,1962), bileşiminde olan doğaltaş, dokusal olarak, Algal- istiftaşı karakterindedir (Dunham,1962).Öz şekili dolomit kristalleri yaygın olarak gözlenen dolomitik kireçtaşı. Sagalasos antik kenti 11 nolu tip doğaltaş numunelerden tabakalanma yönü dikkate alınarak, dört adet ince kesit yapılmıştır. İnce kesitlerin, polarizan mikroskop altında yapılan detaylı incelemesinde, kayacın mineral parajenezini kalsit, kuvars, amfibol ve opak mineraller oluşturmaktadır. Kayacın % 98 oranında temel minerali olan kalsitten oluştuğu saptanmıştır. % 2 Aksesuvar minerali olarak, 25-150 μm boyutlarında mono ve polikristalin detritik kuvars, kloritleşmiş amfibol ve opak mineraller mecuttur.

Tane boyut dağılımı açısından farklı tane boyutlu (inequigranular) dur. Tane sınır geometrileri ise genel olarak eğrisel sınırlar (interlobate) en yaygındır. Mermerin dokusu içerisinde, yarı özşekilli (subhedral) kalsit kristalleri, özşekilsiz (unhedral), kristallerden oransal olarak daha baskındır. Grimsi-siyah gözlenen renkli düzeyler boyunca demir oksit sıvamaları mevcuttur. Kalsit tanelerinde karakteristik polisentetik ikizlenmeler gözlenmektedir.

Deformasyona bağlı olarak kalsit kristallerinde, uzama ve deformasyon ikizleri oluşmuştur. İç yapısı bozulmuş ikiz düzlemleri gözükmeyen tanelerde gözlenmektedir. Deformasyon kalsit kristallerinde yönlenmeye, sınır geometrilerinde bükülmelere ve kristallerin bozulmasına sebep olmuştur. 120^0 lik açı yapan

tane sınırları (triple point) çok azdır.

Kristalin mermer türü genel olarak monomineralik, heteroblastik dokuya sahiptir. Makro örnekte gözlenen yönlü yapı, ince kesitte kalsit kristallerindeki belirgin yönlenme ile paralellik göstermektedir (Şekil 13).



Şekil 13: Dolomitik kireçtaşı. Algal istiftaşı ve özşekilli dolomit kristalleri (tip 4/2x-TN), Beyaz renkli orta tane kristalin mermer (tip 11/4x-ÇN)

Tablo 2: Sagalasos kenti kristalin mermerlerin minerolojik-petrografik özellikleri

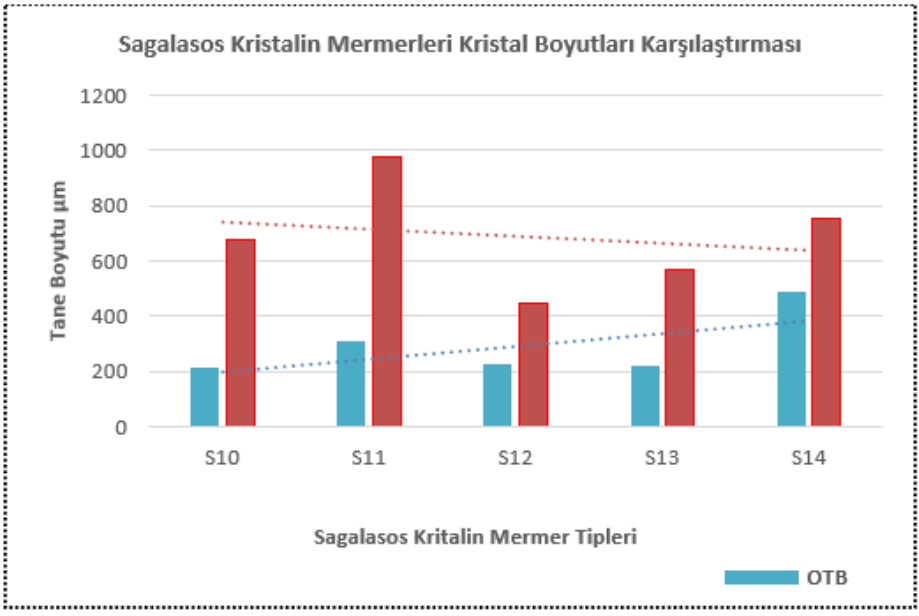
Kiristalin Mermer Türleri	Krital boyut dağılımı	Kristal sınır geometrisi	Kristal şekli	Doku tipi	Doku: sıklıkla görülen özellikler
10	Farklı tane boyut dağılımı	Eğrisel sınır	Özşekilsiz> Yarı özşekilli	HB	Monomineralik, %99 kalsit, %1 oranında ayrışmış amfibol, mika(klorit) ve opak mineral, polisentetik ikizlenme, kristallerde yönlenme, deformasyon ikizleri, 120^{o} lik (triple points) açıdan yaygın sapma, demir oksit sıvamaları monokromatik, ince kristal
11	Farklı tane boyut dağılımı	Eğrisel sınır	Yarı özşekilli> Özşekilsiz	HB	monomineralik, Kayacın % 98 kalsit,% 2 Aksesuvar minerali olarak, 25-150 µm boyutlarında mono ve polikristalin detritik kuvars, kloritleşmiş amfibol ve opak mineral, polisentetik ikizlenme, deformasyon ikizleri, kristallerde yönlenme,120^{o} lik (triple points) açı az, polikromatik, orta kristal
12	Farklı tane boyut dağılımı	Eğrisel sınır	Yarı özşekilli> Özşekilli	HB	Monomineralik, %100 oranında kalsit, polisentetik ikizlenme, kalın lameller, deformasyon ikizleri, kristallerde bozulma,120^{o} lik (triple points) açı var, beyaz monokromatik, ince kristal
13	Seriate	Eğrisel sınır	Özşekilsiz	HB	Polimineralik, % 99 oranında kalsit, % 1 Aksesuvar minerali olarak, detritik kuvars, kloritleşmiş amfibol ve opak mineral, demir oksit dolgu, kristallerde yönlenme ve bozulma, mikritik ve sparitik çimento, yassı, uzun rekristalize kalsitler ,polikromatik, orta kristal
14	Farklı tane boyut dağılımı	Eğrisel sınır	Yarı özşekilli> Özşekilli	HB	monomineralik, Kayacın % 100 kalsit, polisentetik ikizlenme, basınç çözünmesi ve deformasyon ikizleri, kristallerde yönlenme,120^{o} lik (triple points) açı var, monokromatik, orta kristal

3.4.3. Sagalasos Kristalin Mermerleri Kristal Boyutları

Sagalasos antik kentinde kullanılan doğaltaşların, bilgisayarlı görüntü analiz yöntemi kullanılarak ortalama ve maksimum tane boyutları belirlenmiştir. Örneklerinden ortalama 500 tane boyut ölçümü yapılmıştır. Tanelerin her iki yönde boyutları ölçülmüş olup, ortalama değerler kullanılmıştır. Ölçümler sonucunda Sagalasos antik kentinde kullanılan doğaltaşların ortalama tane boyutları, 215 µm ile 490 µm arasında, maksimum kristal boyutları ise 450 µm ile 980 µm aralığında olduğu saptanmıştır (Tablo 3). Tane boyutları grafik karşılaştırmasında ise doğaltaşların ortalama ve maksimum kristal boyutları bakımından farklı değerler gösterdiği farklı mermer türü oldukları belirlenmiştir (Şekil 14).

Tablo 3: Sagalasos kristalin mermerlerin kristal boyutları.

Sagalasos kristalin mermer tipleri	Kristal boyut ölçüleri (µm)	
	OTB	MTB
S10	215,28	680.10
S11	310,20	980,34
S12	225,53	450,14
S13	218.89	570,56
S14	490,17	756,47



Şekil 14: Sagalasos kristalin mermerlerin Ortalama tane boyutu (OTB) ve maksimum tane boyutu (MTB) karşılaştırma grafiği.
(S10, S11, S12, S13, S14: Sagalasos kristalin mermer tipleri).

Sagalasos antik kentinde kullanılan doğal taşlar mokro ve mikro petrografik özelliklerinin incelenmesi ile elde edilen verilere göre, tane boyut, köken ve doğaltaş türü tanımlamaları ile sınıflandırma ölçeği yapılmıştır (Tablo 4).

Tablo 4: Sagalasos antik kenti doğaltaş türleri.

Sagalasos Doğaltaş Tipleri	**Ortalama Tane Boyutu (OTB µm)**	**Kristal Boyut Sınıfı**	**Doğaltaş Türü**
A	**Sedimenter Köken**		
S1	<100	Çok İnce kristal	Beyazımsı- açık krem renkli **(light-bej)** Algal-Pelloidal istiftaşı özelliğinde ince kalsit damarlı kireçtaşı türü
S2	<100	Çok İnce kristal	Orta-koyu krem renkli **(medium-dark-bej)** Algal-Pelloidal istiftaşı özelliğinde ince kalsit damarlı kireçtaşı türü
S3	<100	Çok İnce kristal	Orta krem renkli **(medium- bej)** Onkoidal-Pelloidal istiftaşı özelliğinde ince –orta kalsit damarlı kireçtaşı türü
S4	<100	Çok İnce kristal	Açık krem renkli **(light-bej)** Algal istiftaşı özelliğinde Dolomitik kireçtaşı türü
S5	<100	Çok İnce kristal	Pembe, kırmızımsı-koyu kahve renkli Pelloidal istiftaşı özeliğinde stilolitik kireçtaşı türü
S6	<100	Çok İnce kristal	Açık pembemsi, pembe-açık kahve Yaygın çatlaklı Pelloidal vaketaşı özelliğinde noduler orta kalsit damarlı kireçtaşı türü
S7	<100	Çok İnce kristal	Açık krem ve kırmızımsı-kahve renkli İntraklastlı istiftaşı-tanetaşı özelliğinde breşik kireçtaşı türü
B	**Metamorfik Köken**		
S10	215,28	İnce kristal	İnce kristalli beyaz renkli kristalin mermer türü
S11	310,20	Orta kristal	Orta kristalli beyaz-gri renkli noduler kristalin mermer türü
S12	225,53	İnce kristal	İnce kristalli beyaz renkli kristalin mermer türü
S13	218.89	İnce kristal	İnce kristalli grimsi-beyaz renkli rekristalize mermer türü
S14	490,17	Orta kristal	Orta kristalli beyaz renkli kristalin mermer türü
C	**Magmatik köken**		
S8		Değişken	Porfiritik gri-siyah renkli traki-andezit
S9		Değişken	Grimsi renkli piroklastik trakitik tüf

3.5. Sagalasos Doğal Taşları Kimyasal Özellikleri

3.5.1 İndüktif Eşlemeli Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS)

Sagalasos antik kentinde kullanılan doğal taşların ICP yöntemi ile yapılan majör oksit ve iz elementleri kimyasal analiz sonuçları (Tablo 5) ve (Tablo 6) verilmiştir. Sagalasos antik kentinde kullanılan doğaltaşların major oksit kimyasal analizlerinde kristalin mermer türlerinde %CaO' içeriği 56.27-56.82 arasında, kireçtaşı cinsi mermer türlerinde, % 37.2-56.87 arasında değişmektedir. Ppm Sr içeriği ise aynı sıra ile 70-145 ve 117-213 arasında değişmektedir.

Tablo 5: Sagalasos doğaltaş türlerinin temel oksit kimyasal bileşimleri

ICP /%	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	MnO	Cr_2O_3
DL	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
S1	0,06	0,01	0,03	0,42	56,11	0,01	0,01	0,01	0,1	0,01	0,014
S2	0,04	0,01	0,04	0,35	56,87	0,01	0,01	0,01	0,07	0,01	0,002
S3	0,92	0,71	0,08	0,43	56,3	0,01	0,01	0,01	0,2	0,01	0,013
S4	1,16	0,01	0,03	8,9	55,21	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,015
S5	19,2	11,93	5,1	3,9	37,2	0,01	1,6	0,01	0,5	0,18	0,002
S6	2,5	0,61	0,2	0,2	56,49	0,01	0,03	0,01	0,15	0,01	0,014
S7	12,9	6,28	2,97	3,2	45,7	0,01	0,9	0,4	0,17	0,07	0,016
S10	1,47	0,4	0,05	2,1	56,27	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,013
S11	0,63	0,6	0,07	0,34	55,75	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,014
S12	1,1	0,74	0,05	0,2	56,28	0,01	0,02	0,01	0,3	0,01	0,014
S13	0,71	0,01	0,57	1,42	56,82	0,01	0,01	0,5	0,01	0,03	0,039
S14	0,82	0,01	0,32	0,3	56,35	0,01	0,01	0,1	0,01	0,01	0,002
S8	55,07	15,81	5,96	2,91	5,1	0,01	5,6	0,7	0,7	0,13	0,002
S9	54,33	10,97	5,12	2,31	6,9	0,01	3,5	0,6	0,34	0,11	0,002

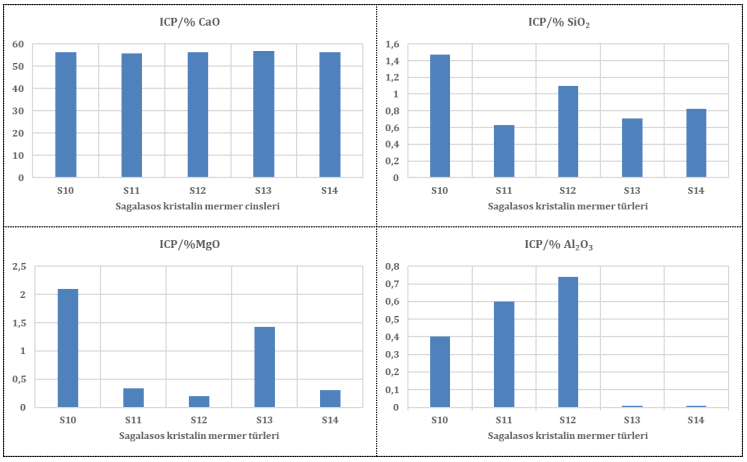
Tablo 6: Sagalasos doğaltaş türlerinin iz element kimyasal bileşimleri

ICP/ppm	Ba	Ni	Sr	Zr	Y	Nb	Sc	%LOI	%SUM
DL	5	20	2	5	3	5	1	-5.1	0.01
S1	5	20	145	7	4	8	1	43,1	99,97
S2	5	20	184	6	4	5	1	42,5	99,98
S3	5	20	166	7	7	7	1	41,2	99,99
S4	5	20	117	7	4	8	1	34,5	99,96
S5	5	120	114	10	20	10	1	20,3	99,99
S6	5	20	213	7	8	7	1	39,7	100.00
S7	5	60	131	13	6	15	1	27,3	99,98
S10	5	20	113	5	3	8	1	39,6	99,96
S11	5	20	70	5	5	5	1	42,4	99,95
S12	5	35	105	6	3	9	1	41,2	99,98
S13	5	20	128	5	5	5	1	39,8	99,99
S14	5	20	145	8	3	5	1	42,1	100
S8	5	20	4039	440	21	85	1	7,9	99,95
S9	5	30	4762	431	23	79	1	15,7	99,99

3

5.2. Sagalasos (ICP) kristalin mermer türleri kimyasal bileşimleri.

Sagalasos antik kenti kristalin mermer türlerinin oksit içeriklerinin karşılaştırma grafikleri (Şekil 15).

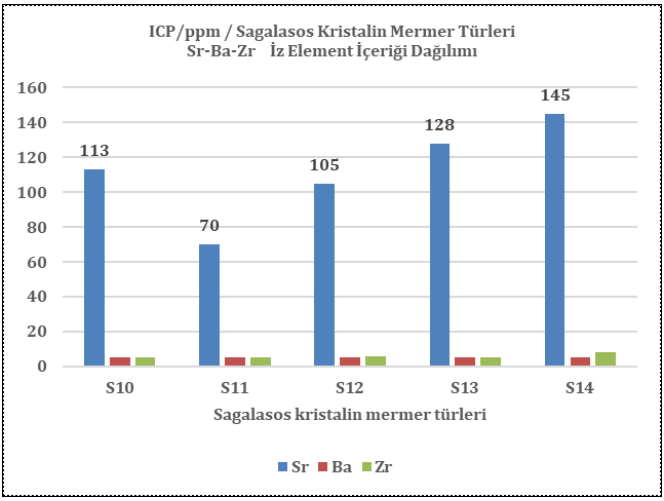


Şekil 15: Sagalasos kristalin mermer cinsleri oksit yüzde dağılımı karşılaştırması.

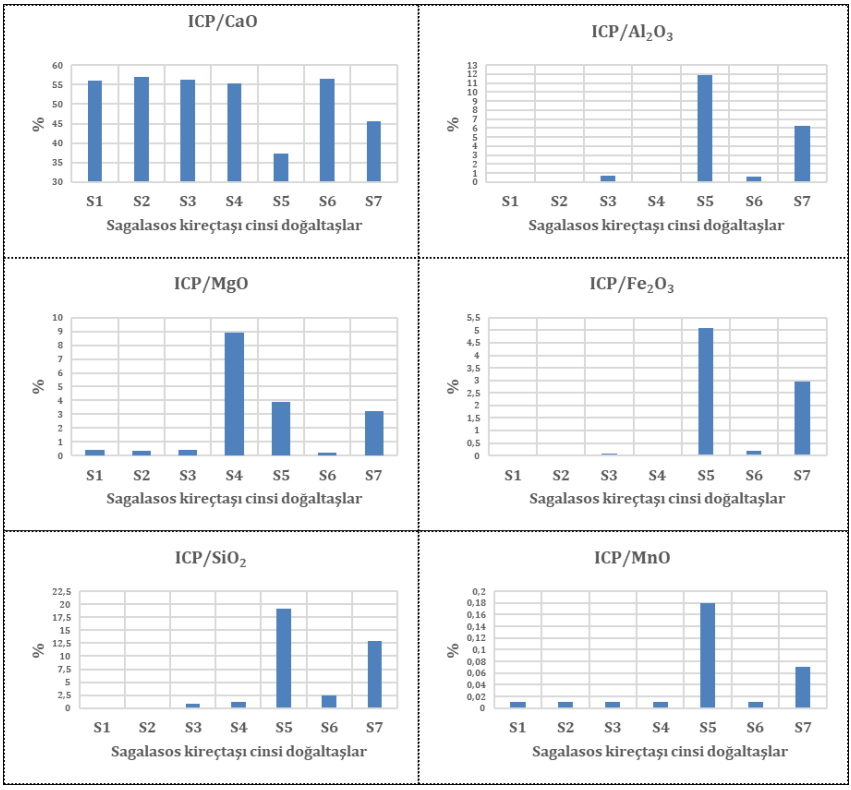
Sagalasos kristalin mermer türlerinin ICP-MS eser element analizlerinde Sr, Ba, Zr karşılaştırma grafikleri (Şekil 16).

3.5.3. Sagalasos (ICP) Kireçtaşı Türleri, Kimyasal Bileşimleri

Sagalasos antik kentinde kullanılan kireçtaşı türü mermerlerin majör oksit karşılaştırma grafiği (Şekil 17).



Şekil 16: Sagalasos kristalin mermer cinsleri iz element dağılımı karşılaştırması.



Şekil 17: Sagalasos kireçtaşı cinsi mermerlerin oksik dağılım karşılaştırması.

3.5.4. Sagalasos Portatif x-ray fluorescence Elementel Kimyasal Analizleri

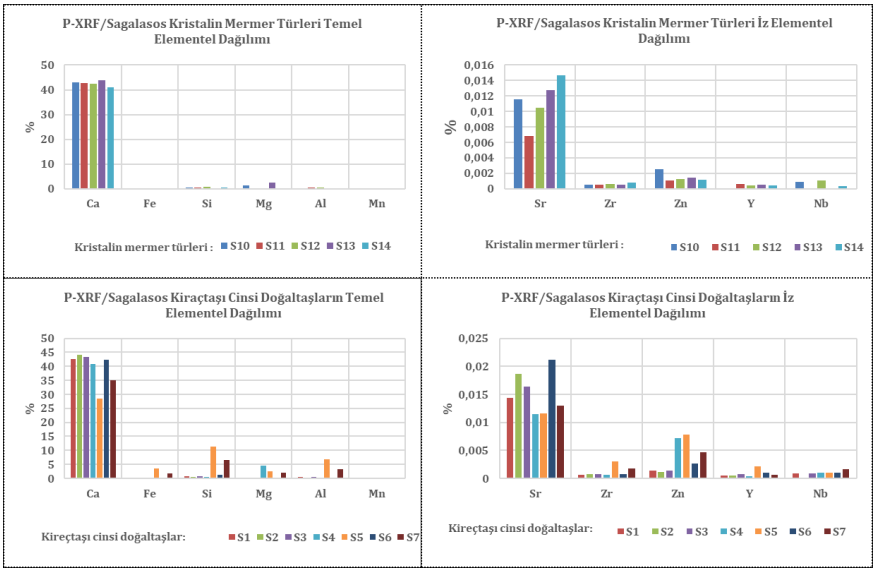
Sagalasos antik kenti örneklerinin P-XRF analiz sonuçları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7: Sagalasos antik kenti örnekleri P-XRF analiz sonuçları

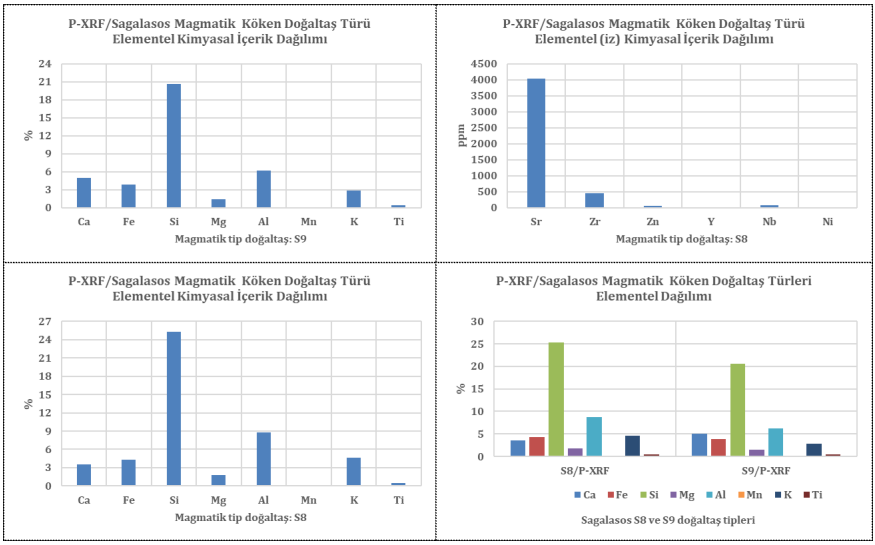
P-XRF/%	Ca	Fe	Si	Mg	Al	Mn
	Ölçüm sayısı S1-S14 Ortalama-14					
	Ortalama					
S1	42,608	0,0244	0,6799	0	0,49	0,00868
S2	44,1	0,01704	0,46	0	0	0,0064
S3	43,273	0,05773	0,66368	0	0,385	0,014056
S4	40,92	0,02972	0,5373	4,56	0,0053	0,007
S5	28,6	3,47	11,378	2,436	6,72	0,14
S6	42,36	0,141	1,348	0,091	0,362	0,0128
S7	34,99	1,8	6,483	1,98	3,21	0,06
S10	42,905	0,034	0,624	1,42	0,2	0,0074
S11	42,796	0,0469	0,632	0	0,37	0,0146
S12	42,398	0,0374	0,884	0	0,416	0,01208
S13	43,845	0,0348	0,343	2,39	0	0,0239
S14	40,995	0,0247	0,418	0	0	0,0078
S8	3,516	4,297	25,27	1,774	8,79	0,112
S9	5,02	3,827	20,594	1,445	6,218	0,0945

P-XRF/%	Sr	Zr	Zn	Y	Nb
S1	0,014425	0,00068	0,00141	0,000475	0,0009
S2	0,01865	0,00075	0,0011	0,00045	0
S3	0,016433	0,000734	0,001396	0,000738	0,0009
S4	0,0115	0,00069	0,007245	0,000425	0,00095
S5	0,0116	0,003	0,0078	0,00214	0,001
S6	0,0212	0,00072	0,0026	0,00095	0,00095
S7	0,013	0,0018	0,0047	0,000629	0,0016
S10	0,01153	0,00055	0,00256	0	0,0009
S11	0,00682	0,00056	0,0011	0,00064	0
S12	0,0105	0,00065	0,00126	0,0004	0,0011
S13	0,01278	0,00055	0,00144	0,00054	0
S14	0,0147	0,00082	0,0012	0,0004	0,0003
S8	0,4037	0,0444	0,0062	0,00215	0,008817
S9	0,4766	0,0436	0,0113	0,0023	0,00798

Sagalasos antik kentinde kullanılan kristalin mermer, kireçtaşı ve magmatik cins doğaltaşların p-xrf elementel ve iz element dağılımı karşılaştırma grafikleri (Şekil 18-19).



Şekil 18: Sagalasos kiristalin ve kireçtaşı cinsi mermerlerin elementel dağılım karşılaştırması.



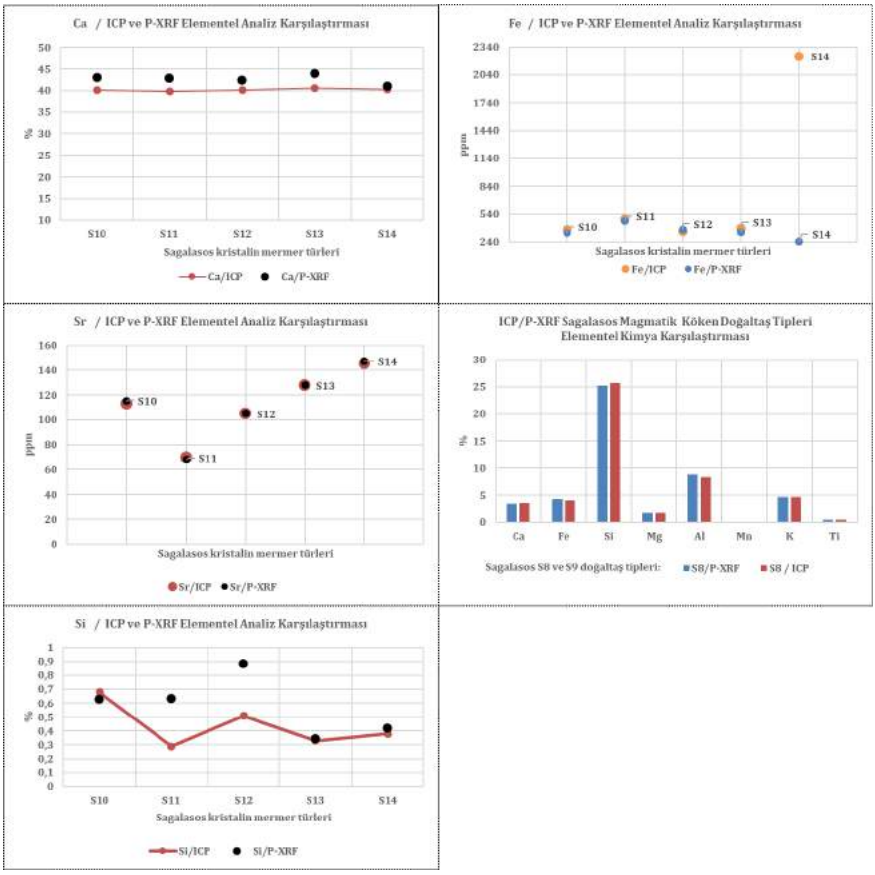
Şekil 19: Sagalasos magmatik doğaltaş türü mermerlerin elementel dağılım karşılaştırması.

3.5.5. Sagalasos Kristalin Türlerinde ICP-MS ve P-XRF karşılaştırması

Sagalasos doğaltaş türlerinin kimyasal bilişimlerini belirlemek için iki yöntem ICP-MS ve P-XRF kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 8'de verilmiş ve Şekil 20'de karşılaştırma grafikleri değerlendirilmiştir.

Tablo 8: Sagalasos kristalin mermer türleri elementel ICP ve P-XRF Ca değerleri

%	S10	S11	S12	S13	S14
Ca/ICP	40,17	39,8	40,18	40,56	40,23
Ca/P-XRF	42,905	42,796	42,398	43,845	40,995
Sr/ICP	113	70	105	128	145
Sr/P-XRF	115,3	68,2	105	127,8	147
Si/ICP	0,68	0,29	0,51	0,33	0,38
Si/P-XRF	0,624	0,632	0,884	0,343	0,418
Fe/ICP	375	490	350	390	2240
Fe/P-XRF	340	469	374	348	247



Şekil 20: Sagalasos doğaltaş türleri ICP-P-XRF elementel dağılım karşılaştırması.

4. Sonuç

Çalışması kapsamında, Sagalasos antik kentlerinde yaygın olarak kullanılan doğaltaş(lar)/mermer(ler); Makro, mikro-petrografik, kimyasal, litolojik veya kayatomik özellikleri, metodolojik olarak incelenmiştir. İncelemeler sonucunda elde edilen verilere göre, köken grup, doğaltaş cinsi, kristal boyutu ve doğaltaş türü tanımlamaları ile sınıflandırma ölçeği yapılmıştır (Tablo 9).

Sınıflandırmada kullanılan parametreler, köken grup; (köken grup tanımlamasında doğaltaş/mermer olarak mevcut kullanılan kayaç tipi değerlendirilmiştir) Metamorfik, Sedimenter ve Magmatik şeklindedir. Doğaltaş cinsi ise köken grup içerisindeki doğaltaşın kayatomik özelliği bakımından tanımlanması biçimindedir. Kristal boyutu, tene boyut ölçeğinde hangi aralıkta yer aldığı şeklindedir. Doğaltaş türü ise yazar tarafından yapılan yeni bir tanımlamadır. Burada doğaltaş aynı köken, aynı cins, aynı kristal boyutuna sahip olabilmesi nedeni ile ayırıcı detay özellikleri kullanılmıştır.

Tablo 9: Sagalasos antik kenti doğaltaş türleri sınıflandırma tablosu.

Sagalasos Doğaltaş Tipleri	Doğaltaş Köken Grubu	Doğaltaş Cinsi	Kristal Boyut sınıfı	Doğaltaş Türü
A				Sedimenter Köken
S1	Sedimenter	Kireçtaşı	İnce kristal	Beyazımsı- açık krem renkli **(light-bej)** Algal-Pelloidal istiftaşı özelliğinde ince kalsit damarlı kireçtaşı türü
S2	Sedimenter	Kireçtaşı	İnce kristal	Orta-koyu krem renkli **(medium-dark-bej)** Algal-Pelloidal istiftaşı özelliğinde ince kalsit damarlı kireçtaşı türü
S3	Sedimenter	Kireçtaşı	İnce kristal	Orta krem renkli **(medium- bej)** Onkoidal-Pelloidal istiftaşı özelliğinde ince –orta kalsit damarlı kireçtaşı türü
S4	Sedimenter	Kireçtaşı	İnce kristal	Açık krem renkli **(light-bej)** Algal istiftaşı özelliğinde Dolomitik kireçtaşı türü
S5	Sedimenter	Kireçtaşı	İnce kristal	Pembe, kırmızımsı-koyu kahve renkli Pelloidal istiftaşı özeliğinde stilolitik kireçtaşı türü
S6	Sedimenter	Kireçtaşı	İnce kristal	Açık pembemsi, pembe-açık kahve Yaygın çatlaklı Pelloidal vaketaşı özelliğinde noduler orta kalsit damarlı kireçtaşı türü
S7	Sedimenter	Breşik Kireçtaşı	İnce kristal	Açık krem ve kırmızımsı-kahve renkli İntraklastlı istiftaşı-tanetaşı özelliğinde breşik kireçtaşı türü
B				Metamorfik Köken
S10	Metamorfik	Mermer	İnce kristal	İnce kristalli beyaz renkli kristalin mermer türü

S11	Metamorfik	Mermer	Orta kristal	Orta kristalli beyaz-gri renkli noduler mermer türü
S12	Metamorfik	Mermer	İnce kristal	İnce kristalli beyaz renkli kristalin mermer türü
S13	Metamorfik	Mermer	İnce kristal	İnce kristalli grimsi-beyaz renkli rekristalize mermer türü
S14	Metamorfik	Mermer	Orta kristal	Orta kristalli beyaz renkli kristalin mermer türü
C				Magmatik Köken
S8	Magmatik	Hornblend Traki-Andezit		Porfiritik gri-siyah renkli traki-andezit
S9	Magmatik	Traki-Andezitik Tüf		Gri renkli piroklastik trakitik tüf

Çalışmada, doğaltaşların kimyasal analizleri için ICP-MS yönteminin yanında yeni bir yöntem olarak kapsamlı şekilde p-XRF (handheld portatif XRF/X-Ray Fluorescence Analyzers) kullanılmıştır. Bu yöntemle elde edilen kimyasal analiz sonuçları ICP-MS sonuçları ile karşılaştırılmış ve benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Sagalasos antik kentinde kullanılan doğaltaşlar 14 tür olarak belirlenmiştir. Sagalasos kristalin mermer türlerinin, üç türü ince, 2 türü ise orta kristal boyutuna sahiptir. İnce kristal boyutları 215-218 mikron, orta kristal boyutları ise ortalama 310-490 mikron arasında değişmektedir. Sagalasos antik kentinde kullanılan kireçtaşı cinsi mermer türleri, antik kentin yerleşim alanın kuzey sınırında geniş bir yayılım sunan, Akdağ neritik kireçtaşları içerisinde çok sayıda yer alan antik mermer oncakların sağlanmıştır. Antik kentin kuzeyinde gölcük volkanitleri, magmatik kökenli trakitik tür doğaltaş kaynağını oluşturmaktadır. Sagalasos antik kenti bulundukları yerleşme alanında depremler nedeni ile zaman zaman yıkımlarla karşı karşıya kalmışlardır. Jeotektonik açıdan, Sagalossos antik kenti GB- Anadolu'da Isparta Açısının batı kanadı üzerinde yer alır. Isparta Açısının batı kanadı Likya nap sistemlerini oluşturan allokton kaya birimleri tarafından üzerlenir. Bu çalışmanın konusunu oluşturan Sagalossos antik kenti, Likya napları içinde allokton bir kütle olan Akdağ kireçtaşı masifinin güney yamaçlarında kurulmuştur günümüzde halen aktif olan KB- gidişli Aksu bindirmesi ve buna eşlik eden aktif fay sistemleri, Sagalossos antik kentinin 10 km doğusundan geçer. Diğer taraftan GB-Anadolu'nun en aktif faylarından biri olan Fethiye-Burdur fay zonu, Sagalossos'un 20 km batısında yer alır. Antik kente MS. 518 ve 7. Yüzyılda büyük yıkımlar yaratan depremler, bu fay hatları ile ilgilidir.

Sagalasos antik kentlerinde kullanılan doğaltaş tür çeşitliliği bir arada değerlendirildiğinde, Antik kentler için ağırlıklı çevre jeoloji etkisinde bir mermer kullanımı belirlenmiştir. Sagalasos antik kentinde otokton kullanım yaygın olmakla birlikte, allokton mermer türü kullanımı tespit edilmiştir.

6. Referanslar

1. Abubakar, İ., Yağmurlu, F., 2017. İsparta Güneyindeki Tersiyer Kaya Birimlerinin Petrol Olanaklarının Araştırılması (GB-Türkiye), SDÜ Fen bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21(1), 38-50
2. Antik Bölgeler Arkeoloji Dünyası, Erişim Tarihi: 20.10.2016. http://www.arkeol olojidunyası.com/image/haritalar/karia.gif.
3. Dunham, R. J., 1962, Classification of carbonate rock according to depositional texture. In: Classification of carbonate Rocks. (Ed. W. G. Ham). Mem. Amer. Assoc. Petr. Geol., 1, 108-121.
4. Flügel, E., 2004, Microfacies of Carbonate Rocks Analysis, İnterpretation and Application, 281p, Berlin, Heidelberg.
5. Folk, R. L., 1962, Spectral subdivision of limestone types. In: Classification of carbonate Rocks (Ed. W. E. Ham). Mem. Amer. Assoc. Petr. Geol., 1, 62-64.
6. Hacımustafaoğlu, R., 2019. Afrodisia,Hierapolis ve Sagalassos Antik Kentlerinde Kullanılan Doğaltaşların Kökeni ve Bunların Petro-Kimyasal ve Fiziko-Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Batı Anadolu: Doktora Tezi. (yayımlanmamış), http://tez.sdu.edu.tr/Tezler/TF04489.pdf
7. Kamacı, Z., Özgür, N., Yağmurlu, F., ve Şentürk, M., 2009. Isparta Güneyinde Bulunan Kışla Dom Yapısının Jeolojik, Jeokimyasal ve Jeofiziksel İncelenmesi. Tübitak Projesi Final Raporu (106Y186), 81 s., Ankara.
8. Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), 2018. Yer Bilimleri Harita Görüntüleyicisi ve Çizim Editörü. Erişim Tarihi: 21.03.2018. http://www.yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx.
9. Passchier, C. W and Trouw, R.A., 1996, Microtectonics, Springer-Verlag, Berlin 1996.
10. Poisson, A., Yağmurlu, F., Bozcu, M., Şenturk, M. 2003. New insights on the tectonic setting and evolution around the apex of the Isparta Angle (SW Turkey), Geological Journal, 38, 257-282.
11. TS EN 12407/Ocak, 2002. Doğal Taşlar Deney Metodları Petrografik İnceleme.
12. Türkiye Cumhuriyeti Ağlasun Kaymakamlığı, 2015. Sağalasos Antik Kenti ile İlgili Bilgiler. Erişim Tarihi: 12.10.2015. http://Ağlasun.gov.tr/default_b0.aspx?=188
13. Uysal. K., Sagular, E.K., Görmüş, M., 2010. Toros Kuşağının İncisi Sagalasos, SDUGEO, e-dergi, 1(2), 18-24.
14. Yağmurlu, F., 1994. Isparta Güneyinde Yer Alan Tersiyer Yaşlı Türbiditik Birimlerin Fasiyes Özellikleri: Yerbilimleri Geosound, 24, 17-28.

✔ 16. Bölüm

GIDA SUÇLARI, İDARİ YAPTIRIMLAR ve ADLİ YARGI SÜRECİNDE BİLİRKİŞİLERİN ROLÜ

Sibel ÖZÇAKMAK[1]

1 Dr. Atakum İlçe Tarim ve Orman Müdürlüğü, Samsun, Türkiye e-posta: sibel.ozcakmak@tarimorman.gov.tr

1. GİRİŞ

2021 yılı 16 Ekim Dünya Gıda Günü etkinliklerinde FAO'nu belirlemiş olduğu "*Eylemlerimiz, geleceğimizdir–Daha iyi üretim, daha iyi beslenme, daha iyi çevre ve daha iyi yaşam*" teması çerçevesinde etkinlikler düzenlenmekte olup sağlıklı, güvenilir, verimli, kapsayıcı, dayanıklı ve sürdürülebilir tarımsal gıda sistemlerine dönüşümün desteklenmesi gerektiği, böylece gelecek nesillerin gıda güvenliği ve beslenmesi açısından önemi vurgulanmıştır.

Ülkemizde 2010 yılından günümüze değin uygulanmakta olan 5996 sayılı "*Veteriner Hizmetleri, Bitki Sağlığı, Gıda ve Yem Kanunu*" çerçevesinde resmi denetim ve controller yürütülmektedir. Gıda ve yemlerin gida güvenliğini sağlamak üzere birincil üretimden başlayarak, "tarladan çatala" gerekli şartlar bu kanun kapsamında değerlendirilmekte, insan ve hayvan tüketimine uygun olmayan gıda ve yemlerle ilgili aykırılığa göre idari yaptırımlar uygulanmaktadır.

Gıda suçları, gıdanın temel özelliğini veren bileşenlerinde *değişiklikler yaparak değersiz bir bileşen kullanılması ve değerli gibi satılması (tağşiş;* zeytinyağına pamuk yağı gibi uygun fiyatlı yağların ilavesi gibi*)* veya ürünlerin, şekil, bileşim ve nitelikleri itibarıyla *yapısında bulunmayan* özelliklere sahip gibi veya başka bir ürünün aynısıymış gibi göstererek (taklit; domatesli soslu ürünü görsel olarak sunumunda veya etiket bilgisinde *salça görünümü vererek satması gibi*) piyasaya arz edilmesi yolu gerçekleşmektedir. *T*aklit-tağşiş yapıldığı kesinleşen işletmeye 5996 sayılı kanunun ***40.maddesinin 1 bendine*** göre (***24/4'üne aykırılık***) işlem yapılmaktadır (*idarî para cezası, ürünlere el koyma, mülkiyetin kamuya geçirilmesi, ürünleri üreten veya piyasaya arz edenler hakkında halk sağlığına karşı suçlar kapsamında Cumhuriyet Savcılığına suç duyurusu*). İnsan sağlığını tehlikeye düşürecek şekilde bozulmuş, değiştirilmiş gıdaları (tağşiş) üreten ve/veya satan firmalara ait tüm bilgiler kamuoyu ile paylaşılmakta ve ifşa edilmektedir. (***Madde 31/6***).

Gıda suçları, 5237 sayılı Türk Ceza Kanunu (TCK)'nun 185, 186 ve 187'nci maddelerinde yer alan suçlardır. Kanunun;

- ✓ *185'inci maddesinde "**Zehirli madde katma**" suçu,*
- ✓ *186'ncı maddesinde "**Bozulmuş (Gıda zehirlenmeleri) veya değiştirilmiş gıda (taklit-tağşiş; veya ilaçların ticareti**" suçu,*
- ✓ *187'nci maddesinde ise "**Kişilerin hayatını ve sağlığını tehlikeye sokacak biçimde ilaç yapma veya satma**" suçu düzenleme altına alınmıştır.*

Gıda suçlarına ilişkin açılan davalarda adli yargılamalarda Gıda Suçlarıyla İlgili Teknik Bilirkişi Raporları dava sürecine önemli düzeyde etkili olmaktadır. Mahkeme sürecinin uzun yıllar alması uygunsuz faaliyet gösteren işletmeleri cesaretlendirmekte ve haksız rekabete dolaylı olarak fırsat vermektedir. Dolayısı ile *adli yargı sürecinin olabildiğince kısa süre içerisinde sonuçlanması ve uygulanan cezai işlemlerin caydırıcı nitelikte olmasında, mesleki yeterliliği olan meslek mensuplarının bilirkişi olarak görevlendirilmesi önemli rol oynamaktadır.*

2. GIDA SUÇLARINA İLİŞKİN İDARİ YAPTIRIMLAR

Gıda ve yem işletmecisinin ürettiği, işlediği, ithal ettiği, satışını veya dağıtımını yaptığı bir ürününün, gıda ve yem güvenilirliği şartlarına uymadığının tespit edilmesi halinde, ilgili kanunun 40. ve 41. maddelerine (Gıda ve Yem ile ilgili yaptırımlar) göre cezalar uygulanmaktadır.

Global gıda tedarik zincirinde *sürdürülebilir gıda güvenilirliğini* derin şekilde etkileyen gıda suçlarının giderek artan sorun oluşturması ***mevcut yasal düzenlemelerin, cezai ve hukuki sorumlulukların yeniden gözden geçirilmesine yol açmış, 04 Kasım 2020 Tarihli ve 31294 Sayılı Resmi Gazetede yayımlanan "7255 sayılı Gıda, Tarım ve Orman Alanında Bazı Düzenlemeler Yapılması Hakkında Kanun" ile taklit-tağşiş konusunda idari yaptırımlarda daha ağır uygulamalar getirilmiştir***

TCK 186 ve 187. maddelerinde yer alan gıda suçlarına ilişkin (Bozulmuş (*Gıda zehirlenmeleri*) veya değiştirilmiş gıda (*taklit-tağşiş; veya ilaçların ticareti*) ***5996 sayılı gıda kanuna göre uygulanan yasal işlemler,*** 28/10/2020-7255 sayılı kanunun 29. ve 30. maddeleri ile aşağıdaki şekilde değiştirilmiştir:

1. ***40/a: 28.10.2020-7255 sayılı kanun/30.maddesine göre; Değişiklik: İnsan tüketimine uygun olmayan gıdalar*** (hayatını ve sağlığını tehlikeye sokacak gıdalar), masrafları sorumlusuna ait olmak üzere piyasadan toplatılır ve mülkiyeti kamuya geçirilerek imha edilir. Bu gıdaları üreten, ithal eden, kendi adı veya ticari ünvanı altında piyasaya arz eden gıda işletmecilerine bir yıldan beş yıla kadar hapis ve bin günden beş bin güne kadar adli para cezası verilir. 3 yıl içinde fiilin tekrarı halinde işletmelere 5 ve 10 yıl arası faaliyetten men edilir.
2. **24/4: *28.10.2020-7255 sayılı kanun/29.maddesine göre; Değişiklik: Ek cümle:*** Taklit ve tağşiş yapılmış ürün işleme tabi tutulamaz, piyasaya arz edilemez.

Eski 40/l: 24/4'üne aykırı olarak taklit ve tağşiş yapanlara otuz bin dörtyüz onaltı Türk Lirası (2021 yılı) idarî para cezası verilir, taklit ve tağşiş edilmiş ürünlere el konulur ve mülkiyetinin kamuya geçirilmesine karar verilir.

Güncel İdari Yaptırım: 40/l: 24/4'üne aykırı olarak taklit veya tağşiş yapılan gıda veya yemlere el konulur. Ürünler masrafları sorumlusuna ait olmak üzere piyasadan toplatılır. Piyasaya arz amacı dışında değerlendirilmesi mümkün olmayan ürünler işletmecisi tarafından Bakanlık gözetiminde imha edilir veya ettirilir. Piyasaya arz amacı dışında değerlendirilmesi mümkün olan ürünlerin mülkiyetinin kamuya geçirilmesine karar verilir. Taklit veya tağşiş yapılan gıda veya yemleri;

1) Üreten, ithal eden veya kendi adı veya ticari unvanı altında piyasaya arz eden gıda veya yem işletmecisine **ellibin Türk lirasından**,
2) İzlenebilirliğini sağlamadan piyasaya arz eden perakende gıda veya yem işletmecisine **beşbin Türk lirasından**, aşağı olmamak ve **beşyüzbin Türk lirasını geçmemek kaydıyla**, fiilden bir önceki mali yıl sonunda

oluşan veya bunun hesaplanması mümkün olmazsa fiil tarihine en yakın mali yıl sonunda oluşan yıllık gayri safi gelirlerinin yüzde biri oranında idari para cezası verilir. Fiilin üç yıl içinde birinci kez tekrarlanması durumunda üreten, ithal eden veya kendi adı veya ticari unvanı altında piyasaya arz eden gıda veya yem işletmecisine yukarıda belirtilen idari para cezalarının alt ve üst sınırları bir katı artırılarak uygulanır. Fiilin aynı süre içinde ikinci kez tekrarlanması durumunda, üreten veya ithal eden gıda veya yem işletmecisine bin günden üçbin güne kadar adli para cezası verilir ve gıda veya yem işletmecisi beş yıldan on yıla kadar bu sektördeki faaliyetinden men edilir. Fiili üç yıl içinde ikinci kez tekrarlayan kendi adı veya ticari unvanı altında piyasaya arz eden gıda veya yem işletmecisine ise ikiyüzbin Türk lirasından az olmamak ve iki milyon Türk lirasını geçmemek kaydıyla, fiilden bir önceki mali yıl sonunda oluşan veya bunun hesaplanması mümkün olmazsa fiil tarihine en yakın mali yıl sonunda oluşan yıllık gayri safi gelirlerinin yüzde biri oranında idari para cezası verilir.

3. GIDA SUÇLARINA İLİŞKİN ADLİ YARGI SÜRECİ VE BİLİRKİŞİLERİN ROLÜ

2011 yılında yayımlanan 6100 Sayılı Hukuk Muhakemeleri Kanununda, Hakimin çözümü hukuk dışında özel veya teknik bilgiyi gerektiren hususlarda bilirkişiden yararlanabileceği hüküm altına alınmaktadır. Kanunun 266. maddesinde Bilirkişiliğe başvurulması gereken durumlar belirtilmiştir. Bu kapsamda mahkeme, çözümü hukuk dışında, özel veya teknik bilgiyi gerektiren hâllerde, taraflardan birinin talebi üzerine yahut kendiliğinden, bilirkişinin oy ve görüşünün alınmasına karar vermekte, 273.maddesine göre Bilirkişinin görev alanı belirlenmekte, 279. maddesine uygun şekilde bilirkişi tespiti ve raporlarını mahkemeye sunmaktadır. Mahkeme, bilirkişi raporundaki eksiklik yahut belirsizliğin tamamlanması veya açıklığa kavuşturulmasını sağlamak için, yeni sorular düzenlemek suretiyle bilirkişiden, ek rapor talep edebilmektedir. Bilirkişilik kanununa göre uygun şartları taşıyan (*örneğin; Bilirkişilik temel eğitimini tamamlamak, uzmanlık alanında en az 5 yıl fiilen çalışmış olmak ya da daha fazla çalışma süresi belirlenmiş ise bu süre kadar fiilen çalışmış olmak, Bilirkişilik temel ve alt uzmanlık alanlarına göre belirlenen yeterlilik koşullarını taşımak gibi*) meslek mesupları Teknik Bilirkişi olarak görevlendirilmektedir.



Şekil 1. Gıda kaynaklı vaka/salgın şikayeti bildirimi

Tarım ve Orman İl/İlçe Müdürlüklerine gelen Gıda Kaynaklı vaka/salgın ihbar ve şikayetleri "*Gıda Kaynaklı Hastalıklara İlişkin Resmi Kontrol Prosedürüne* göre yürütülmektedir. İl/ilçe Tarım ve Orman Müdürlüğü, TCK'nın kamu sağlığına karşı suçlar hükmünün bulunması ihtimaline karşın *cumhuriyet başsavcılığına suç duyurusunda* bulunmakta ve Cumhuriyet Başsavcılığından gelecek karar doğrultusunda işlem yürütmektedir. Savcılık ve mahkeme tarafından idari para cezası kararı verilip verilmediği hususunun takibinin yargılamaya müdahil olacak İl Müdürlüğü avukatları tarafından idari yaptırım konusunda yetkili birim ile koordinasyon halinde takip edilmektedir.

Gıda suçlarıyla ilgili teknik bilirkişi raporları talep edildiğinde, temel ve alt uzmanlık alanlarına göre gelişim faaliyetleri ve akademik çalışmaları ile mesleki yeterliliği olan meslek mensuplarının rol alması, adli yargı sürecinin olabildiğince kısa süre içerisinde sonuçlanması ve uygulanan cezai işlemlerin caydırıcı nitelikte olmasında önemli rol oynamaktadır. Gıda endüstrisi bilirkişilik alt uzmanlık alanları ***22 ana başlık*** altında toplanmıştır (Alkollü ve Alkolsüz İçecek Üretimi, Bal Polen Ari Sütü Temel Petek Üretimi, Biyoteknolojik ve Fermente Gida Maddeleri Üretimi, Doğal Mineralli Su ve Kaynak Suyu Üretimi, Et ve Et Ürünleri Üretimi, Gida Katki Maddeleri ve Baharat Üretimi, Gida İle Temas Eden Madde ve Malzemelerin Üretimi, Gida Ürünlerinin Kalite Kontrolü, Mikrobiyolojik Kimyasal ve Fiziksel Analizi, Gida Ürünlerinin Taşinmasi Depolanmasi Satişi, Hazir Yemek Tabldot Yemek Meze Üretimi, Kuruyemiş ve Bakliyat Üretimi, Meyve Sebze ve Karişimlarini İçeren Gida Maddeleri Üretimi, Özel Beslenme Amaçli ve Takviye Edici Gida Üretim, Su Ürünleri Üretimi, Süt ve Süt Ürünleri Üretimi, Şeker Ve Şekerleme Ürünleri Üretimi, Un ve Unlu Mamüller İle Hububat Mamulleri Üretimi, Yağ Üretimi, Yumurta ve Yumurta Ürünleri Üretimi, Gida Sanayi ve Gida Kontrolü, Gida Endüstrisinde Yardimci İmalat, Bakim Onarim ve Ticaret).

Ülkemizde kayıt ve onaya tabii gıda işletmelerinin **faaliyet alanları halen 174 adettir.** Bunların içerisinde ***onaya tabii olanlara örnek olarak***; Et Ürünleri Işleyen Işletmeler, Kıyma_Hazirlanmiş Et Karişimlari ve Mekanik Olarak Ayrilmiş Et Üreten Işletmeler, Kanatlı Eti Ve Tavşanımsı Eti Üreten İşletmeler, Balikçilik Ürünleri Işleyen Işletmeler, Çiğ Süt Ve Süt Ürünleri Işletmeleri, Yumurta ve Yumurta Ürünleri Işletmeleri, ***kayda tabii olanlara örnek olarak***; entegre fındık, fıstık ve benzeri ürünleri işleme, içecek tozu üretimi, Sıvı ve katı bitkisel yağ üretimi, Zeytinyağı üretimi (yağhaneler hariç), Şeker üretimi (paketleme hariç), Hazır çorba ve bulyon, puding, toz karışımlar, mayonez, sos ve benzeri üretimi, Alkolsüz içecek üretimi, Hububat ve bakliyat üretimi,Yağhaneler ve yağ dolumu, Makarna ve irmik üretimi, Un üretimi, Ekmek ve ekmek çeşitleri üretimi, Unlu mamuller üretimi, Bulgur üretimi, Şeker paketleme, Pasta, börek, hamur ve sütlü tatlılar gibi her türlü pastacılık ürünleri üretimi, Şekerleme üretimi, Tahin, helva ve pekmez üretimi, Hazır yemek, tabldot yemek üretimi verilebilir.



4.SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Kamunun sağlığına ilişkin suçlar kapsamında açılan davalarda adli yargılamalarda Bilirkişi Raporları dava sürecine önemli düzeyde etkili olmaktadır. Mahkeme sürecinin uzun yıllar alması uygunsuz faaliyet gösteren işletmeleri cesaretlendirmekte ve haksız rekabete dolaylı olarak fırsat vermektedir. Suç işleyenlere karşı açılan davalarda adli yargılamaların, zaman aşımına uğramadan neticelenmesi sağlanmalıdır. Bu süreçte, *Bilirkişi Raporlarının* dava sürecine önemli etkisi olacağından, *Gıda Mevzuatına* hakim meslek mensuplarının "Bilirkişi" olarak görevlendirilmesi de davanın seyri ve meslek etiği açısından önem arz etmektedir. Hukuksal süreçlerin zaman aşımına uğramadan ve doğru kararla sonuçlanması önemlidir. Emsal teşkil edecek kararlar sayesinde, gerçekten tüketici sağlığına öncelik vererek üretim yapan işletmelerin yaşadığı haksız rekabetin de önüne geçilmesinde etkili olacaktır.

Referanslar

1. Özçakmak S., Bostan A. ve Türkmen S., 2021. Academic Research For Sustainability–I. Editör: Dr. Cengiz Kahraman, 17. Bölüm: Kamuoyu Duyuruları Konusunda Tüketici Profili ve Yasal Yaptırımlar, s. 239-264. ISBN 978-605-74067-5-0. Birinci Basım: Ekim – 2021. Ofset Hazırlık: Artikel Akademi.

2. Akkemik Y., Bedir T.B., Güner A., Paksoy Ö.İ., Nizamlıoğlu A., Özçakmak S., Yılmaz T. ve Yörük N.G., 2021**.** Gıda Güvenliği ve Güncel Uygulamalar: Bölüm 4: Personel Hijyen Gereklilikleri, Editör: Prof. Dr. Ahmet GÜNER, Sidaş Medya Ltd. Şti., ISBN NO: 978-605-5267-80-3. Baskı tarihi: 1. Baskı Mayıs 2021. Yayın No: 085-1B, s. 103-114, İzmir.

3. Anonim, 2010. 5996 Sayılı Veteriner Hizmetleri, Bitki Sağlığı, Gıda ve Yem Kanunu, https://www.mevzuat.gov.tr

4. Anonim, 2011. Gıda ve Yemin Resmi Kontrollerine Dair Yönetmelik, https://www.mevzuat.gov.tr

5. Anonim, 2013. Gida kaynakli Enfeksiyon ve Zehirlenmelere Ilişkin Resmi kontrol prosedürü (01/04/2013 Tarih Ve 1790/11680 Sayılı Talimat).

6. Anonim, 2020a. Gıda, Tarım ve Orman Alanında Bazı Düzenlemeler Yapılması Hakkında 7255 sayılı Kanun. 04.11.2020 tarih ve 31294 sayılı Resmi Gazete. https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/11/20201104-5.pdf

7. **Özçakmak, S.** ve Var I., **2020.** Yasal Mevzuat Çerçevesinde Gıda Güvenliği (Revize). Basım Yılı: Ocak, 2020, Sidaş Yayınları, ISBN: 978-605-5267-50-6. Yayın No. 062-2B. https://www.nobelkitabevi.com.tr/gida/17335-yasal-mevzuat-cercevesinde-gida-guevenligi-9786055267506.html

8. Türkmen S. ve Ataseven, Y., 2020. Türkiye'de Taklit ve Tağşiş Yapılan Gıdalara İlişkin Yasal Düzenlemelerin ve Uygulamaların Değerlendirilmesi. TEAD, 6(1):65-75.

✔ 17. Bölüm

ÜLKEMİZDE PETROL VE DOĞALGAZ HATLARINDA GALVANİK ANOTLU KATODIK KORUMAYA YÖNELİK ÇALIŞMALAR

Tayfun KARAGÖZ[1]

İsmail TOPÇU[2]

1 Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Alanya/Antalya

2 Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Alanya/Antalya

GİRİŞ

Korozyon günümüzün ilerleyen sanayi ve teknolojik faaliyetler ve enerji sektörü açısından istenmeyen, oluşumu bir anda belli olmayıp zaman içerisinde etkisini gösteren ve geri dönüşü olmayacak tahribatlara yol açacak bir durumdur. Malzemelerde gerçekleşen korozyon olayı önlemler alınmaz ise ülke ekonomisine verdiği zarar ve enerji kaybı giderek artarak geri dönüşü mümkün olmayan sonuçlar yaratacaktır. Özellikle petrol ve doğalgaz hatlarında ülkelerin ekonomik koşullarını etkileyici düzeyde zarar verebilmektedir.

Korunması sağlanacak olan metal yapıya sahip petrol ve doğalgaz hatları galvanik anotlu katodik koruma sistemlerinde korunması için bu metal yapıdan daha negatif bir potansiyele sahip olan bir metal anot olarak bağlanarak galvanik bir pil hücresi gerçekleşmesi sağlanır. Böylelikle metal yapıya sahip malzeme katot şekline getirilir. Galvanik anotlar, bulunduğu korozif ortamda pozitif iyonlar şeklinde ayrışarak akım üretmeye yarayan elektrotlardır.

Galvanik anotlar zemin altında kendiliklerinden ayrışarak tıpkı pile benzer bir akım açığa çıkartırlar. Galvanik anot olarak bağlanan metalin spontane gelişen yükseltgenme tepkimesiyle ayrışmanın ardından ortaya çıkan elektronlar, bağlantı elemanıyla korunan sisteme taşınır ve katodik tepkimeyi yürütecek elektronları yükler. Oluşan bu akım sayesinde korunan sistem yüzeyinde oluşabilecek tüm anodik tepkimelerin önüne geçilerek korozyon olayı engellenmiş olur.

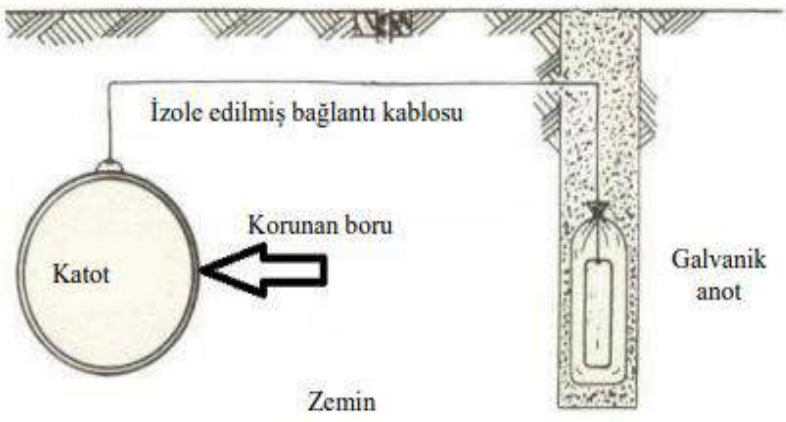
Sistemi korozyondan korumak için tek bir ya da birkaç galvanik anot yetmeyebilir. Bu durum tamamen korunacak yapının büyüklüğüne ve akım ihtiyacına bağlı olarak değişecektir.

Boru hattı güzergâhının bulunduğu toprağın rezistivitesine bağlı olarak, korunacak olan sisteme yakın elektrik hattı bulunmaması ya da enterferans etkinin yoğun şekilde bulunduğu güzergâhlarda dış akım kaynaklı katodik koruma sistemi kullanılmaz aynı zamanda bu mesafe için kurulum maliyeti yüksektir. Deneysel çalışmanın yapıldığı boru hattı Pe kaplı ve birleştirme işlemleri ise elektrik ark kaynağı ile gerçekleştirilmesi muhtemeldir. Katodik olarak korunacak olan boru hattı uzunluğu 1000 metre ve 6” çapında olacak şekilde hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Boru hattı karakteristik özelliklerinden dolayı deneysel çalışmanın yapıldığı boru hattında galvanik anotlu katodik koruma sistemi prosedürleri uygulanır.

Deneysel olarak çalışılan örnek galvanik anotlu koruma sistemi projesi TS 9234 ve TS 5141 standartlarına uygun olarak hesaplanacaktır. Galvanik anotlu katodik koruma sistemini uygulayabilmek için, borunun uzunluğu, borunun çapı, borunun kaplama türü, borunun et kalınlığı, katodik koruma sisteminin ömrünün bilinmesi gerekmektedir. Boru toprak potansiyeli anottan en uzak noktada Cu/CuSO4 referans elektrotuna göre minimum –850 mV veya bu değerden daha negatif olmalıdır. Toprağın karakteristik özelliklerine göre AZ3 ve H.pot magnezyum anotların ölçüm değerleri kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilecektir.

Korunması sağlanacak olan metal yapıya sahip petrol ve doğalgaz hatları galvanik anotlu katodik koruma sistemlerinde korunması için bu metal yapıdan

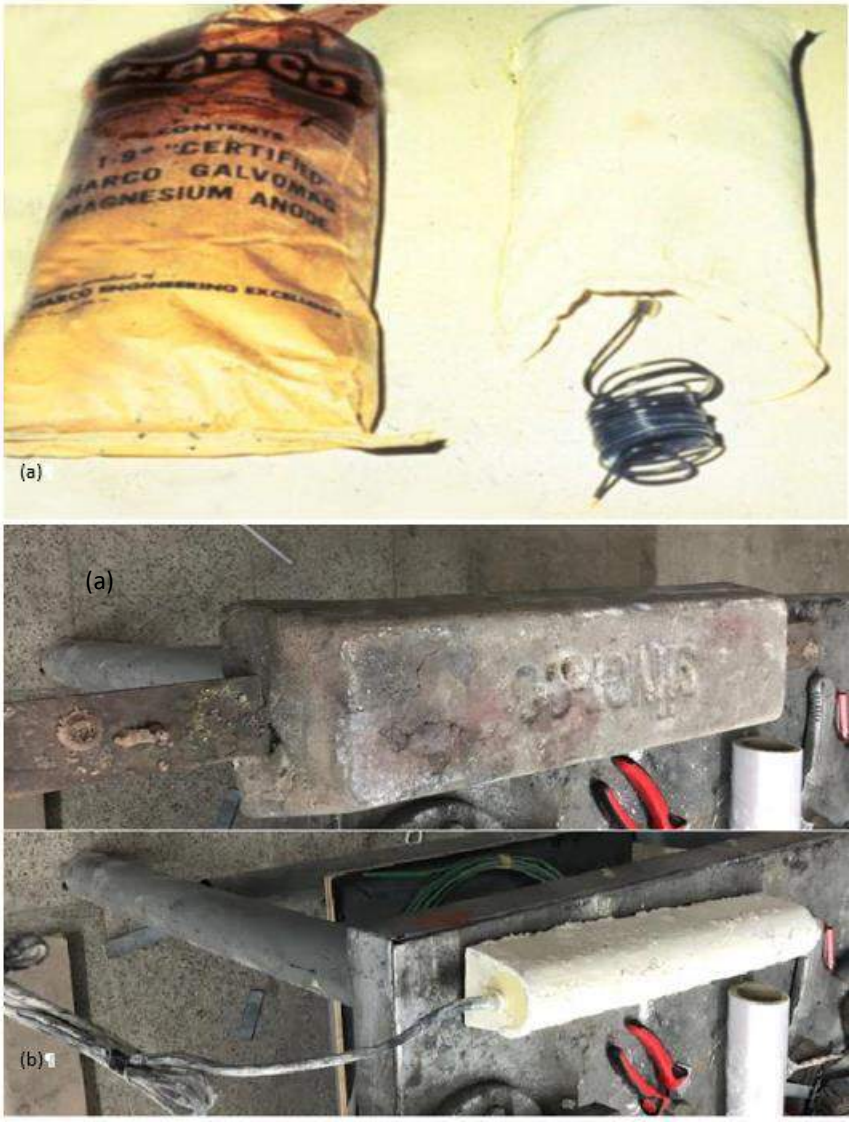
daha negatif bir potansiyele sahip olan bir metal anot olarak bağlanarak galvanik bir pil hücresi gerçekleşmesi sağlanır. Böylelikle metal yapıya sahip malzeme katot şekline getirilir. Galvanik anotlar, bulunduğu korozif ortamda pozitif iyonlar şeklinde ayrışarak akım üretmeye yarayan elektrotlardır (Koç ve diğerleri, 2004).



Şekil 1. Galvanik anotlu katodik koruma sistem mekanizması

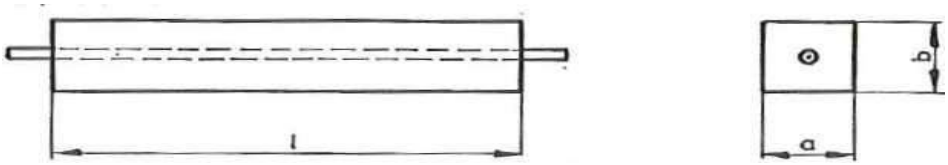
Galvanik Anot Çeşitleri

Magnezyum (Mg) anotlar: Akaryakıt, su, atık su, doğalgaz boru hatları ve LPG tanklarında katodik koruma işleminin gerçekleştirilmesinde kullanılan galvanik anot çeşitidir. Galvanik anot türleri arasında geniş kullanım yelpazesine magnezyum anotlar sahiptir. Mg anot çeşitleri Şekil 2'de gösterilmiştir.



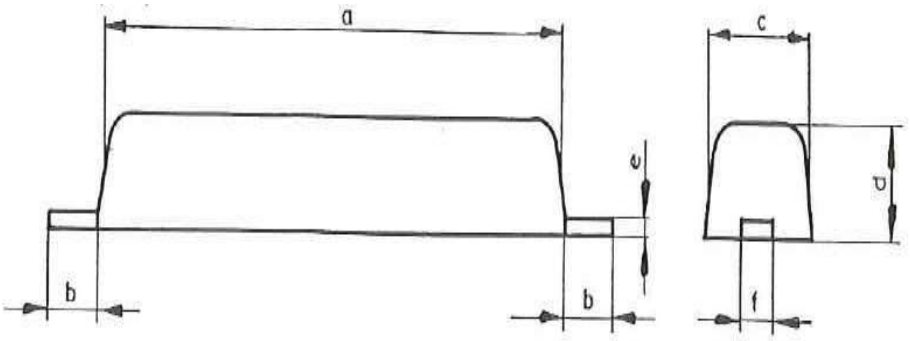
Şekil 2. Magnezyum anotların çeşitleri
(a) torba tipi Mg anot **(b)** D tipi H.pot Mg anot

Çinko (Zn) anotlar: Galvanik anot cinslerinden çinko anotlar korozif ortamın özgül direncinin 1000 Ohm.cm' den daha az olan tuzlu su, tatlı su ve toprak zemin içindeki demir ve çelik boru yapılarının katodik koruması yapılırken bu galvanik anot cinsi kullanılabilir (Mutlu, 2010).



Şekil 3. Zemin altında kalan çinko anot profili

Alüminyum (Al) anotlar: Alüminyum anotlar özgül direnci 2000 Ohm.cm den daha az olan deniz suyu veya Cl iyonu ihtiva eden ortamlardaki demir ve çelik boru sistemlerinin katodik olarak korunması için kullanılırlar (Üneri, 2000).



Şekil 4. Alüminyum anot profili

YÖNTEM

Zemin Rezistivitesinin (Özgül Direncinin) Belirlenmesi

Her kilometre başına 1,6 metre ve 3,2 metre derinlikte wenner 4 elektrot yöntemi kullanılarak rezistivite değerleri toprak meğeri olarak adlandırılan elektriksel devre direnci ölçen ölçü aleti ile ölçülür (Odabaşı, 2004).



Şekil 5. Toprak meğeri

Zemin pH Değerinin Belirlenmesi

Her 1 kilometre başına alınan toprak zemin numuneleri pH metre denilen alet ile ölçülerek pH değerleri bulunur.



Şekil 6. pH metre

Zemin Redoks Potansiyelinin Belirlenmesi

Bir toprak zemin içerisinde anaerobik korozyon oluşum durumunun gerçekleşip gerçekleşmeyeceğini, arazinin redoks potansiyelini ölçmek ile anlamak mümkündür.

Zeminin redoks potansiyeli, zemin içerisine daldırılan platin elektrotunun bakır/bakır sülfat referans elektrotuna göre potansiyel değeri ölçülerek aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$Ered = Ep + E + 60\ (pH - 7)$$

Boru Hattı Kaplaması ve Akım ihtiyacı Hesap Yöntemi

Boru hattının kaplama cinsine bağlı olarak katodik koruma ömrü ve toprak rezistivitesine göre ihtiyaç duyulan akım belli olur.

Tablo 1. Kaplamanın cinsine bağlı olarak boru hasar yüzdeleri(k)

Kaplam Tipi	Katodik Koruma Ömrüne göre Hasara uğrama yüzdesi (k)		
	10 yıl	20 Yıl	30 Yıl
Asfalt / Kömür katranı emaye	0,09	0,01	0,04
Füzyon bağlanmış epoksi	0,12	0,02	0,06
Sıvı Epoksi	0,03	0,1	0,3
3 kat Epoksi - Polietilen	0,009	0,001	0,004
3 kat epoksi - Polipropilen	0,009	0,001	0,004

Tablo 2. Toprak rezistivitesine göre çıplak demir akım yoğunluğu

Toprak Rezistivitesi (Ohm.m)	Çıplak Demir Akım Yoğunluğu (A / m²) (30^0 C de) (J_{Fe})
< 10	0,02
10 – 100	0,01
100 – 1000	0,005
> 1000	0,001

Toprak rezistivitesine göre çıplak demir akım yoğunluğu Tablo 2'de verilmiştir.

BULGULAR

Deneysel Çalışma Karakteristik Özellikleri

Katodik olarak korunacak olan boru hattı uzunluğu 1000 metre ve 6" çapında olacak şekilde hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Boru hattı karakteristik özelliklerinden dolayı deneysel çalışmanın yapıldığı boru hattında galvanik anotlu katodik koruma sistemi prosedürleri uygulanır.

Toprak Rezistivite Ölçüm Sonuçları

Deneysel çalışma kapsamında boru hattı güzergahı zemini üzerinden kilometre başına alınan toprak numunelerin rezistivite değerleri aşağıdadır.

Tablo 3. Zemin rezistivite değerleri

Mesafe (km)	**Elektrot Arası Mesafe (m)**	**Rezistivite (Ohm.cm)**
0+000	3,000	6845
1+000	3,000	5155
TOPLAM		12000

Tablo 4. Ortalama rezistivite değerine göre koroziflik durumu

Zeminin Cinsi	**Zemin Özgül Direnci (ρ) (Ohm.cm)**	**Ortalama Akım İhtiyacı (i) (mA/m2)**
Çok korozif	$\rho < 1000$	$20 < i$
Korozif	$1000 < \rho < 3000$	$5 < i < 20$
Orta korozif	$3000 < \rho < 10000$	$0,1 < i < 5$
Az korozif	$\rho > 10000$	İ <0,1

Yapılan hesaplama sonucu ortalama rezistivite değeri 6000 Ohm.cm olarak bulunmuştur.

PH Ölçüm Sonuçları

Deneysel çalışma kapsamında boru hattı güzergahı zemini üzerinden kilometre başına alınan toprak numunelerin pH değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. pH ölçümleri ve ortalama değer

Mesafe (km)	pH
0+000	7.5
1+000	7.3

pHort=7.4

Yapılan ölçümler sonucunda zeminin bazik özellikte olduğu ortaya çıkmıştır.

Redoks Ölçüm Sonuçları

Güzergâh üzerinden kilometrede bir alınan toprak numunelerin redoks değerleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 6. Redoks potansiyeline göre toprak zemin koroziflik durumu

Redoks Potansiyeli (E_{red}) (mV)	Zeminin Koroziflik Özelliği
E_{red} <100	Çok Korozif
100<E_{red} <200	Korozif
200<E_{red} <400	Orta Korozif
400<E_{red}	Az Korozif

Tablo 7. Redoks ölçümleri ve ortalama değer

Mesafe (km)	Zemin Redoks Potansiyeli (mV)
0+000	300
1+000	460

RDXort = 380

Redoks ölçümleri sonucu zeminin orta korozif özellikte belirlenmiştir.

Anot Adeti ve Ömür Hesaplamaları

Çelik boru hattı boyu (L) 1000 metredir.

Çelik boru hattı çapı (6") 0,1524 metredir.

Çelik borusu alanı; $A=\pi xDxL$=478,5m^2

Akım yoğunluğu (Js): Tablo 8'den 0.001 ve tablo 9'dan 0,001 A/ m^2 bulunur. Bulunan değerler çarpılarak 0,01 mA/ m^2 bulunur. 10 katı alınarak yanılma payı hesaplanır. Buradan akım değeri 0,1 mA/ m^2 çıkmaktadır.

Gerekli olan akım (Ik): Ik=A×Js 0.1 mA/ m^2 x 478,5 m^2 =48 Ma

Tablo 8. Kaplamanın cinsine bağlı olarak boru hasar yüzdeleri(k) (Revie and Uhlig, 2008).

Kaplam Tipi	Katodik Koruma Ömrüne göre Hasara uğrama yüzdesi (k)		
	10 yıl	20 Yıl	30 Yıl
Asfalt / Kömür katranı emaye	0,09	0,01	0,04
Füzyon bağlanmış epoksi	0,12	0,02	0,06
Sıvı Epoksi	0,03	0,1	0,3
3 kat Epoksi - Polietilen	0,009	0,001	0,004
3 kat epoksi - Polipropilen	0,009	0,001	0,004

Tablo 9. Toprak rezistivitesine göre çıplak demir akım yoğunluğu

Toprak Rezistivitesi (Ohm.m)	Çıplak Demir Akım Yoğunluğu (A / m²) (30^0 C de) (J_{Fe})
< 10	0,02
10 – 100	0,01
100 – 1000	0,005
> 1000	0,001

İstenilen minimum katodik koruma ömrü 20 yıldır (TS 5141, 1987).

Sistemde kullanılacak olan anot türü h.pot magnezyum anot olup 17 lb (7,7 kg)'dir.

Anodun çıplak haldeki uzunluğu (La) 65 cm'dir.

Anodun çıplak haldeki çapı (Da) 9 cm'dir.

Anodun standart boyu (Ld) 80 cm'dir.

Anodun dolgulu çapı (Dd) 20 cm'dir.

Toprağın ortalama rezistivitesi (r) 6.000 Ohm.cm'dir.

Dolgu rezistivitesi (r) 100 Ohm.cm'dir.

H.pot magnezyum anot / dolgu geçiş direnci R(A-D)

$$\frac{\rho}{2\times\pi\times L_a}\times\left[\ln\left(4\times\frac{L_a}{D_a}\right)-1\right] \qquad \frac{100}{2\times3,14\times65}\times\left[\ln\left(4\times\frac{65}{9}\right)-1\right]=0.58\ \text{Ohm}$$

Dolgu geçiş direnci/ toprak geçiş direnci R(D-T)

$$\frac{\rho}{2\times\pi\times L_d}\times\left[\ln\left(4\times\frac{L_d}{D_d}\right)-1\right] \quad \frac{6000}{2\times3,14\times80}\times\left[\ln\left(4\times\frac{80}{20}\right)-1\right]=21,17\ \text{Ohm}$$

Toplam anot direnci ise Rt=R(A-D)+R(D-T) formülü ile 21,75 Ohm olarak bulunur.

Seçilen anot tipi h.pot magnezyum anot olup anodun Cu/CuSO4 referans elektrotuna göre potansiyeli 1700 mV, koruma potansiyeli gene Cu/CuSO4 referans elektrotuna göre 850 mV'dir.

Anot çalışma potansiyeli (Va=1700mV-850mV) 0,85 volt olarak hesaplanmaktadır.

Anot akımı (Ia): Ia = Va / Rt ; 0.85 / 21.75=39,1 mA

Teorik akım kapasitesi 2200 A.h/Kg,

Anot verimi 0,5

Kullanma faktörü 0,85

Gerçek akım kapasitesi 1230 A.h/Kg

Bir tek anot için anot ömrü hesabı:

$$\text{Anot Ömrü}=\frac{\text{anot kütlesi(kg)}\times\text{gerçek akım kapasitesi}}{\text{Anot akım çıkışı(A)}\times8760} \qquad \frac{7,7(\text{kg})\times1230\ (\text{A.h/Kg})}{0,0391\ (\text{A})\times8760}=27,7\ \text{yıl}$$

Galvanik anotlu katodik koruma için gerekli olan anot adedi hesabı:

$$\text{Anot adeti(N)}=\frac{I_s}{I_a} \qquad \frac{48\ \text{mA}}{39,1\ \text{mA}}\cong2\ \text{adet}$$

TARTIŞMA VE SONUÇ

Günümüzün hızla ilerleyen teknoloji dünyasında insanların kaynaklara ulaşma ihtiyacındaki hız ve kalitede artmıştır. Bu kaynaklar enerji gereksinimi için petrol ve doğalgaz ile temel ihtiyaç olan içme suyu veya kullanım suyudur. İhtiyaç duyulan bu kaynakların aktarımının da sorunsuz ve hızlı bir biçimde sağlanması önem taşımaktadır. Bu kaynakların son kullanıcıya ulaşabilmesi boru hatları yardımı ile gerçekleşmektedir.

Bu kaynakların taşınımının gerçekleşebilmesi için çeşitli ortamlara konumlandırılan boru hatları bulunduğu ortamın etkisiyle zaman içerisinde aşınmalara uğrayarak patlamalara sebep verip yüksek zararlara yol açmaktadır. Bu aşınmalar boru hattının bulunduğu ortamdaki çeşitli korozif etkenlere bağlı olarak hızlı veya daha yavaş gerçekleşir. Bu aşınmalar gözle fark edildiği zaman geri dönüşü olmayan yola girilmiş olmaktadır. Meydana gelen korozyon sonucu ülkelerin ekonomik kayıplar artacak ve milli gelirleri israfa uğrayacaktır.

Boru hattının bulunduğu ortamın hat üzerinde oluşturabileceği korozif etkilerin önüne geçebilmek için çeşitli koruma teknikleri geliştirilmiş olup belli

bir süre dahi olsa boru hattının korunumu sağlanmak istenmiştir. Boru hattına çeşitli kaplamalar yapılarak, boya uygulaması yapılarak, inhibitörler kullanılarak ya da en güvenilir yol olan katodik koruma uygulaması yapılarak korozyon koruması gerçekleştirilerek korozif ortamın zararlarının önüne geçilebilir.

Deneysel çalışmalar kapsamında yapılan hesaplamalar sonucu katodik koruma projesinde 2 adet 17 lb h.pot magnezyum anot kullanılması hattı korumak için yeterli olacaktır. Anotlar hattın orta noktasına yerleştirilecektir. Hattın başına ve anotların olduğu kısma birer adet toplamda 2 adet STP ölçü kutusu konumlandırılması uygun olacaktır.

Katodik koruma yöntemi seçimi koruma yapılacak bölgenin toprak yapısına ve korumanın uygulanacağı malzeme karakteristik özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Eğer hesaplamalar sonucu anot sayısı daha fazla olsa idi farklı koruma yöntemleri seçilme ihtimali doğacaktı yalnız bu araştırma konusu olan boru için galvanik anatlu koruma yöntemi en ideal katodik koruma yöntemi olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Koç, T., Yıldırım, O. ve Ray, A.B. (2004). Boru Hatları Katodik Koruma Sistemlerinde Akım İhtiyacı ve Ölçülmesi. 9th International Corrosion Symposium and Exhibition. Ankara, 678-699.
2. Mutlu, Y. (2010). İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Katodik Koruma Uygulamaları ve Ekonomik Analiz. (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
3. İsmail Topcu, Arif N. Güllüoğlu, H.Ö.Gulsoy ,M.K. Bilici "Karbon nanotüp takviyeli Ti-6Al-4V/KNT kompozitlerin aşınma davranışlarının incelenmesi" Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 34 (3), 1441-1449
4. İ Topcu "Investigation of Wear Behavior of Particle Reinforced AL/B4C Composites under Different Sintering Conditions" Journal of Tecnical Glasnic 14 (1), 7-14
5. ME Turan, M Rashad, H Zengin, I Topcu, Y Sun, M Asif "Effect of multiwalled carbon nanotubes on elevated temperature tensile and wear behavior of Al2024 matrix composites fabricated by stir casting and hot extrusion"Journal of Materials Engineering and Performance 29 (8), 5227-5237
6. Odabaşı, T. (2004). Katodik Koruma Sisteminin Tanıtımı. http://www.etmd.org.tr/teknik_yazilar.php. (Erişim tarihi: 11 Aralık 2012)
7. Odabaşı, T. (2005). Boru Hatlarında Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma Sisteminin Hesabı. İstanbul: Botaş Yayınları.
8. Revie, R. W. and Uhlig, H. H. (2008). Corrosion and corrosion control: an introduction to corrosion science and engineering. (10th edition). New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
9. TS 5141. (1987). Yeraltı Çelik Boru Hatlarının Katodik Korunması Kuralları. (1. baskı). Ankara: TSE.
10. TS 9234. (1991). Katodik Koruma-Galvanik Anotlar. TSE (1. baskı), Ankara.
11. Üneri, S. (2000). Korozyon ve Önlenmesi. (2. baskı). Ankara: Korozyon Derneği Yayınevi.
12. İ. Topcu , A. devrım , B. Ünal "Development and Design and Heat Treatment of Production, Storage and Mine Drilling Pipes in Petroleum and Geothermal Industries"Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8 (1), 410-417
13. İsmail Topcu, Arif N. Güllüoğlu, H.Ö.Gulsoy ,M.K. Bilici "Karbon nanotüp takviyeli Ti-6Al-4V/KNT kompozitlerin aşınma davranışlarının incelenmesi" Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 34 (3), 1441-1449
14. İ Topcu "Investigation of Wear Behavior of Particle Reinforced AL/B4C Composites under Different Sintering Conditions" Journal of Tecnical Glasnic 14 (1), 7-14

✔ 18. Bölüm

SU KAYNAKLARININ BİLİNÇLİ KULLANIMINDA ÇEVRE EĞİTİMİNİN ÖNEMİ ÜZERİNE KISA BİR DERLEME ÇALIŞMASI

Zeyneb KILIÇ [1]

1 İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul-Türkiye.

1. GİRİŞ

İnsanlığın sanayi, endüstri, teknoloji gibi alanlarda ilerlemesi ve çevre koruma bilincinin azalması zamanla çevresel problemleri de beraberinde getirmiştir. İnsanoğlu doğal kaynakları sanki tükenmeyecek şekilde bilinçsizce kullanmakta ve dolayısı ile ekosisteme de zarar vermektedir. Çevre kirliliğinin önüne geçilememesi ve doğal kaynakların bilinçsizce kullanımı zamanla doğal kaynakların azalması ile kirlenmesine, kişisel zaruri ihtiyaçların karşılanamamasına, anormal iklim değişikliklerine ve küresel ısınma gibi olumsuzlukların daha da hissedilir şekilde yaşanmasına neden olmuştur.

Zamanla toplum bu konuda daha uyarlı olmaya başlamış ve çevre, çevre eğitimi, çevre okur yazarlığı gibi kavramlar gündeme gelmiştir. Kişilerin çevre ile çevrenin en önemli unsurlarından olan su kaynakları hususunda bilinçli, olumlu davranış sergileyebilmeleri, gereken bilgi ile becerileri kazanabilmeleri, konuyla ilgili motivasyonlarının yüksek ve güncel olmalarının sağlanabilmesi için çevre eğitimi ile çevre okuryazarlığı etkinliklerinin süreklilik arz etmesi gerekmektedir. Kişilere bilişsel, davranışsal ve duyuşsal özelliklerin kazandırılması çevre eğitiminin ana amaçları olup, bu özelliklerin kişilere kazandırılması, çevreye karşı sorumlu vatandaşlar yetiştirilmesi, bu konuların toplumda güncel tutulması derecesinde çevrenin ve doğal kaynakların sürdürülebilirliği sağlanabilir. Çevre okuryazarı bireyler çevre hususundaki bilgilerini davranışa dönüştürmeyi sağlayacak olan gerekli değer, tutum ve becerilere sahip olup, bu kişiler teknolojiyle, bilimle, kültürle, tarımla, hayvancılıkla ve diğer insani faaliyetlerin çevre ve doğal kaynaklar üzerindeki etkilerinin farkındadırlar ve çevre ile su kaynaklarının sürdürülebilirliğini sağlayabilecek özellikte kararlar alabilme yetisindedirler. İnsanların düşünce, olumsuz tutum, çevrelerini çıkarları uğruna bilinçsiz olarak kullanmaları, fosil yakıtların kullanma oranının artması, çevreye karşı sorumsuz davranış şekilleri ve çevreden bilinçsizce yararlanmaları, çevre kirliliği ve çevre problemlerinin başlıca nedenleri arasındadır.

İnsanların etkisiyle artan endüstrileşme ile sanayileşme başta olmak üzere ortaya çıkan ve gün geçtikçe etkisini daha fazla hissettiğimiz çevresel sorunlar, ekosistemi ve ekolojik dengeyi olumsuz yönde etkileyen en önemli nedenlerin başında gelmektedir (Hungerford ve Simmons, 2003). Ekoloji ve ekosistemin belirli bir dengesi olup, bu denge sistemlerini, bileşenlerini, unsurlarını ve kaynaklarını yenileyebilen ve onarabilen sürdürülebilir bir özelliğe sahiptir. Özellikle insanoğlunun ve diğer biyotik ile abiyotik çevre unsurlarının olumsuz etkileriyle doğal kaynaklarımızın sürdürülebilirliği zarar görmekte ve bu durum ise tüm ekosistemin dengesini bozarak yaşam kalitesini ve süresini düşürmektedir. Çevre problemleri küresel özellikte olup, bu problemlerden kaynaklanan sera etkisi,

iklim değişiklikleri, ozon tabakasının incelmesi, küresel ısınma, denizlerin kirlenmesi, biyoçeşitliliğin zarar görmesi, asit yağmurları, doğal afetler, kıtlık gibi olumsuzluklardan dolayı çevre sorunları daha çok değerlendirilmeye alınmaya başlanmış ve çevre eğitiminin verilmesi daha zaruri hale gelmiştir.

Ekosistem ve çevresin en önemli elemanlarından olan su yaşam için vazgeçilmez zaruri ihtiyaçlarımızdan olup, doğal ve stratejik kaynaklardan biri olan suyun önemi giderek artmakta olup, su olmadan canlıların hayatlarını devam ettirmeleri mümkün değildir. Su yaşamsal faaliyetlerin yanında sanayi, tarım, sağlık, madencilik, enerji üretimi ve lojistik gibi farklı sektörlerde kullanılmakta ve hızlı nüfus artışının da etkisiyle de suya daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Petrol yirminci yüzyıl için ne kadar önemliyse, su da yirmibirinci yüzyıl için o kadar önemlidir (Minibaş, 2008).

Son yüzyılda dünyadaki su tüketiminin yedi kat arttığı rapor edilmiş olup, su kaynaklarının eşit ve dengeli şekilde dağılmaması sebebiyle dünya genelinde nüfusun % 40' a yakını istediği temiz ve yeterli suya ulaşamamaktadır. Dünya genelinde yaklaşık 1,8 milyar insanın daimi su kıtlığı olan bölgelerde yaşamını sürdüreceği tahmin edilmekle beraber, Türkiye'de ise su sorunlarından etkilenecek kişi sayısının 2050 yılında yaklaşık yetmiş milyona çıkacağı öngörülmektedir (Şahin, 2016).

Birleşmiş Milletler raporuna göre günümüzde yaklaşık 1 milyar insan su stresi limit değerinin altında yaşamakta ve Dünya nüfusunun ortalama %20'lik kısmı ise sağlıklı içme ve kullanma suyuna erişememektedir. Gereken önlemler alınmazsa zamanla daha fazla kişinin su stresine maruz kalacağı ve yaklaşık 15 ülkenin su stresinden su kıtlığı durumuna geçeceği tahmin edilmektedir (BM, 2012). Ülkemizde kişi başına düşen 1543 m^3/yıl su miktarı ile su stresi ile su azlığı yaşayan ülkeler arasında yer almakta olup (Muluk vd., 2013), gelecekte "su fakiri" olma riski altındadır (Karadağ, 2008). Dolayısıyla ülkemizde su kaynaklarının yönetiminde, bilinçli kullanımında sürdürülebilir su politikalarının geliştirilmesi için önemli adımların atılması ve önemli olan bu konuların toplumda sürekli güncel tutulması gerekmektedir.

Küresel ısınma, iklim değişikli ve çevre kirliliği gibi olumsuzlukların daha fazla hissedilmesi ile su döngüsü, su baskısı ve suyun etkin kullanımı gibi konular insanların daha fazla ilgilisini üzerine çekmiştir. Dünya nüfusunun hızlı artışı buna bağlı olarak su tüketimi ve çevre kirliliğinin artması; sanayi, teknoloji, endüstriyel faaliyetler ile kentleşmenin hızla ilerlemesi; yenilebilir su kaynaklarının sınırlı olması, suyun hemen hemen her alanda israf edilerek kullanılması, kirli suların ekosisteme zararı gözetilmeden çevreye bırakılması ekolojik dengeyi, ekosistemi, doğal kaynakları ve özellikle de su kaynaklarını olumsuz yönde et-

kilemektedir. Sürdürülebilir doğal kaynaklar ile su kaynakları yönetiminde ekosistemin tüm elemanlarına ve ekolojik dengeye zarar vermeden, en iyi koşullarda doğal kaynaklarımızı gelecek nesillere aktarılması önemlidir. Ekolojik dengenin korunarak toplumun sürdürülebilir gelişiminin sağlanması için, su kaynaklarının bugün ve gelecekteki ihtiyaçları karşılayabilecek en akılcı şekilde kullanılması gerekmektedir. Doğal kaynaklar ve özellikle de su kaynakları ülkeler ile toplumların siyasetinde jeopolitik, stratejik ve ulusal gücün dengeleyici ana unsurlarından biri olmuştur.

Çevre eğitimi vasıtası ile bilinçlendirilmesi amaçlanan kişilere sunulması gereken konulardan biri de su eğitimidir. Bireylerin suyun bilinçli kullanımına ve tasarrufuna karşı olumsuz davranışları oluşmadan önce, küçük yaşlardan ve ilk sınıflardan itibaren eğitilmeleri çok önemli olup, bu bilinç ile farkındalık zamanında kazandırılamazsa, daha sonra bu konudaki olumsuz davranışların terkedilmesi veya değiştirilmesi çok daha zor olacaktır (Al-Shayaa, 2004). Günümüz dünyasında nüfusun, plansız endüstrileşmenin ve çevre kirliliğinin artmasıyla zaruri ihtiyaçlarımızdan alan su kaynaklarımızda da tüketim ve kirlilik artmaktadır (Brelet-Rueff, 2000). Su kirliliğine en fazla neden olan insanoğlunun faaliyetleri olup, bu konularla ilgili sorunların çözümünde insanların küçük yaştan itibaren süreklilik içindeki eğitimi önemli olup, çevre duyarlılık ile çevre bilinç eğitimleri bu anlamda önemlidir. Su eğitiminin asıl amaçlarından biri, kişilerin suyun önemi, su kaynaklarının korunması ve sağlığa uygunluğuyla ilgili farkındalık ile bilincini artırmak ve böylece suyla ilgili davranışlarında olumlu yönde değişiklik oluşturabilmektir (Brelet-Rueff, 2000).

Bu kısa derleme çalışmasında doğal kaynaklarımızın ve özellikle de su kaynaklarımızın bilinçli kullanımında çevre eğitimi ve çevre okuryazarlığının önemine dikkat çekilerek konuyla ilgili önerilerde bulunulmuştur.

2. GELİŞME

2.1. Çevre Eğitimi ve Çevre Okuryazarlığı

Çevre tüm canlı ve cansız varlıkları içeren ekosistemi, bunları etkileyebilecek fiziksel, kimyasal, biyolojik faktörleri içine almaktadır (Yıldız vd., 2008). Çevre ile ilgili olumsuz etkilerin tümü "çevre problemleri" olarak ifade edilebilir. Son zamanlarda gündemde olan, küresel ısınma, iklim değişikliği ve bunlara bağlı olarak hissedilen olumsuzlukların giderilmesinde toplumun sağlıklı bir çevre oluşturulması yönündeki bilgileri ve konuyla ilgili uygulamalarının güncel tutulması gerekir. Çevreyi koruma, doğal kaynaklardan bilinçli istifade etme, yaşamımız için zaruriyetinin farkında olarak değerini bilme ve konuyla ilgili duyarlılığın ve farkındalığı geliştirmenin temelinde sevgi ile bu sevginin gereği-

ni yapmak bulunmaktadır. Bu nedenle öncelikli olarak toplumun tüm kesimleri kapsayacak şekilde belli bir plan ile program dahilinde doğa ile canlı sevgisinin kazandırılması, konuyla ilgili eğitim programlarının sürdürülmesi ve insanlarda kirletmeme bilincinin yerleştirilmesiyle sorunun kaynağında çözümlenmesine odaklanmak önemlidir.

Çevre sorunlarının çözümü için çevre eğitiminin önemi büyük olup, bu problemlerin çözümünde gönüllü olarak görev üstlenebilecek ve sorumluluk alacak bireyleri yetiştirmeyi amaçlayan faaliyetler çevre eğitiminin kapsamına girmektedir. Çevre konusunda istenilen karakterde insan modelini yetiştirmek, ihtiyacı kadar tüketme farkındalığı ile tüketim bilincine sahip toplum oluşturmak, gelecek nesillere ve çevre sorunlarına karsı duyarlı, özverili, bilinçli insanları topluma kazandırmak çevre eğitiminin amaçlarındandır.

Çevre eğitimi kişilerin yaşadıkları çevreyi daha iyi tanıyarak bilgilerini artırması ile becerilerini geliştirmesi, bireylerin çevre dostu davranışları göstermesi ve toplumun daha sağlıklı bir çevrede yaşayabilmesi için gösterdikleri gayret ve etkinliklerin tümü olarak tanımlanabilir. Toplumu oluşturan bireylerin çevre eğitimi ile, çevrelerindeki paha biçilmez yaşamsal kaynaklar ile çevre sorunları daha iyi fark etmeleri, kaynakların bilinçli şekilde kullanmaları ve çevre sorunlarının çözümüne aktif olarak katılmaları amaçlanır (İleri, 1998). Bireylerin çevreyle ilgili olumsuz durumlardan haberdar olması, bu konuda farkındalık oluşması, ekolojik dengenin unsurlarını okuyabilmesi, sağlıklı bir ekosistemin gelecek nesillere bırakılması, sürdürülebilir ve yaşanabilir bir halde tutulmasında çevre eğitiminin önemi büyüktür.

Çevre okuryazarlığı çevre eğitimin ana hedefi olup, çevre okuryazarlığında bireyin ekolojik denge kavrayışı geliştirilerek doğa, toplum ve gelecek nesiller için uygun tercihler yapabilecek ve bu konuda uygun kararlar alıp uygulamayabilecek kişilerin yetiştirilmesi hedeflenmektedir. Toplumun çevre konusunda bilgilendirilerek, çevreye yönelik düşünce, fikir, bilgi, beceri ve tutumlarının olumlu davranışlara dönüştürülmesi ise çevre bilinci olarak tanımlanabilir. Çevre bilincinin insanlara kazandırılmasında, kalıcı davranışlara ve yaşam biçimine dönüştürülmesinde küçük yaştan itibaren başlanıp ileri ki yaşlarda da devam ettirilmesi gereken eğitim faaliyetlerinin büyük önemi vardır.

Su, doğal kaynaklar ve çevrenin bilinçli kullanımı, çevre problemlerinin çözümü ile sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilebilmesi açısından çevre ile su okuryazarlık düzeyinin toplumdaki seviyesinin artması önemlidir. Çevre ve su okuryazarlığı gelişmiş olan bireyler, bu konuda diğer bireylere model olabilen, problemler daha ortaya çıkmadan önleyici tedbirler alabilen, dünyadaki doğal sistemler ile su döngüsünün nasıl çalıştığının, kullandığımız doğal kaynakların ne

kadar önemli ve hassas işleyişler sonucu olduğunun, doğal kaynakların israf edilerek bilinçsizce kullanımı durumunda bunların azalarak tükenebileceğinin, insan aktivitelerinin bu sistemlere etkisinin nasıl olduğunun, ancak ekolojik denge sonucu canlıların yaşamlarını sağlıklı şekilde sürdürebildiklerinin daha da farkındadırlar. Konuyla ilgili yapılmış bazı çalışmalar da bu durumu desteklemektedir (Barr, 2003; Alp vd., 2006).

Çevre problemleri ve doğal kaynaklarımızın sürdürülebilir olmayan kullanımının neden olduğu ekonomik ve toplumsal sıkıntılar Türkiye'nin geleceği için bir tehdit unsuru olup, bu sıkıntılardan kurtulmanın veya asgariye indirmenin en önemli yöntemlerinden biri başta çocuklar ve gençler olmak üzere toplumun bu konu ile ilgili tutum, ilgi, farkındalık, bilinç ve davranışlarının geliştirilmesidir. Ayrıca insanların çevrenin hassas işleyişinin daha da farkında olması, anlayabilmesi ve doğal çevreden ona göre istifade etmesi ve koruması gerektiği bilinci verilmelidir (Rickinson, 2001). Tutum, ilgi, israfsız bilinçli tüketim, farkındalık, kariyer, yurttaşlık, çevre ile vatan sevgisi, yaşam tarzı, ve davranışların sürdürülebilir doğal kaynak kullanımına yönelik olabilmesi çevre okuryazarlığının gereklerindendir. Çevre okuryazarlığı, bireyde doğa bilincinin oluşmasını sağlamakta, çevre sorunlarına karşı bireyi duyarlı kılmakta, bireyin doğa kanunlarına yönelik düşünceleri olgunlaştırmakta, doğa sevgisini artırarak bu sevginin gereğini yaptırmakta, kişiye konuyla ilgili araştırma ile sorgulama yaptırmakta ve bu doğrultuda doğayla süreklilik arz eden olumlu iletişim kurmasına rehberlik etmektedir (Roth, 1992). Çevre okuryazarlığı günlük hayatının her aşamasına yeterli bilgi, bilinç, farkındalık, beceri ve tutumlara uygun çevresel faktörleri dâhil etmeyi gerektirir. Çevre ve özellikle de su kaynaklarının bilinçli sürdürülebilir şekilde kullanılması gelecek nesillerin daha sağlıklı ve zengin doğal kaynakları içeren bir dünyada yaşayabilmelerine olanak sağlayacaktır. Doğal güzelliklerimizin ve doğal kaynaklarımızın korunmasında, bilinçli ve sürdürülebilir şekilde kullanılmasında ve çevre kirliliğine engel olunma hususunda toplumun daha bilinçli ve duyarlı hale getirilmesinde çevre eğitimi gibi faaliyetlerin önemi büyüktür (Uluçınar vd., 2008).

2.2. Su ve Su Bilinci

Su yaşamın temel unsuru olarak tüm canlılar için temel girdilerden ve en önemli unsurlardan biri olup, yeryüzünde katı, sıvı, gaz durumda bulunan tek maddedir. Denizler, göller, yeraltı sularının yeryüzüne çıktıkları kaynaklar, akarsular ve yeraltı suları başlıca su kaynaklarıdırlar. Canlıların yapıtaşını oluşturan, ekosistem üzerinde fizyolojik ve ekolojik açıdan önemli işlevleri olan, barındırdığı mineral ile bileşiklerle vücudumuzun biyokimyasal reaksiyonlarının gerçek-

leşmesinde etkin rolü olan olan su, yaklaşık olarak insan vücudunun % 65'ini, bitkilerin ait taze ağırlığın % 60-85'ini meydana getirmektedir. Fotosentezin gerçekleşmesinde ve toprak oluşumunda önemli etkisi olan suyun, topraktaki bitki besin elementlerinin ve minerallerinin çözündürülmesi ve bunların bitki kökleri tarafından absorbe edilmesi yine suyun varlığı ile gerçekleşmektedir. Dünyanın yaklaşık dörtte üçü su ile kaplı olsa da, dünyanın birçok bölgesinde temiz içme suyu kaynaklarındaki yetersizlikler, dünya nüfusundaki artış, iklimsel değişimler, su kaynaklarının bilinçsizce israf edilerek kullanımı, devletlerin zamanında su kullanımıyla ilgili uygun ve önlem alıcı politikalar geliştirmemeleri gibi sebeplerle su yönetimi ve su eğitimi maalesef halen önemli bir sorundur (Ilgar, 2009). Dünyadaki suların yaklaşık %97,5'u okyanus ile denizlerde tuzlu su, %2,5'i ise göl ile nehirlerde tatlı su olarak bulunmaktadır. Tatlı su kaynaklarının ise %90 civarındaki kısmı kutuplarda ve yeraltında bulunmakta olup, bu oranlar insanların kullanabileceği uygun tatlı su miktarının ne kadar az olduğunu göstermektedir (Ergin vd., 2009).

Medeniyetlerin gelişmesinin ve ülkelerin kalkınmasının en önemli göstergelerinden biri temiz ve güvenli su kaynaklarına sahip olması olup, güvenli, temiz ve sağlıklı içme suyunun mikrobial, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenen ölçütlere uygun olması gerekmektedir (Ekmen ve Fırat, 2017). Kişi başına yıllık ortalama su miktarından yararlanılarak, bir ülkenin su zengini veya su fakiri olduğu konusunda karara varılabilmektedir. Kişi başına düşen ortalama yıllık su miktarı ülkenin uzun yılları içeren ortalama toplam su miktarının, ülkenin nüfusuna bölünmesiyle elde edilmektedir. Elde edilen değer belirli eşik değerlerle karşılaştırılarak o ülkenin su fakiri veya su zengini olup olmadığına karar verilebilmektedir (Bilen, 2008).

Su sınırlı ve stratejik bir kaynak olup, su varlığına göre senede kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı senede 1000 m^3 ten az ise *su fakiri*; 2000 m^3 ten az ise *su azlığı*; 8000-10000 m^3 ten fazla ise su zengini ülkeler olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmaya göre Türkiye su zengini ülkeler arasında olmayıp ülkemizde su kullanım miktarı zamanla artmakta ve gerekli önlemler alınmazsa yakın zamanda su ihtiyacı konusunda ülke ve toplum olarak ciddi problemlerle karşılaşacağımız yüksek oranda muhtemeldir. Günümüzde maalesef birçok toplum su kıtlığı ile karşı karşıya olup, mevcut kaynaklarını korumak, bilinçli ve akıllıca kullanmak gerekmektedir (Kılıç, 2020 a,b). Sağlığa zarar vermeyecek özellikte olan içme ve kullanma suyunun temin edilmesi, su kaynaklarının korunması ve en uygun şekilde kullanılması en önemli konulardan biri olup, bunu gerçekleştirebilmek için çevre kirliliğinin önlenmesi gerekmektedir. Evler ve sanayi kuruluşlarından su yataklarına yönlendirilen sıvı atıklar; tarımsal faaliyetler

sonucu herbisit, insektisit, azot ve fosfor içeriği bakımından kirlenmiş olan sulama suyu sızıntıları, zehirli kirleticiler, yağışlarla taşınan erozyonik topraklar, asit yağmurları, deniz kazaları, kimyasal atıklar, çökelebilen katı maddeler, organik maddeler, sıcaklık kirlenmesi, yağlar, nutrientler ve endüstri faaliyetlerinden kaynaklanan kirleticiler başlıca su kirleticileri arasında sayılabilir.

Küresel anlamda ekosistemler üzerinde olumsuz etkisi olan ve etki alanı en büyük meselelerden birisi olan su kıtlığının, çevre tahribatı ile ekolojik dengenin bozulmasının sonucu olarak ortaya çıktığını söyleyebiliriz. İklim değişiklikleri, küresel ısınma, kuraklık, nüfus artışı, kentleşmenin artması, su kullanımı ile su israfının artması, yeraltı ile yüzey sularının bilinçsiz kullanımı, su kaynaklarının kirletilmesi ve hatalı uygulanan su yönetimi politikaları küresel anlamda su problemlerine yol açan temel etkenler arasındadırlar. Teknolojik ve ekonomik ilerlemeler, refah düzeyi, demografik değişiklikler, beslenmedeki farklılıklar, sosyal ve kültürel değerler gibi etkenler de su kullanım alışkanlıklarını etkileyebilmektedir. Türkiye'deki su kullanımının çok büyük kısmı tarım sektöründe gerçekleşmekte olup, verimi artırmak amacıyla yanlış ve aşırı su kullanımı tarım sektöründeki en önemli problemlerden biridir. Aşırı ve bilinçsiz su kullanımı su kaynaklarının hızlıca tükenmesine neden olduğu gibi, toprağın kalitesini de bozarak salinizasyona neden olmakta ve diğer ekolojik unsurlara da zarar vermektedir. Ülkemizde tarımdan sonra suyu en çok kullanan sanayi sektörü olup, üçüncü sırada kentsel alanlar bulunmaktadır.

Su ihtiyacının giderilmesi ve bilinçli kullanımı için alınabilecek tedbirler genel anlamda sosyal, hukuksal ve teknik önlemler şeklinde sıralanabilir. Su sürdürülebilir ve ekonomik kalkınma, insan kullanımı, enerji üretimi, ulusal güvenlik, ekolojik denge ve tüm ekosistemin unsurları için kaynaklardan biri olup, çok değerli olan bu kaynaklarımızı korumak, israf etmeden bilinçli kullanmak, sürdürülebilirliğini sağlamak için suya olan bakış açısının olumlu yönde olması, su eğitimlerinin artırılması ve konuyla ilgili farkındalığın geliştirilmesi gerekmektedir. İlk yaşlardan ve sınıflardan başlayarak çocuklarda oluşturulacak olan su farkındalığı ve su bilinci kavramları toplum ile ülke olarak gelecekteki su kullanım politikalarımızı da belirleyecektir. Kıt su kaynaklarının etkin, sürdürülebilir, verimli, bilinçli kullanımı, uygun su yönetimi konusunda eğitimli ve farkındalığı yüksek olan bireylerin yetiştirilmesi ve kişilerde konuyla ilgili bilgi düzeyinin artırılması su okuryazarlığının temel amaçlarındandır (Wood, 2014). Bireyleri su kaynaklarının durumu hakkında bilgilendirmek, suyu tasarruflu kullanma gibi davranış özellikleri kazandırmak, su ile ilgili problemlerin çözümünde atılacak en önemli adımlar arasındadır (Ergin vd., 2009).

Kişinin su ile ilgili sorumluluğunu bilmesi, su problemlerine karşı duyarlı ol-

ması, tutum ile davranışlarını suyun korunması yönünde ayarlaması, konuyla ilgili bilgi edinmesi, suyu israf etmeden kullanması, su kaynaklarını muhafaza etmesi, çevre kirliliğini azaltması, su ile ilgili etkinliklere aktif ve istekle katılması gibi durumlar su eğitiminin amaçları arasındadır. Suyun daha fazla su kullanımı kaynakları yönetiminin sürekli güncel olmasını gerektirmektedir (Meriç, 2004). Su kaynaklarımızın doğru bir şekilde, kirletmeden bilinçli kullanımı nesillerin doğru bir şekilde eğitilmesinden geçmekte olup, verilen eğitimin davranışa dönüşerek yaşamda uygulamaya dönüştürülmesi erken yaşlarda verilecek eğitimlerle mümkündür. Dolayısı ile öğrencilerin konu ile ilgili iletişim, özyeterlilik, kendini ifade etme gibi becerilerinin sağlanabilmesi amacıyla konuyla ilgili etkinliklere ve eğitimlere daha fazla yer verilmelidir.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ekolojik dengenin bozulmasıyla ortaya çıkan çevre sorunları artarak devam etmekte olup, çevre sorunlarının olumsuz etkileri sadece bulundukları bölgeyi değil küreselleşerek tüm dünyayı etkilemektedir. Şüphesiz ki ekosistemdeki tüm unsurlara muhtaç olan canlıların ve özellikle de insanlığın çevre ile su sorunlarına çözüm üretmesi gelecek nesiller ve sürdürülebilir bir dünya için önemlidir. Doğal kaynaklarımızın bilinçli kullanımı ve konuyla ilgili çözüm arayışı ancak insanların sahip oldukları bilgi, beceri ve değer yargılarına yönelik çabalar ile olumlu sonuçlanacak olup, bu faaliyetler ve çabalar içerisinde eğitimin önemli bir yeri vardır. Çevre ile su sorunlarının farkında olunması, bu sorunların çözülmesi, önlenmesi, çevre ile yaşam kalitesinin korunması ve sürdürülebilirlik için eğitim faaliyetlerinin düzenlenmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir. Çevre okuryazarlık becerisinin artması çevresel olaylara yönelik algıyı etkilemekte olup, ilgili konulara eğitim-öğretim müfredatlarında daha fazla ve bilinçli şekilde yer verilip öğretim programına entegre edilerek öğrencilerin uygulama düzeyinde daha fazla bilinçlendirilmesi sağlanmalıdır.

Ekosistemin en önemli unsurlarından ve en önemli doğal kaynaklarımızdan biri olan su kaynaklarına yönelik müdahalelerde günümüz toplumu ile gelecek nesillerin bu konudaki hakkını da dikkate alan kamu yararının gözetilmesi; su kullanım yönetimi ve stratejilerinin iyi belirlenmesi; suyun ekonomik ile ekolojik katma değerin göz ardı edilmemesi; su eğitimlerinin her yaştan insanı kapsayacak şekilde devam ettirilmesi; entegre havza yönetiminin sağlanması; su tasarrufunun yapılması; suyun israf edilmemesi; su arıtma tesislerinin geliştirilmesi ve sayılarının artırılması gibi hususlar önemlidir. Su ile ilgili alınacak her karar ve atılacak her adım hayati ve son derece önemlidir. Suyun hepimizin ortak mirası ve geçmişten aldığımız yaşamsal bir emanet olduğu unutulmamalı; su kaynakla-

rının korunması ile kullanımını ekonomik çıkarların üzerinde tutmak, ortak bir bilinç oluşturmak zorunluluk haline gelmiştir. Yayımlanan su raporlarına göre ülkemiz "su fakiri" olma yolunda ilerlemekte olup, bu nedenle su yönetimi ile bilinçli kullanımı konusunda mevcut politikalar, eğitimler ve idari hususlar gözden geçirilmeli ve güncel faaliyetler geliştirilerek zaman geçirmeden uygulanmalıdır. Dünyadaki ve ülkemizdeki su kaynaklarının, sınırlı ve kısıtlı olduğunu ve içinde bulunduğu risk halini göz önüne alırsak, suyu kıymetsizmiş gibi görmek ve önemsemeden kullanmak zamanla istenmeyecek sonuçlara yol açmaktadır. Diğer doğal kaynaklar ve su insanın hizmetine sunulmuş olup, ekolojik dengenin bozulmasına en fazla neden olan ve dünyada en önde gelen kirleticiler grubu da yine insanoğludur. İnsan bu kaynakların değerini bilip ve diğer canlıların yaşam hakkı ile su hakkına saygı gösterecek şekilde hareket edip su ayak izini iyileştirmeye yönelik adımlar atabilirse, yaşanılabilir bir çevre ile yeterli ve temiz su kaynaklarına sahip olabilir. Ülkemizde su okuryazarlığı konusundaki her kazanımın kişilerin günlük yaşamının bir parçası olabilmesi için edinilen bilgilerin günlük hayatta uygulanarak bilişsel bilgi ve deneyime, sürdürülebilir değerlere katkı sunacak davranışlara dönüşmesi önemlidir. Su okuryazarlığı bilincinin toplumda geliştirilmesi için; küresel ısınma, iklim değişikliği, kuraklık, suyun önemi, suyun bilinçli kullanımı ile ilgili etkinlikler, broşürler ile medya ortamları artırılmalı; su tasarrufu başta olmak üzere kurumlarda ve özellikle de okullarda özendirici şekilde su ve enerji konulu yarışmalar yapılmalı ve öğretmen ile ebeveyn bilincini artıracak etkinlikler sürdürülmelidir.

Sonuç olarak, yeryüzünün ana bileşenlerinden olan su, toprak ve hava yaşamın devamını sağlayan temel unsurlardan olup, doğal çevrenin sürdürülebilir bir biçimde kullanılması ile sürdürülebilir bir ekosistemin varlığı için, su okuryazarlığı eğitimleri ile faaliyetlerinin periyodik olarak devam etmesi, doğal çevre kararlarının ve ekonomik kararların birlikte değerlendirilmesi gereklidir. Çevreyi korumak ve ekolojik dengeyi sağlayan unsurları gelecek nesillere bozulmadan aktarmak için ekosistemi oluşturan tüm elemanlar birbirinden ayrılmaz bir bütün olarak düşünülmeli ve herhangi birinde meydana gelebilecek olumsuzların diğer çevre elemanlarını da zincirleme etkileyeceği algısı ve bilinci geliştirilerek tüm paydaşların buna göre hareket etmesi ve bu hususlar nazara alınarak konuyla ilgili kararların alınarak uygulanması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Alp, E., Ertepinar, H., Tekkaya, C., & Yilmaz, A. (2006). A study on children's environmental knowledge and attitudes: The effect of grade level and gender. International Research in Geographical and Environmental Education, 15, 210-223.
2. Al-Shayaa, M.S. (2004). Education and water conservation in Tucson, Arizona: Towards an educational model for Saudi Arabia (Unpublished doctoral dissertation). Iowa State University, Iowa.
3. B.M. (2012). WWAP-World Water Assessment Programme. Managing Water under Uncertainty and Risk, The United Nations World Water, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 75352 Paris 07 SP, France.
4. Barr, S. (2003). Strategies for sustainability: citizens and responsible environmental behavior. Area, 35(3), 227-240.
5. Bilen, Ö (2008). Türkiye'nin Su Gündemi Su Yönetimi ve AB Su Politikaları, Ankara: DSİ.
6. Brelet-Rueff, C. (2000). Helping children in the humid topics: Water education. Retrieved November 6, 2006 from ERIC database.
7. Ekmen, S., Fırat, M.S. (2017). Uluslararası Su Yollarının Kullanılmasından Doğan Uyuşmazlıkların Çözümü. Ankara Barosu Dergisi. 2, 179-201.
8. Ergin, Ö., Akpınar, E., Küçükcankurtaran, E., Ünal Ç.G. (2009). Su farkındalığı: su eğitimi için öğretim materyali geliştirme (Tübitak Proje No:107K291)
9. Hungerford, H. & Simmons, B. (2003). Environmental educators a conversation with Paul Hart. Journal of Environmental Education. 11, 4-11.
10. Ilgar R. (2009). Dünya Su Yönetimi, Su Eğitimi / World Water Management and Water Education. 1. Uluslararası Türkiye Eğitim Araştırmaları Kongresi, Çanakkale,1-23, 1-3 Mayıs 2009.
11. İleri, R. (1998). Çevre eğitimi ve katılımın sağlanması. Ekoloji Dergisi, 28, 3-9.
12. Karadağ, A.A. (2008). Türkiye'deki su kaynakları yönetimine ilişkin sorunlar ve çözüm önerileri, TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi Bildiriler Kitabı, 2, 389-400.
13. Meriç, B.T. (2004). Su kaynakları yönetimi ve Türkiye. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 28, 27-38.
14. Minibaş, T. (2008). Globalizmde Suyun Ekonomi Politiği. www.turkelminibas.net, ErişimTarihi: (23.04.2020)
15. Muluk B., Kurt B., Turak A., Türker A., Çalışkan M.A., Balkız Ö., Güm-

rükçü S., Sarıgül G., Zeydanlı U. (2013). Türkiye'de suyun durumu ve su yönetimine yeni yaklaşımlar: Çevresel perspektif, Golden Medya Matbaacılık ve Ticaret A.Ş. Doğa Koruma Merkezi, 112ss
16. Rickinson, M. (2001). Learners and learning in environmental education: A critical review of the evidence. Environmental Education, 8(2), 120-139.
17. Roth, C.E. (1992). Environmental literacy: ıts roots, evolution and directions in the 1990s. Columbus, OH: ERIC/SMEAC Information Reference Center.
18. Şahin B. (2016). Küresel Bir Sorun, Su kıtlığı ve Sanal Su Ticareti, Yüksek Lisans Tezi, Çorum Hitit Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 128ss.
19. Uluçınar, S., Oktay, A., Cansaran, A. (2008). The Examination of Elementary School Students' Environmental Knowledge and Environmental Attitudes with Respect to the Different Variables. Elementary Education Online, 7(2), 496-511.
20. Wood, G. (2104). Water Literacy and Citizenship: Education for Sustainable Domestic Water Use in the East Midlans. University of Nottingham, 2014, United Kingdom.
21. Yıldız, K., Sipahioğlu, Ş., Yılmaz, M. (2008). Çevre bilimi ve eğitimi. Ankara: Gündüz Eğitim.
22. Kılıç, Z. (2020) a. The importance and conscious use of water. International Journal of Hydrology. 4 (5): 239–241.
23. Kılıç, Z. (2020) b. The Impact of Climate Change on Water Resources. International Journal of Scientific and Technological Research. Vol. 6, No.11, 73-79.