

Editörler

Doç. Dr. Enes YİĞİT,
Dr. Öğr. Üyesi Umut ÖZKAYA

MÜHENDİSLİKTE
ÖNCÜ VE ÇAĞDAŞ
ÇALIŞMALAR

**MÜHENDİSLİKTE
ÖNCÜ VE ÇAĞDAŞ
ÇALIŞMALAR**

Editörler

Doç. Dr. Enes YİĞİT

Dr. Öğr. Üyesi Umut ÖZKAYA



Mühendislikte Öncü ve Çağdaş Çalışmalar

Editör: Doç. Dr. Enes YİĞİT, Dr. Öğr. Üyesi Umut ÖZKAYA

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek

Kapak ve Sayfa Tasarımı: Duvar Design

Yayın Tarihi: Haziran 2023

Yayıncı Sertifika No: 49837

ISBN: 978-625-6945-83-8

© Duvar Yayınları

853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir

Tel: 0 232 484 88 68

www.duvar yayinlari.com

duvarkitabevi@gmail.com

1. Bölüm	7
Etin Kuru ve Yaş Yaşlandırılması ile İlgili Yapılan Bilimsel Yayınlar Bibliyometrik Bir Bakış (Web of Science Taban:1991-2022) <i>Emel KAYNAKCI</i>	
2. Bölüm	33
Veri Ön İşleme ve Öznitelik Mühendisliğinin Yapay Zekâ Yöntemlerine Uygulanması <i>Murat EMEÇ , Mehmet Hilal ÖZCANHAN</i>	
3. Bölüm	55
Trakya Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi Yıldırım Risk Analizi: NF C 17 102, NFPA 780 ve TS EN/IEC 62305-2 Karşılaştırması <i>Cihat Çağdaş UYDUR</i>	
4. Bölüm	71
Makine Öğrenmesi Algoritmalarında Hiper Parametre Belirleme <i>Murat EMEÇ, Mehmet Hilal ÖZCANHAN</i>	
5. Bölüm	99
Optimum Elektrik Enerji Tarifesinin Belirlenmesi: Trakya Üniversitesi Vaka Analizi <i>Cihat Çağdaş Uydur</i>	
6. Bölüm	113
Polipropilen Lif ve Zemin Stabilizasyonundaki Önemi <i>Yasemin ASLAN TOPÇUOĞLU, Zülfü GÜROCAK</i>	
7. Bölüm	143
Nano Yapılarda Yerel Olmayan Elastisite Teorisi Uygulamaları <i>Mustafa Oğuz NALBANT, Ayla TEKİN</i>	
8. Bölüm	169
Covid-19 Sürecinde Endüstriyel Mutfaklarda Hijyen <i>Zehra YILDIZ, Öznur ÖZGEL</i>	

- 9. Bölüm** **187**
Erzurum İli Tarihi Muratpaşa Cami'sinin Sismik Değerlendirmesi
Suat Gökhan ÖZKAYA, Muhammed Alperen ÖZDEMİR
- 10. Bölüm** **205**
Hidrojel Bazlı Ultra Esnek İyonik Diyotlarda Doğrultma Oranına
Çapraz Bağlama Oranının Etkisi
Mücella ÖZBAY KARAKUŞ
- 11. Bölüm** **237**
Mermer Atıklarının Farklı Gradasyon Aralıklarında Yol
Temel Malzemesi Yerine Kullanılmasının Donma-Çözünme
Davranışı Üzerine Etkisi
Nazile URAL, Ahmet Neim KAHVECİ
- 12. Bölüm** **257**
Endüstriyel Tıp Ön Isıtıcı Siklon Ayırıcı Tasarımı ve İmalatı
Alaattin Metin KAYA, Salih COŞKUN
- 13. Bölüm** **271**
Basit Gözleme Dayalı Elle Taşıma İşlerinde Kullanılan
Ergonomik Risk Analiz Yöntemlerinin İncelenmesi
Mustafa GÜNAYDIN, Gülseren GÜNAYDIN, Murat Salih GEDİKLİ
- 14. Bölüm** **293**
Süperiletkenlerin Kriyojenik Sistemle Soğutulması
Muhammed ŞULE, Zuhul OKTAY, Can COŞKUN
Bahadır BİRECİKLİ
- 15. Bölüm** **311**
Polilaktik Asit Temelli Kanama Durdurucu ve
İz Giderici Nanofiber Membran Üretimi
Erdi BULUŞ, Gülseren SAKARYA BULUŞ, Mehmet AKKAŞ
- 16. Bölüm** **323**
Yara İyileştirici Özelliği Bulunan Nanoteknolojik Biyomalzemeler
Erdi BULUŞ, Gülseren SAKARYA BULUŞ, Mehmet AKKAŞ

- 17. Bölüm** **339**
Biyolojik Sentez Yöntemiyle Nanomalzemelerin Üretimi ve
Kullanım Alanları
Mine KIRKBINAR, Erhan İBRAHİMOĞLU, Fatih ÇALIŞKAN
- 18. Bölüm** **359**
Yüksek Oranda Uçucu Külün Puzolan Olarak Kullanıldığı
Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Basınç ve Ultrasonik
Geçiş Hızı Özelliklerinin Zamana Bağlı İncelenmesi
Fethi İŞSEVER, Sadık VAROLGÜNEŞ
- 19. Bölüm** **381**
Dijital İkiz Olgunluk Modelleri
Gozde Basak OZTURK, Ozlem CELENK
- 20. Bölüm** **399**
Traverten - Tektonik İlişkisi
Serap ÇOLAK EROL
- 21. Bölüm** **413**
Derin Öğrenme Modelleri Kullanılarak Zaman Serisi Tahmini
Taner UÇKAN, Cengiz HARK
- 22. Bölüm** **431**
Yapı Denetim Sisteminde Meydana Gelen İyileşmeler
Murat ÇEVİKBAŞ, Ozan OKUDAN, Zeynep İŞİK
- 23. Bölüm** **447**
Oluşumundan Kullanım Alanlarına Serpantinitle
Mustafa Eren RİZELİ, Mehmet Ali ERTÜRK, Abdullah SAR
- 24. Bölüm** **467**
Mangan Jeolojik-Mineralojik Özellikleri, Kullanım Alanları ve Önemi
Mehmet Ali ERTÜRK, Abdullah SAR, Mustafa Eren RİZELİ
- 25. Bölüm** **481**
U Bükme İşleminin Sonlu Elemanlar Analizi
Engin ÜNAL, Merve HORLU

- 26. Bölüm** **505**
İnşaat Mühendisliği Öğrencilerinin Motivasyonlarını
Etkileyen Faktörlerin Lojistik Regrasyonla Analizi
Gülgün MISTIKOĞLU
- 27. Bölüm** **529**
Tekstil Üretimi ve Tüketiminin Çevresel Etkileri
İlayda KIRKAN, Güray SALİHOĞLU
- 28. Bölüm** **563**
Endüstriyel Proses Atıklarından Geopolimer Üretimi
Savaş ÖZTÜRK
- 29. Bölüm** **577**
Işık Kaynakları Esaslı Fliker ve Verimlilik
Nazım İMAL, Fatih KUŞ

1. Bölüm

Etin Kuru ve Yaş Yaşlandırılması ile İlgili Yapılan Bilimsel Yayınlar Bibliyometrik Bir Bakış (Web of Science Taban:1991-2022)

Emel KAYNAKCI¹

¹ Dr. Öğr.Üyesi.; Akdeniz Üniversitesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü (13/4 görevlendirme) ekaynakci@gmail.com ORCID No: 0000-0002-2152-0262

Özet

Son yıllarda Türkiye’de gelir seviyesi yüksek ve diyetinde et ve et ürünlerine yer veren tüketicilerin aroma, lezzet ve tekstür açısından geliştirilmiş et ve et ürünlerine talebi artmıştır. Bu talep doğrultusunda büyük parça etlerin özel muhafaza koşullarında bekletilerek olgunlaştırılması, tüketiciler tarafından talep edilen bir durum haline gelmiş, restaurant ve kasaplarda bu tür ürünlere yer vermeye başlanmıştır. Özellikle son yıllarda etin yaşlandırılması “meat aging” ile ilgili bilimsel yayınların da sayısının artması tüketicilerin bekledikleri ve talep ettikleri yeme kalitesini en iyi halde sunulması için önemli bir gelişmedir. Bu bağlamda bu çalışmada ilk olarak et ürünlerinin kuru ve yaş yaşlandırılması ile ilgili bilgi verilmiştir. Kuru ve yaş yağlandırma hakkında 1991-2021 yılları arasında yapılan bilimsel yayınlardan (n:216) en fazla toplam atıf alan 20 bilimsel yayın künyeleri ve yıl başına aldıkları atıf sayıları verilmiştir. Bunun yanısıra son 30 yıla ait ön plandaki trend kelimeler, yazar bilgisi, dergi adları vb bilgiler analiz edilmiştir. Kuru ve ıslak yaşlandırma konusunda uluslararası literatürde (Web of Science) yayınlanan yayınların bibliyometrik analizi RStudio ve VOSviewer programları ile yapılmıştır. Özellikle 2015 yılından sonra kuru ve yaş yaşlandırma ile ilgili çalışmaların ivme kazandığı görülmektedir. 2019 yılında 19, 2020 yılında 21, 2021 yılında ise bilimsel çalışma sayısı 26 sayısına ulaşmıştır. En fazla konu ile ilgili çalışmanın Kore’de yapıldığı görülmektedir. Türkiye ise konu ile ilgili yayın sıralamasında 12. Ülke durumundadır. Yaş ve kuru yaşlandırma üzerine yapılan çalışmalara en çok yer veren dergi “Meat Science” (n:26) olarak görülmektedir. Son zamanlarda özellikle akademik yayınlarda meat (et), muscle (kas), dry aged beef (kuru yaşlandırılmış biftek), process (proses), crust (kabuk) kelimelerinin geçtiği yayınların daha çok atıf aldığı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bibliyometrik analiz, kuru yaşlandırma, yaş yaşlandırma, et, yaşlandırma

A Bibliometric Review of Scientific Publications on Dry and Wet Aging of Meat (Web Of Science:1991-2022)

Abstract

In recent years, the demand for meat and meat products developed in terms of aroma, taste and texture has increased in Turkey, with high incomes and meat and meat products in their diets. In line with this demand, the ripening of large pieces of meat by keeping them in special storage conditions has become a demanded situation by consumers, restaurants and butchers have started to include such products. Especially in recent years, the increase in the number of scientific publications on meat is an important development in order to eating

quality that consumers expect and demand in the best possible way. In this study, information about dry and wet aging of meat products will be given by the bibliometric analysis. The bibliometric analysis of the 20 most cited scientific studies (Web of Science) on dry and wet aging is presented with the data of RStudio and VOSviewer program. It is seen that the related articles are mostly published in Meat Science Journal. Especially after 2015, it is seen that studies on dry and wet aging have increased. The number of scientific studies reached 19 in 2019, 21 in 2020, and 26 in 2021. Most of the studies on the subject are done in Korea. On the other hand, Turkey is the 12th country in the ranking of publications on the subject. The journal that mostly includes studies on wet and dry aging is Meat Science (n:26). Recently, publications in which include the words meat, muscle, dry aged beef, process, crust are more cited.

Keywords: ageing, dry aging, wet aging, bibliometric analysis, meat

GİRİŞ

Bu makalede bibliyometrik verileri tartışmadan önce kuru ve yaş yaşlandırma özellikle et ve ürünleri teknolojisi çalışan bu alanda bilgi sahip olmak isteyen araştırmacılar için ilk önce etin olgunlaştırılması ve tüketici lezzet ve yumuşaklık beklentisini karşılamak için yeni bir yöntem olarak düşünülen etin yaş ve kuru yaşlandırma yöntemi ile ilgili belirli başlı bilgiler derlenmiştir. Sonrasında son zamanlarda üzerinde çalışılan bu iki yöntemin bilimsel anlamda bibliyometrik analizleri incelenmiştir.

ETİN OLGUNLAŞTIRILMASI

Et, sağlığa faydalı değerli bir besin maddesidir ve dengeli bir diyetin parçası olmalıdır. Et ve et ürünleri büyüme ve gelişme için gerekli olan protein, vitamin, mineral ve mikro besinleri önemli düzeyde içermektedir. Dünyada 2 milyardan fazla insanın başta A vitamini, iyot, demir ve çinko olmak üzere temel vitamin ve minerallerden eksik olduğu tahmin edilmektedir (Deniz, 2009).

Çiğ kırmızı kas eti yaklaşık 20–25g protein/100g, pişmiş kırmızı et 28–36g/100g protein içerir çünkü pişirme ile su içeriği azalır ve pişirme sırasında besinler daha konsantre hale gelir. Fasulye %78 ve tam buğday %86 oranında protein sindirilebilirliğine sahipken etin yaklaşık protein sindirilebilirliği %94.9'dur. Etten elde edilen protein tüm gerekli amino asitleri (lizin, treonin, metionin, fenilalanin, triptofan, lösin, izölösin, valin) içerir. Protein Sindirilebilirliği Düzeltilmiş Amino Asit Skoru, (maksimum 1.0 puanla) protein kalitesini değerlendirme yöntemidir. Sığır eti gibi hayvansal etlerin puanı, çoğu bitkisel gıda için 0,5-0,7 olan değerlerle karşılaştırıldığında yaklaşık 0,9'dur. Amino asit glutamik asit/glutamin en yüksek miktarlarda ette bulunur (%16,5), ardından arginin, alanin ve aspartik asit gelir (Williams, 2007).

Son yıllarda kırmızı et endüstrisi de tüketici beklentilerini en üst düzeyde karşılamak, sağlığa yararları bilinen taze etin kalitesini ve yenilebilirliğini geliştirmek, aynı zamanda maliyeti de düşük yeni ürünler geliştirmek amacıyla sürekli bir araştırma ve arayış içerisine girmiştir Tüketicilerin daha küçük porsiyon ölçüleri isteğine bağlı olarak, sığır eti perakende satıcıları, yalnızca kebab olarak kullanılabilecek değerli et preparatlarından biftek vb ürünler üretmek durumunda kalmışlardır. Bu bağlamda etin gevrekliği ve lezzeti ön planda tutularak kesilen hayvanın özellikleri ve tüketilebilir niteliğe gelmesi yani “ete dönüşüm” şartları çok önemli hale gelmiştir.

Etin postmortemi yeme kalitesinin (sertlik ve lezzet) geliştirilmesi için gerekli ve yaygın bir prosestir (Terjung vd., 2021). Hayvan kesimi yapıldıktan sonra Rigor mortisin oluşumu ve etin olgunlaştırılmasını (etin yaşlandırılması/meat aging)içine alan fizyolojik ve biyokimyasal değişimler oluşmaktadır (Yeung vd., 2018). Kasın

ete dönüşümü kısaca özetlenmek istenirse, ilk faz olan prerigor fazı ilk bir kaç dakika ile 30 dakika arasında meydana gelmekte; kasların elastikiyetinin azalarak ölüm sertliği olarak da adlandırılan rigor mortisle birlikte maksimum sertliğe ulaştığı rigor fazı ve kaslardaki ölüm sertliğinin enzimatik aktivasyon sonucu kaybolması ile olgunlaşmanın gerçekleştiği olgunlaşma fazı ile üç aşamadan oluşmaktadır (Muştı, 2019). Yenilebilir hayvanların etleri kesimden sonra tüketilemeyecek derecede elastiki, çiğnenebilirliği zordur ve lezzet açısından tüketiciye umulanı vermez durumdadır. Bu durum hayvan etinin bulunduğu ortam sıcaklık derecesine ve sahip olduğu et glikojen oranına bağlı olarak bahsedildiği gibi son aşama rigor mortis (ölüm sertliği) oluşumuna kadar devam eder (Karaduman vd., 2018).

Ölüm sonrası olgunlaştırma ise, sığır karkaslarının veya et parçalarının soğuk koşullarda gevrekliğini arttırmak için uygulanan doğal bir yöntemdir. Kaslarda meydana gelen doğal enzimatik değişiklikler etin gevrekliğinin oluşmasını sağlar. Ölüm sertliğinin oluşum şekline göre pH farklı şekillerde azalır, pH düşmeye başlayınca kas hücrelerinin lizozomlarından inaktif halde bulunan katepsin dahil diğer proteolitik enzimler aktif hale geçerek kas proteinlerini hidrolize etmeye başlarlar. Özellikle kollojenin hidrolizasyonunun yanısıra kas ve bağ doku proteinlerinde parçalanmasıyla et yumuşar. Ölüm sertliğinin enzimatik aktivasyonla kaybolmasına sertlik çözünmesi veya etin olgunlaşması denir. Bu olayda proteinler bir dereceye kadar denature olurlar (Deni, 2009).

Post mortem dönemdeki son aşama olan olgunlaşma fazı ette bir takım duyuşal değişikliklere neden olmakla birlikte fiziksel değişimler sonucunda et artık tüketilebilir özellikle yumuşak hale gelmiştir [30]. Bu proses otolitik bir süreç olup kesim sonrası meydana gelen tüm bu fizyolojik ve biyokimyasal değişimler kasın ete dönüşümünü sağlamaktadır. Post Mortem sonucu meydana gelen tüm süreç sonunda ette **gevreklik, lezzet ve tekstürel** özelliklerinin iyileşmesi beklenmektedir (Karaduman, 2018). Yine bunun yanısıra etlerde oluşan bu sertlik, sarkomer uzunluğu, kas içi bağ ve yağ dokuları gibi birçok sebebe de bağlanmaktadır. Etin gevrekliğinin artması yumuşak ve lezzetli bir ürün eldesi için birçok yöntem geliştirilmiş ve çok sayıda ülkede kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları elektriksel stimülasyon, karkası farklı şekilde gerdirme metotları, bıçaklı gevrekleştirme kullanımı, hidrostatik basınç kullanımı, et yumuşatıcı olarak eksojen enzimlerin kullanımı, kimyasal marinasyon yöntemleri ve geleneksel olgunlaştırma yöntemleri olarak sayılabilir (Özdemir ve Yanar, 2021).

Son yıllarda taze etlerde istenilen bu özelliklere sahip ürün eldesi için iki türlü yöntem kullanılmaktadır; kuru ve yaş olgunlaştırma (Karaduman, 2018). Her iki yöntemde etin kalitesi, yumuşaklığı ve tadını geliştirmeye yönelik işlemlerdir. Yaşlandırma işleminde yaşlandırma süreci ve etin olgunlaştırılan kısmı bunun yanı

sıra iç faktörlerden beslenme, hayvanın cinsiyeti, etin kalitesi de yaşlandırma işleminin sonucu üzerinde etkili olmaktadır (Cho vd., 2018). Aşağıda bu iki yaşlandırma yöntemi ile ilgili bilgi verilmiştir.

Kuru yaşlandırma (Dry aging)

Gıdaların kurutulması, raf ömrünün ve ürün stabilitesinin iyileştirilmesinden, ağırlığın azaltılmasına ve hedeflenen ürünün istenen yeme kalitesine ulaşılması gibi birçok amaçla yapılan bir işleme adıdır. Kurutma işlemi etin kurutulmasında anahtar bir işlemdir. Sığır eti belirli şartlarda (sıcaklık, bağıl nem, hava akımı hızı) kabinde açık havaya maruz bırakılarak yapılan işlem kuru yaşlandırma işlemidir [Alvarez vd., 2021; Kim vd., 20116]. Başka bir çalışmada da kuru yaşlandırma, etin (birincil veya parakende)kesim sonrasında 1 ile 4 °C arasında değişen sıcaklıklarda, 2 ile 7 m/s hava akışı ile %75 ve%80 bağıl nem aralığında 7 ile 80 gün arasında ambalajsız olarak depolanması işlemi olarak tanımlanmıştır (Berger vd., 2018). Kuru yaşlandırma yönteminde en önemli parametreler sıcaklık, bağıl nem, olgunlaşma süresi ve hava akımıdır. Her bir parametre tat, raf ömrü, ürünün hacimsel kaybı, mikrobiyal bozulma, diğer kalite ve ekonomik özellikler üzerine etkilidir. Kurutma sıcaklığı enzimatik süreci etkilediği için dolayısıyla etin lezzet özellikleri ve raf ömrü de etkilidir (mikrobiyal bozulmaya neden olanlar) (FAO, 2014). Eğer et, donma derecesinde olgunlaştırılırsa (-2°C--3°C) olgunlaştırma sürecindeki enzimatik proses yavaşlar, sıcaklık donma derecesinin üzerinde ayarlandığında ise lezzet gelişir fakat mikrobiyal bozulma oluşabilir (USMEF, 2022). Yaşlandırma süresi ise Warner-Bratzler kesme kuvveti ve et yumuşaklığı ile ilgilidir (Cho vd., 2018). Smith ve ark. (2008) kuru yaşlandırma yapılan etlerde yumuşaklığın 14. günden itibaren geliştiğini bildirmektedir. Kuru olgunlaştırmada deponun bağıl nemi oldukça önemli bir noktadır. Bağıl nem düşük olursa ortamda bakteri gelişimi yavaşlar, bu durum traşlama kayıplarına neden olur [12]. Son olarak hava akım hızı ise etin kurumasında homojen bir yapı sağladığı için oldukça önemlidir (Cho vd., 2018).

Kuru olgunlaştırma yöntemi, etin veya parçalarının soğutulmuş sıcaklıklarda lezzetini ve yumuşaklığını arttırarak tüketicilere kaliteli etler sunmakta, bu nedenle yaşlandırılmış etin tüketimi ve üretimi her geçen gün artmaktadır (Gürbüz vd., 2022). Kuru yaşlandırma yöntemi ile olgunlaştırılan etler genellikle üst seviye restoranlarda ve gurme marketler gibi et tedarikçilerinde bulunmakta ve tüketiciler tarafından tercih edilmektedir (Akıncı, 2015). Kim ve ark. (2016) yaptıkları anket çalışmasında özellikle restoranların ve dağıtım şirketlerinin (-1°C)-(4°C) sıcaklığı, %65-%90 bağıl nemi, yaşlandırma süreci olarak 14-60 günün kullanıldığını bildirmişlerdir (Cho vd., 2018). Yöntemin en

önemli dezavantajı özel kabin gerekmesi ve sürecin zaman ihtiyacıdır (Biscof vd., 2022).

Kuru olgunlaştırma prosesinin etin lezzetini önemli oranda iyileştirdiği, ürüne kalitesinden dolayı iyi fiyat özelliği kazandırdığı bildirilmektedir. Kuru olgunlaştırmanın uzun sürmesi, nem kaybı ve trimming nedeniyle oluşan yüksek firenden dolayı maliyeti yükseltmesi, yaş olgunlaştırma prosesine kıyasla verimi düşük bir proses gibi görünmekle birlikte son üründe gelişmiş lezzet kriterleri ile son derece spesifik olup ve gevreklik ve lezzet açısından tercih edilir (Karaca Demircioğlu, 2021).

Ambalajsız yaşlandırma, enzimatik proteoliz, yağ asitleri oksidasyonu, Malliard reaksiyonu, psikrotrof aerobik bakteri, maya gelişimi ile lezzet ve değer kazanmış bir proses olarak sonuçlanır. Islak yaşlandırma ile karşılaştırıldığında kuru yaşlandırılmış et daha etsi ve rosto edilmiş renk ve tat yani daha arzu edilen özelliklere sahiptir (Berger vd., 2018). Kim vd (2016) çeşitli kuru yaşlandırma yöntemlerinin et üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada kuru yaşlandırmada meydana gelen lezzet öncülerinin yaş yaşlandırmaya göre daha fazla meydana geldiğini ve kuru olgunlaştırmada/yaşlandırmada en iyi lezzeti 3⁰C'de 0.2m/s ve %49 bağıl nem koşulları sağlandığında elde ettiklerini bildirmişlerdir (Zamora vd., 2015). Senyabrata vd. (2021) kuru yaşlandırma, yaş yaşlandırma ve UV-ışık kuru yaşlandırma tekniğinin domuz etinin gevreklik ve tat bileşenlerine baktıkları çalışmada kuru yaşlandırma tekniklerinin et kalitesi, et aroması ve mikrobiyolojik özellikler üzerine olumsuz etkisi olmadığını bildirmişlerdir. Yine Richordsan vd., (2008) kuru yaşlandırma tekniği uyguladıkları karkasın sululuk ve yumuşaklık gibi iyi yeme özelliklerinin yaş yaşlandırmaya göre daha iyi olduğunu ifade etmişlerdir. Ama buna karşın duyuusal test analizinde panelistler yaş ve kuru yaşlandırılmış karkasların arasında lezzet açısından bir fark olmadığını bildirmişlerdir (p>0.05).

Olgunlaşma öncesi etin kaliteli üretim ve depolama koşullarındaki hijyenik pratikler kuru yaşlandırılmış etin mikrobiyal kalitesini tanımlamaktadır. Depolama boyunca *Pseudomonas spp.*, *Brochothrix thermosphacta* ve laktik asit gibi bakteriler gelişim göstererek raf ömrünü sınırlandırmaktadırlar. Bunun yanı sıra *Listeria monocytogenes*, *Enterohaemorrhagic Escherichia coli* (EHEC) ve Salmonella spp. gibi patojenler etlerde bulunabilir ve uygun şartlarda depolama boyunca çoğalabilirler. Belçika'da farklı 15 iş yerinden alınan kuru yaşlandırılmış et örneklerinde çok miktarda psikrotrof aerobik bakteri, *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonas spp.*, *B. thermosphacta*, psikrotrof laktik asit bakterileri ve maya et yüzeylerinde tespit edilmiştir. Çalışmada hijyenin sağlanması için kabuk kesimin (trimming)'de ki hijyenik uygulamalar

ve son ürünün uygun şekilde saklanması kritik öneme sahip olduğuna yer vermişlerdir (Biscof vd. 2022). Yapılan bir araştırmada 78% bağıl nem ve 2 °C ile minimal hava hızı (<0.2 m/s) koşullarında 28 gün yaş, kuru ve vakum paketlenmiş (3.3 O₂ cc/m²/24 h at 23 °C ve 0% bağıl nem ve su buharı geçirgenliği 0.4 g/m²/24 saat at 38 °C ve 90% bağıl nem) *M. longissimus* lumborum 28 gün yaşlandırılmıştır. Kuru yaşlandırmanın yeme kalite özelliklerini arttırdığı mikrobiyal gelişim üzerine negatif bir etki yaratmadığı bildirilmiştir. Vakum paketlenmiş kuru yaşlandırılmış etin ise nem ve ürün kaybı yaş yaşlandırmaya göre çok düşük olduğu bildirilmiştir (p<0.05) [4]. Yine kuru yaşlandırma (60 gün olgunlaştırma, buzdolabı sıcaklığı, %70-80 bağıl nem) tekniğinin etin mikrobiyal gelişiminin incelendiği araştırmada mikrobiyotanın etin güvenliği ve kalitesi üzerinde etkili olduğunu ortaya koymuşlardır (Gowda vd. 2022).

Kuru ve yaş yaşlandırma yapılan ette; etsi, yağlı, fındıksı, ve kavrulmuş gibi özel tatların çıkmasını sağlayan yöntemlerdir. Ancak bu aromaları oluşturan mekanizma tam olarak belirlenememiştir (Setyabrata vd., 2021). Metabolomik, metabolitleri (yani molekül ağırlığı<1kDa olan bileşikler) içeren biyokimyasal süreçlerin incelenmesidir ve belirli bir biyolojik sistemdeki bir çok metaboliti belirli zamanda ve belirli koşullar altında ölçmeyi (nitel ve ya niceliksel) amaçlar. Et biliminde metabolikler etin yumuşaklığını, farklı paketlenme yöntemlerinin etkisini, olgunlaşma sürecinin etteki metabolit değişimini, sığır eti metabolitlerine diyetin etkisini ölçmek için kullanılmıştır (Kim vd., 2016, Setyabrata vd., 2021). Metabolitlerle ilgili kuru yaşlandırma metabolitlerinin (tat öncül bileşikleri) incelendiği çalışmada tüm veriler ele alındığında en iyi grubun 3C'de, %49 bağıl nem ve 0.2m/s'de kuru yaşlandırılmış sığır eti fileto grubunun olduğunu bildirmişlerdir. Toplamda 32 metabolitin tanımlandığı çalışmada bu metabolitlerin et tadı ve lezzeti ile direkt ya da indirekt olarak etkili olduğu özellikle 8 metabolitin yaş yaşlandırmaya göre kuru yaşlandırmanın daha fazla içerdiğini bildirmişlerdir. Tryptofan, fenilalanin, valin, tirozin, glutamat, izolösin ve lösin yaş yaşlandırılmış örneklerle göre kuru yaşlandırılmış sığır eti filetolarında daha fazla tespit edilirken yaş yaşlandırılmış örneklerde IMP oranı kuru yaşlandırılmış örneklerle göre daha fazla olduğu belirlenmiştir (p<0.05). Tüm metabolitlerin miktarının artmamasına rağmen metabolit profilindeki değişimin protein hidrolizi seviyesi farklılığından kaynaklı olabileceği öne sürülmüştür (Kim vd., 2016). Başka bir çalışmada kuru yaşlandırma yapılan ette *Pilaira anomala* ve *Debaryomyces hansenii* varlığının serbest aminoasit miktarını arttırdığı bildirilmiştir. Çalışma yazarları mikroorganizmaların salgıladığı eksojenik proteolitik ve lipolitik enzimlerin kas yıkımını hızlandırabileceğini bildirmişlerdir. Bu yüzden mikroorganizmanın

rolünün ve tat öncül bileşiklerinin salınımındaki artmanın nedenini anlamada mikroorganizma karakteristiği önemlidir (Lee vd., 2019).

Yaş Yaşlandırma (Islak Yaşlandırma/ Wet aging)

Yaş yaşlandırma yüksek oranda su geçirir paket içinde etin yaşlandırma sistemi olarak, geleneksel kuru yaşlandırmanın geliştirilmiş halidir (Li vd., 2014). Yaş yaşlandırma buzdolabı şartlarında (-1 ve 2⁰C) 3 ile 83 gün arasında süren eti bozulmadan ve kurumadan koruyarak vakum paketli anaerobik olgunlaşma olarak tarif edilebilir (Suliman vd., 2020). Burada vakum paketleme ile etin olgunlaştırılmasındaki amaç etin neminin buharlaşmasının önlenerek verim düşüşünü engellemek ve mikrobiyal gelişimi önlemektir (Ryu vd. 2018).

1960'ların sonlarına doğru ticari vakum paketleme teknolojisinin gelişmesiyle yaş olgunlaştırma bir endüstri standardı haline gelmiştir (Karaca Demircioğlu, 2021). 1960'lı yıllarda yaş yaşlandırmanın (ıslak yaşlandırma) bu kadar popüler olmasının nedeni depolama ve taşıma sırasındaki düşük yaşlandırma kaybı ve kuru yaşlandırmaya göre daha kolay bir yöntem olmasıdır (Li vd., 2014; Zhang vd. 2022). Anaerobik ortam koşulları nedeniyle laktik asit bakterileri dominant durumdadır. Paketleme kurumanın meydana getirdiği etkilerden korur, bu yüzden etin dış yüzeyi için kabuk traşı işlemi gerekli olmamaktadır. Ayrıca et yüzeyi kabuk traşı işlemi yapılmadığı için maliyeti düşürür ve iş yükü açısından kolaylık sağlamaktadır. Etin lezzet özelliklerinin çoğu yaş yaşlandırma ile arttırılırken tat özellikleri serumsu, metalik ve kan tadı gibi olumsuz olarak belirtilmektedir (Biscof vd., 2022, Laster vd., 2008, Terjung vd., 2021).

Suliman ve ark. (2020) erkek deve etlerinin (12, 18 ve 24 aylık) kesiminden sonra *Longissimus dorsi* kasını üçe ayırarak 0, 5, 10 gün vakum paketlenmişlerdir. 12 aylık erkek deve etlerinin pişirme kaybı diğer gruplara göre daha düşük bulunmuş ($p<0.05$) ve yine aynı grup duyu analizde sululuk, tat, gevreklik ve genel skor olarak en yüksek puanı almıştır ($p<0.05$). Richardson vd. (2008) kuru yaşlandırma yapılmış karkasın sululuk ve yumuşaklık özelliklerinin, yaş yaşlandırma yapılmış aynı karkasa ait ete göre daha fazla bulunduğu ifade edilirken; Kim vd (2017), kuru yaşlandırılmış karkas eti ile yaş yaşlandırma yapılmış et grupları arasında panelistlerin tat farklılığı tespit edemediklerini bildirmişlerdir ($p>0.05$).

Son yıllarda yaş yaşlandırma sadece sığır eti, domuz eti ve kuzu eti gibi hayvansal ürünlerde değil deniz ürünlerinde de kullanılmaktadır ama bu konu ile ilgili çok az çalışma yapılmıştır (Shen vd., 2022).

Bibliyometrik analiz

Bibliyometrik analiz, üzerinde çalışılan konu ile ilgili bilimsel çalışmaların tüm bilgilerini ele alarak en üretken yazarları, trend konuları, en ilgili kaynaklar, belgeleri, kurumları ve ülkeleri ve hatta ülkelerin bilimsel faaliyetlerinde ki ortaklıklarını arasındaki gösteren bir istatistiksel bir analizdir (Martín-Navarro vd., 2022). Böylece bibliyometrik analiz belirlenen konuda akademik faaliyetlerin yansız kriterlere göre analiz edilmesine olanak sağlamaktadır (Öztürk, 2022).

Bu makalenin amacı, ette kuru ve yaş yaşlandırma konusunu ele almış bilimsel faaliyetlerde literatürü belirlemek, nicelleştirmek ve bibliyometrik istatistiksel yöntemi ile kuru ve yaş yaşlandırma ile yayınların en fazla atf alanları, en fazla konuya yer veren dergileri, konu ile ilgili çalışan yazarlar ve diğer ülkelerle işbirlikler vb veriler bibliyometrik olarak istatistik edilmiştir. Bu sayede söz konusu konu ile ilgili çalışacak araştırmacılara çalışmayı gönderebilecekleri dergi, ön planda çalışılması gereken konular veya ortak olarak çalışabilecekleri kişi veya kurum vb. hakkında bilgi sağlayacaktır.

MATERYAL VE METOT

Veri Kaynağı

Bibliyometrik analiz verilerine ulaşmayı sağlamak için Web of Science veri tabanından toplamda konu ile alakalı (1991-2022 yılları arası) en alakalı 216 bilimsel araştırma 12.09.2022 tarihinde txt. Formatında elde edilmiştir. Araştırılmak istenen söz konusu ile ilgili çeşitli anahtar kelime girişleri denenmiş “kuru yaşlandırma” ve “yaş yaşlandırma” terimleri gıda alanında çalışmalardan oluşmasını sağlamak için bu iki terime “et” ve “biftek” kelimeleri de eklenerek amaca en uygun anahtar kelimeler seçilmiştir. Veri tabanı İngilizce olduğu için anahtar kelimeler “**dry aging**” **meat or** “**wet aging**” **meat or** “**dry aging**” **beef or** “**wet aging**” **beef** olarak saptanmıştır. Sadece “meat” kombinasyonlu anahtar kelime aramalarında “beef” içeren bilimsel faaliyetlere ulaşamadığı belirlenmiştir. ‘Beef’ içeren kuru veya yaş yaşlandırma içeren araştırmaları tespit edebilmek için araştırmalar yukarıda da verildiği gibi 4 farklı şekilde yazılmıştır. Bu anahtar kelime kombinasyonları (string) bilimsel faaliyetlerin konu başlıkları, özet ve anahtar kelimelerinde taranmıştır.

Bilimsel faaliyetler en fazla atıf alan makaleden en aza doğru ilk 20’si sıralanmış ve Tablo 1.’de verilmiştir. Bilimsel faaliyetlerin herhangi bir tür kısıtlaması olmaksızın tüm (makale sayısı:116, derleme sayısı: 5, Early Access sayısı:2, proceeding makale sayısı: 1) makaleler istatistiksel olarak analize dahil edilmiştir. Araştırma RStudio ve VOSviewer Bibliyometrik analiz programları ile analiz edilmiştir.

TARTIŞMA

Kuru ve Yaş Yaşlandırma Konusunda Dünyada En Fazla Atıf Almış 20 Makale İncelemesi

Tablo 1.'de Dünya çapında en fazla atıf almış 20 bilimsel faaliyet: 1) Yayınlama yılı 2) Bilimsel faaliyet konusu 3) Yayınlama araştırma yayınlandığı yılda impact faktörü 4) Toplam atıf sayısı 5) Yayımlandığından bu yana her yıl aldığı ortalama atıf sayısı 6) Yazarlar 7) Bilimsel çalışma türü konularında incelenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Kuru ve yaş Yaşlandırma konusu ile ilgili dünyada en fazla atıf alan çalışmalar

Table 1. The most cited studies in the world on dry and Wet aging

Sıra	Makale künyesi	Yayın yılı	Toplam Alman Atıf	Her yılda Alman Ortalama Atıf
1	Kim, Y. H. B., Kemp, R., & Samuelsson, L. M. (2016). Effects of dry-aging on meat quality attributes and metabolite profiles of beef loins. <i>Meat science</i> , 111, 168-176.	2016	115	16,429
2	Campbell, R. E., Hunt, M. C., Levis, P., & Chambers Iv, E. (2001). Dry-aging effects on palatability of beef longissimus muscle. <i>Journal of Food Science</i> , 66(2), 196-199.	2006	99	4,5
3	Smith, R. D., Nicholson, K. L., Nicholson, J. D. W., Harris, K. B., Miller, R. K., Griffin, D. B., & Savell, J. W. (2008). Dry versus wet aging of beef: Retail cutting yields and consumer palatability evaluations of steaks from US Choice and US Select short loins. <i>Meat science</i> , 79(4), 631-639.	2008	83	5,533
4	Laster, M. A., Smith, R. D., Nicholson, K. L., Nicholson, J. D. W., Miller, R. K., Griffin, D. B., ... & Savell, J. W. (2008). Dry versus wet aging of beef: Retail cutting yields and consumer sensory attribute evaluations of steaks from ribeyes, strip loins, and top sirloins from two quality grade groups. <i>Meat Science</i> , 80(3), 795-804.	2008	71	4,733
5	Sitz, B.M., Calkins, C.R., Freuz, D.M., Umberger, W.J., Eskridge, K.M., 2006. Consumer sensory acceptance and value of wet aged and dry aged beef steaks. <i>Journal of Animal Science</i> , Volume 84, Issue 5., 1221-1226. https://doi.org/10.2527/2006.8451221x	2006	71	4,176
6	DeGeer, S. L., Hunt, M. C., Bratcher, C. L., Crozier-Dodson, B. A., Johnson, D. E., & Stika, J. F. (2009). Effects of dry aging of bone-in and boneless strip loins using two aging processes for two aging times. <i>Meat Science</i> , 83(4), 768-774.	2009	64	4,571

7	Ahnström, M. L., Seyfert, M., Hunt, M. C., & Johnson, D. E. (2006). Dry aging of beef in a bag highly permeable to water vapour. <i>Meat Science</i> , 73(4), 674-679. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.03.006 .	2006	62	3,647
8	Kim, Y. H. B., Ma, D., Setyabrata, D., Farouk, M. M., Lonergan, S. M., Huff-Lonergan, E., & Hunt, M. C. (2018). Understanding postmortem biochemical processes and post-harvest aging factors to develop novel smart-aging strategies. <i>Meat Science</i> , 144, 74-90.	2018	62	12,400
9	Parrish Jr, F. C., Boles, J. A., Rust, R. E., & Olson, D. G. (1991). Dry and wet aging effects on palatability attributes of beef loin and rib steaks from three quality grades. <i>Journal of Food Science</i> , 56(3), 601-603.	1991	59	1,844
10	Iida, F., Miyazaki, Y., Tsuyuki, R., Kato, K., Egusa, A., Ogoshi, H., & Nishimura, T. (2016). Changes in taste compounds, breaking properties, and sensory attributes during dry aging of beef from Japanese black cattle. <i>Meat Science</i> , 112, 46-51.	2016	48	6,857
11	Feuz, D. M., Umberger, W. J., Calkins, C. R., & Sitz, B. (2004). US consumers' willingness to pay for flavor and tenderness in steaks as determined with an experimental auction. <i>Journal of Agricultural and Resource Economics</i> , 501-516.	2004	43	2,263
12	Khan, M. I., Jung, S., Nam, K. C., & Jo, C. (2016). Postmortem aging of beef with a special reference to the dry aging. <i>Korean journal for food science of animal resources</i> , 36(2), 159.	2016	41	5,857
13	Berger, J., Kim, Y. H. B., Legako, J. F., Martini, S., Lee, J., Ebner, P., & Zuelly, S. M. S. (2018). Dry-aging improves meat quality attributes of grass-fed beef loins. <i>Meat Science</i> , 145, 285-291.	2018	40	8
14	Lepper-Blilie, A. N., Berg, E. P., Buchanan, D. S., & Berg, P. T. (2016). Effects of post-mortem aging time and type of aging on palatability of low marbled beef loins. <i>Meat Science</i> , 112, 63-68.	2016	39	5,571
15	Lee, H. J., Choe, J., Kim, M., Kim, H. C., Yoon, J. W., Oh, S. W., & Jo, C. (2019). Role of moisture evaporation in the taste attributes of dry-and wet-aged beef determined by chemical and electronic tongue analyses. <i>Meat science</i> , 151, 82-88.	2019	36	9
16	Algino, R. J., Ingham, S. C., & Zhu, J. (2007). Survey of antimicrobial effects of beef carcass intervention treatments in very small state-inspected slaughter plants. <i>Journal of Food Science</i> , 72(5), M173-M179.	2007	36	2,250
17	Kim, Y.H.B., Meyers, B., Kim, H.W., Liceaga, A.M., Lemenager, R.P. Kim, Y. H. B., Meyers, B., Kim, H. W., Liceaga, A. M., & Lemenager, R. P. (2017). Effects of stepwise dry/wet-aging and freezing on meat quality of beef loins. <i>Meat</i>	2017	34	5,667

	<i>Science</i> , 123, 57-63., 2017. Effects of stepwisw dry/wet aging and freezing on meat quality of beef loins. <i>Meat Science</i> . Volume 123, 57-63. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.09.002			
18	Ryu, S., Park., M. R., Maburutse, B. E., Lee, W. J., Park., D. J., Cho, S., ... & Kim, Y. (2018). Diversity and characteristics of the meat microbiological community on dry aged beef. <i>Journal of Microbiology and Biotechnology</i> , 28(1), 105-108.	2018	31	6,200
19	Lee, H. J., Choe, J., Kim, K. T., Oh, J., Lee, D. G., Kwon, K. M., ... & Jo, C. (2017). Analysis of low-marbled Hanwoo cow meat aged with different dry-aging methods. <i>Asian-Australasian Journal of Animal Sciences</i> , 30(12), 1733.	2017	29	4,833
20	Aroeira, C. N., de Almeida Torres Filho, R., Fontes, P. R., Ramos, A. D. L. S., de Miranda Gomide, L. A., Ladeira, M. M., & Ramos, E. M. (2017). Effect of freezing prior to aging on myoglobin redox forms and CIE color of beef from Nellore and Aberdeen Angus cattle. <i>Meat Science</i> , 125, 16-21.	2017	28	4,667

Tablo 1.'de de görüldüğü gibi dünya çapında kuru ve yaş yaşlandırma ilgili en fazla atıf alan çalışmaların künyeleri, toplam atıf sayıları ve her yıl aldıkları ortalama atıf sayıları verilmiştir. Özellikle ilk sırada yer alan Kim vd. (2016) yılında yayınladıkları çalışmanın hem toplam atıf sayısı hem de her yıl alınan ortalama atıf sayısında diğer çalışmalardan daha fazla ilgi gördüğü söylenebilir. Yeung vd. (2018) yayınladıkları makalede çalışmaların atıf sayısında derginin impact faktörünün yüksekliği ya da düşüklüğünün önemli olduğu bildirilmektedir. Derginin impact faktörü arttıkça araştırmanın atıf alma sayısının da arttığı bildirilmektedir. Kuru ve Yaş Yaşlandırma Konusu ile en ilgili en çok atıf almış 20 makaleden 11 tanesinin 2016 ve sonrası yıllarında yayınladıkları görülmektedir. Dolayısıyla som zamanlarda et ve et ürünleri teknolojisinde çalışılan trend konulardan birinin “yaşlandırma/olgunlaştırma” olduğu görülmektedir.

Bilimsel çalışmaların yayınladıkları dergiler

1991-2022 yılları arasında kuru ve yaş yaşlandırmaya ait bilimsel çalışmaların (n=216) yayınladıkları dergiler ve dergide söz konusu konuya ait makale sayısı Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 2. Dergi isimleri ve yayınlanan makale sayısı

Table 2. Journal names and number of published articles

Dergi İsmi	Makale Sayısı
Meat Science	26
Food Science of Animal Resources	11
Korean Journal For Food Science of Animal Resources	8
Foods	7
Journal of Animal Science And Technology	6
Journal of Food Science	6
Journal of Animal Science	5
Asian-Australasian Journal of Animal Sciences	4
Fleischwirtschaft	3
Food Microbiology	3
Food Research International	2
Animal Production Science	2
Animals	2
Critical Reviews In Food Science And Nutrition	2
International Journal of Gastronomy And Food Science	2
Italian Journal of Food Safety	2
Journal of Food Processing And Preservation	2

En fazla bir kere atıf almış olan diğer dergiler ise: Animal Bioscience, Animal Science Journal, animal Science Papers and Reports, Applied Animal Science, Archives Animal Breeding, Canadian Journal of Animal Science, Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, Food Chemistry, Food Science and Biotechnology, Food Science and Technology International, Hardwarex, Journal og Agricultural and Resource Economics, Journal of Applied Animal Research, Journal of Applied Microbiology, Journal of Chemistry, Journal of Food Process Engineering, Journal of Food Protection, Journal of Food Quality, Journal of Microbiology and Biotechnology, LWT-Food Science and Technology, Medycyna Weterynaryjna-Veterinary Medicine-Science And Practice, Metabolites, Microbioloyopen, Molecules, Processes, Scientefic Reports, Chemistry And Chemical Engineering Biotechnology Food Industry, Ukranian Food Journal, Veterinary Research Forum, Veterinary Sciences'tır.

Tablo 2.'den de görüldüğü gibi kuru ve yaş yaşlandırma ile ilgili yayınlara en fazla yer veren dergi "**Meat Science**" (%12 toplam yayınlara göre) olmuştur. İkinci ve üçüncü olarak sırasıyla "Food Science of Animal Resources" ve "Korean Journal For Food Science of Animal Resources" dergileri en fazla söz konusu konuya yer veren dergiler olarak görülmektedir. R Studio bibliyometrik verilerine göre yıllık konu ile ilgili üretim hızı %15,79'tur. Özellikle 2015 yılından sonra kuru ve yaş yaşlandırma ile ilgili çalışmaların ivme kazandığı görülmektedir. 2019 yılında 19, 2020 yılında 21, 2021 yılında ise bilimsel çalışma sayısı 26 sayısına ulaşmıştır.

Kelime Analiz Haritası

Yaş ve kuru yaşlandırma ile ilgili makalelerin (n=216) başlıklar ve özetlerde yer alan kelimelerin analizi yapılarak etki terimlerini görselleştirmek amacıyla bir terim haritası oluşturulmuştur (Şekil 1.) Bilimsel faaliyetlerde çoğunda yer alan 34 kelime VOSviewer bibliyometrik analizinde 3 kümeyle biçimlendirilmiştir.

Başlıklarda ve özetlerdeki akademik çalışmaların (n=126) bazı kelimeleri ayrıştırılarak (p değeri vb) VOSviewer Programı tarafından analiz edilmiş ve görselleştirilmiştir. Her balon bir terimi ifade etmektedir. Balonun büyüklüğü kelimenin kullanılma sıklığını göstermektedir. Terim balonunun rengi ise alınan ortalama atıf sayısını göstermektedir. İki terimin birbirine yakınlığı yayınlarda bu iki terimin yan yana kullanılma sıklığını ortaya koymaktadır. Son zamanlarda 2020 yılında özellikle akademik yayınlarda meat (kırmızı et), muscle (kas), dry aged beef (kuru yaşlandırılmış dana eti), process (proses), crust (kabuk) kelimelerinin geçtiği yayınların daha çok atıf aldığı görülmektedir.

“et kalitesi, “tenderness” yumuşaklık kelimelerinin kullanılma sayılarının arttığı Tablo 3.’ te görülmektedir.

Tablo 3. Bilimsel faaliyetlerin başlık ve özetlerinde en fazla kullanılan kelimelerin son 5 yıla ait analiz tablosu

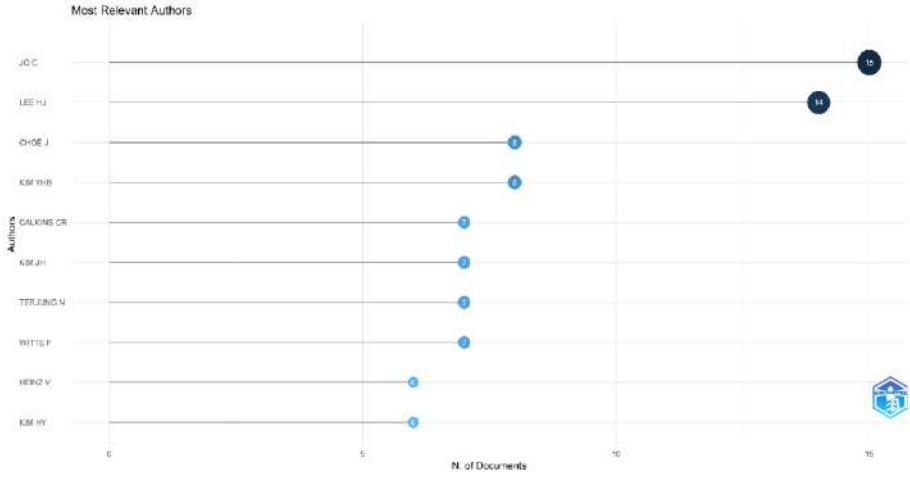
Table 3. Analysis table of the most used words in the titles and summaries of scientific activities for the last 5 years

Yıl	S	P	MQ	T	B	RC	V	A	M	Q
2022	34	33	30	28	25	22	22	20	17	17
2021	29	28	26	26	22	19	20	17	16	17
2020	25	25	20	19	15	16	16	14	11	14
2019	17	22	13	15	11	11	13	9	7	9
2018	13	14	7	9	6	8	9	7	7	7

S: Steaks, P: Palatability, MQ: Meat Quality, Beef: Biftek, RC:Retail cutting, V: Vakum, A:Attributes, M: Meat, Q:Quality

Yazarlar

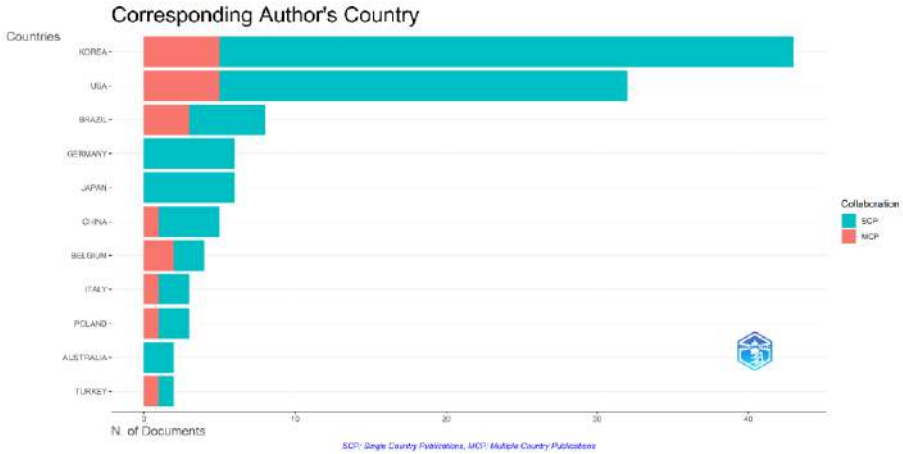
Son yıllarda üzerine birçok çalışma yapılmakta olup kuru ve yaş yaşlandırma ile ilgili çalışmalarda en çok konu ile ilgili çalışma yapan yazarlara ait bilgi Şekil 2.’de verilmiştir. Şekil 2.’de de görüldüğü gibi konu ile ilgili en çok çalışma yapan yazar Cheorun Jo (Jo, Cheorun)’dur. Yazar 2015’den bu yana Seul Üniversitesi’nde çalışmaktadır. Yazarın H indeksi 14, Web of Science Core Koleksiyonunda toplam 70 yayını bulunmaktadır. Makaleleri gıda bilim ve teknolojisi, gıda mikrobiyolojisi ve zootekni alanında makale yayımlanan birçok dergide yayınlanmıştır. Web of Science tabanında 553 adet atıf aldığı görülmektedir. Sıralamada en fazla yaşlandırma konusunda makalesi olan yazar Hyun-Jung Lee (Lee,Hyun-Jung)’tur. Yazar 2018’den bu yana Soonchunhyang Üniversitesi’nde görev yapmaktadır. Yazarın H indeksi 45 olup makalelerine 7781 adet atıf yapılmıştır. Web of Science tabanında 570 adet makalesi bulunmakta ve ilk sırada yer alan Jo, Cheorun yazarı ile de kuru ve yaş yaşlandırma üzerine ortak çalıştıkları makaleler bulunmaktadır.



Şekil 2. Kuru ve Yaş yaşlandırma üzerine yayın yapan yazarlar (Web of Science tabanlı)

Figure 2. Authors publishing on dry and wet aging (Web of Science based)

Kuru ve yaş yaşlandırma üzerine yapılan makalelerin sorumlu yazarlarının kendi ülke araştırmacıları ya da diğer ülke araştırmacıları ile yaptıkları makale sayıları Şekil 3.'de görülmektedir. Şekilde görülen SCP; sorumlu yazarın kendi ülke araştırmacıları ile yaptığı makale sayısını gösterirken, MCP ise diğer ülke araştırmacıları ile iş birliği yaptığı makale sayısını göstermektedir.



Şekil 3. Sorumlu yazarların kendi ülke bilim insanları ve diğer ülke bilim insanları iş birliklerine göre makale sayısı (Web of Science tabanlı)

Figure 3. Number of articles by co-authors by their own country scientists and other country scientists collaborations (Web of Science base)

Kuru ve yaş yaşlandırmaya yönelik en fazla çalışmanın Kore’de yapıldığı görülmektedir. Sorumlu yazarların kendi ülke araştırmacılarıyla 38, diğer ülke araştırmacılarıyla iş birliği yaptığı çalışma sayısı 5’tir. Yine Amerika Birleşik Devletleri’nin de yaş ve kuru yaşlandırma ile ilgili diğer ülkelere göre daha fazla yayın yaptığı görülmektedir. Ancak iş birliği yaptığı diğer ülkelerle olan yayın sayısı yine beş (5)’tir. Almanya ve Japonya ise çalışmaya yönelik diğer ülke araştırmacılarıyla iş birliği oluşturmamışlardır. Listede on ikinci (12.) olarak yer alan Türkiye’de yine Web of Science tabanına dayanarak kendi ülke araştırmacıları ve diğer ülke araştırmacıları ile yaptığı yayın sayısı 1’dir.

SONUÇ

Kasların ete dönüşümü sırasında ette birçok reaksiyon meydana gelmektedir. Postmortem meydana gelen değişimlerin son aşaması olup ette gevrekliğin, yumuşaklığın ve lezzet öğelerinin oluşması için önemli bir evredir. Kuru ve yaş yaşlandırma yapılan etlerde son aşama olan postmortem daha gıda güvenli ve tekstürel anlamda daha kontrollü bir şekilde sürdürülmekte tüketicinin beklentisi olan ette tekstür ve aroma öğeleri sağlanarak ürünün katma değeri de arttırılmaktadır. Bu konuda özellikle aroma gelişimi, tekstür ve mikrobiyolojik alanda çalışmalar hızla devam etmektedir.

Bu makalede iki farklı bibliyometrik analiz programı kullanılarak özellikle en çok atıf alan ve kuru ve yaş yaşlandırma üzerine yapılan akademik faaliyetler ile Web of Science tabanı taranarak (n:126) ilgili veriler analiz bibliyometrik olarak analiz edilmiştir. Derlemede en fazla atıf alan 20 makale tablo şeklinde verilerek çalışılan konular ortaya konmuş ve özellikle çalışmaların 2016 ve sonrasında olduğuna dikkat çekilmek istenmiştir. En fazla konu ile ilgili çalışmaların ‘*Meat Science*’ dergisinde yer aldığı ve özellikle Kore’de konu ile ilgili çalışmaların yapıldığı ortaya konmuştur. Ülkeler arası kuru ve yaş yaşlandırma ile akademik iş birliklerinin olduğu görülmektedir. Türkiye’de konu ile ilgili çalışmaların oldukça sınırlı sayıda olduğu görülmüştür. Kelime dinamiklerine bakıldığında aslında bir anlamda da kuru ve yaşlandırma ilgili çalışmaların temel yapılma amacı olan biftek, lezzet, et kalitesi, yumuşaklık kelimelerinin olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle çalışmalarda raf ömrü (TBARS ve mikrobiyolojik analiz), depolamada aroma oluşumu ve konusunda uzman kişilerin duyu panelde yer alması vb gelecek çalışmalarda dikkat edilmesi gereken konular olacaktır. Küf ve mayanın, kuru ve yaş yaşlandırma üzerine etkin rolünü belirlemeye yönelik gelecekteki çalışmalarda, kuru yaşlandırma lezzet gelişimindeki rollerini belirleme açısından ilgi çekici olacaktır.

Sonuç olarak gıda temelli akademik çalışmalara bakıldığında bibliyometrik çalışmalarının çok az olduğu görülmektedir. Bu çalışma ile etlere uygulanan

kuru ve yaş yaşlandırma ile ilgili bilimsel çalışmalar derleme ve istatistik olarak iki çatı altında irdelenmiş akademik çalışma yapmak isteyen araştırmacıların çalışmalarına yön verilmek istenmiştir.

REFERANSLAR

- Akıncı, İ. (2015). *Dry aging application in home-type refrigerators* (Master's thesis, Middle East Technical University).
- Álvarez, S., Álvarez, C., Hamill, R., Mullen, A. M., & O'Neill, E. (2021). Drying dynamics of meat highlighting areas of relevance to dry-aging of beef. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(6), 5370-5392.
- Barragán-Hernández, W., Leighton, P. L. A., López-Campos, O., Segura, J., Aalhus, J. L., & Prieto, N. (2022). Effect of in-the-bag dry-aging on meat palatability and volatile compounds of cull cows and youthful steers. *Meat Science*, 188, 108800.
- Berger, J., Kim, Y. H. B., Legako, J. F., Martini, S., Lee, J., Ebner, P., & Zuely, S. M. S. (2018). Dry-aging improves meat quality attributes of grass-fed beef loins. *Meat Science*, 145, 285-291.
- Bischof, G., Witte, F., Terjung, N., Januschewski, E., Heinz, V., Juadjur, A., & Gibis, M. (2022). Effect of sampling position in fresh, dry-aged and wet-aged beef from M. Longissimus dorsi of Simmental cattle analyzed by 1H NMR spectroscopy. *Food Research International*, 156, 111334.
- Cho, S., Kang, S. M., Kim, Y. S., Kim, Y. C., Van Ba, H., Seo, H. W., ... & Kim, J. H. (2018). Comparison of drying yield, meat quality, oxidation stability and sensory properties of bone-in shell loin cut by different dry-aging conditions. *Korean journal for food science of animal resources*, 38(6), 1131.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2014). *FAO World Food Outlook 2014*. <https://www.fao.org/ag/againfo/themes/en/meat/background.html>. Erişim Tarihi: 25.05.2022
- Deniz, E. E. (2009). Kesim sonrasında farklı sürelerde enjekte edilen marinat çözeltilerinin et kalitesi üzerine etkileri (Doktora tezi) Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İzmir, Türkiye.
- Gowda, T. K., De Zutter, L., Van Royen, G., & Van Damme, I. (2022). Exploring the microbiological quality and safety of dry-aged beef: A cross-sectional study of loin surfaces during ripening and dry-aged beef steaks from commercial meat companies in Belgium. *Food Microbiology*, 102, 103919.
- Gürbüz, Ü., Kahraman, H. A., Telli, A. E., Biçer, Y., & Doğruer, Y. (2022, March). Comparison of meat quality characteristics of dry aged lamb loins and optimization of dry aging process. In *Veterinary Research*

- Forum* (Vol. 13, No. 1, p. 21). Faculty of Veterinary Medicine, Urmia University, Urmia, Iran.
- Karaca Demircioğlu, S., (2021). Kuru ve Yaş Olgunlaştırma Yöntemlerinin Taze Sığır Eti Kalitesi Üzerine Etkilerinin Araştırılması. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Bölümü, Aydın.
- Karaduman Atış, T. (2018). *Kuru olgunlaştırma yönteminin taze sığır etlerinin fizikokimyasal, mikrobiyolojik ve duyuşal özelliklerine etkisi* (Master's thesis), Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Karaduman, T. A., Gökçe, R., Ergezer, H., & Akcan, T. (2018). Kuru Olgunlaştırma Yöntemi ile Olgunlaştırılan Bonfile, Nuar ve Kaburga Etlerinin Bazı Fizikokimyasal ve Duyusal Özellikleri. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, (20), 46-54.
- Kim, Y. H. B., Kemp, R., & Samuelsson, L. M. (2016). Effects of dry-aging on meat quality attributes and metabolite profiles of beef loins. *Meat science*, 111, 168-176.
- Kim, Y. H. B., Meyers, B., Kim, H. W., Liceaga, A. M., & Lemenager, R. P. (2017). Effects of stepwise dry/wet-aging and freezing on meat quality of beef loins. *Meat Science*, 123, 57-63. uality of beef loins. *Meat Science*, 123, 57-63.
- Laster, M. A., Smith, R. D., Nicholson, K. L., Nicholson, J. D. W., Miller, R. K., Griffin, D. B., ... & Savell, J. W. (2008). Dry versus wet aging of beef: Retail cutting yields and consumer sensory attribute evaluations of steaks from ribeyes, strip loins, and top sirloins from two quality grade groups. *Meat Science*, 80(3), 795-804.
- Lee, H. J., Yoon, J. W., Kim, M., Oh, H., Yoon, Y., & Jo, C. (2019). Changes in microbial composition on the crust by different air flow velocities and their effect on sensory properties of dry-aged beef. *Meat Science*, 153, 152-158.
- Li, X., Babol, J., Bredie, W. L. P., Nielsen, B., Tománkova, J., & Lundström, K. (2014). A comparative study of beef quality after ageing Longissimus muscle using a dry ageing bag, traditional dry ageing or vacuum package ageing. *Meat Science*, 97(4), 433-442.
- Martín-Navarro, A., Sancho, M. P. L., & Martínez-Fierro, S. (2022). Evolution of entrepreneurship research in the food sector: a bibliometric review. *British Food Journal*, (ahead-of-print).
- Muştu, Ç. (2019). Etlerde Kuru Yaşlandırma. *Aydın Gastronomy*, 3(1), 23-35.
- [Özdemir, V., & Yanar, M. (2021). Kırmızı Etin Gevrekleştirilmesinde Kuru ve Yaş Olgunlaştırma Yöntemleri. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(1), 795-806.

- Öztürk, N. (2022). Yenilebilir Mantar Konulu Makalelerin Bibliyometrik Analizi. *GIDA/The Journal of FOOD*, 47(5).
- Richardson, R. I., Nute, G. R., & Wood, J. D. (2008). Effect of wet vs. dry ageing on eating quality of beef from traditional breeds. In *Proceedings of the 54th International Congress of Meat Science and Technology*.
- Ryu, S., Park, M. R., Maburutse, B. E., Lee, W. J., Park, D. J., Cho, S., ... & Kim, Y. (2018). Diversity and characteristics of the meat microbiological community on dry aged beef. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(1), 105-108.
- Setyabrata, D., Wagner, A. D., Cooper, B. R., & Kim, Y. H. B. (2021). Effect of Dry-Aging on Quality and Palatability Attributes and Flavor-Related Metabolites of Pork Loins. *Foods*, 10(10), 2503.
- Shen, Q., Song, G., Zhao, Q., Wang, P., Yang, H., Xue, J., ... & Wang, H. (2022). Detection of lipidomics characterization of tuna meat during different wet-aging stages using iKnife rapid evaporative ionization mass spectrometry. *Food Research International*, 156, 111307.
- Smith, R. D., Nicholson, K. L., Nicholson, J. D. W., Harris, K. B., Miller, R. K., Griffin, D. B., & Savell, J. W. (2008). Dry versus wet aging of beef: Retail cutting yields and consumer palatability evaluations of steaks from US Choice and US Select short loins. *Meat science*, 79(4), 631-639.
- Suliman, G. M., Al-Owaimer, A. N., Hussein, E. O. S., Abuelfatah, K., & Othman, M. B. (2020). Meat quality characteristics of the Arabian camel (*Camelus dromedarius*) at different ages and post-mortem ageing periods. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(8), 1332.
- Terjung, N., Witte, F., & Heinz, V. (2021). The dry aged beef paradox: Why dry aging is sometimes not better than wet aging. *Meat Science*, 172, 108355.
- USMEF Guidelines for U.S. dry aged beef for international markets. Meat Creating Dry-Aged Traditional and Value-Added Beef Cut Programs for Domestic and International Markets USA. <https://www.usmef.org/downloads/Kacie-Final-Report-1.pdf> .html adresinden 4 Kasım 2022 tarihinde alınmıştır.
- Watanabe, A., Kamada, G., Imanari, M., Shiba, N., Yonai, M., & Muramoto, T. (2015). Effect of aging on volatile compounds in cooked beef. *Meat science*, 107, 12-19.
- Williams, P. (2007). Nutritional composition of red meat. *Nutrition & Dietetics*, 64, S113-S119.

- Yan, T., Hou, C., Wang, Z., Li, X., Chen, L., Liang, C., ... & Zhang, D. (2022). Effects of chilling rate on progression of rigor mortis in postmortem lamb meat. *Food Chemistry*, 373, 131463.
- Yeung, A. W. K., Mocan, A., & Atanasov, A. G. (2018). Let food be thy medicine and medicine be thy food: a bibliometric analysis of the most cited papers focusing on nutraceuticals and functional foods. *Food Chemistry*, 269, 455-465.
- Zamora, R., Navarro, J. L., Aguilar, I., & Hidalgo, F. J. (2015). Lipid-derived aldehyde degradation under thermal conditions. *Food chemistry*, 174, 89-96.

2. Bölüm

Veri Ön İşleme ve Öznitelik Mühendisliğinin Yapay Zekâ Yöntemlerine Uygulanması

Murat EMEÇ¹
Mehmet Hilal ÖZCANHAN²

1 Öğr. Gör. Dr. ; İstanbul Üniversitesi. murat.emec@istanbul.edu.tr ORCID No: 0000-0002-9407-1728

2 Doç. Dr. ; Dokuz Eylül Üniversitesi. hozcanhan@cs.deu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-5619-6722

ÖZET

Makine Öğrenmesi ve Yapay Zekâ uygulamalarında doğruluğu yüksek, kabul görebilecek seviyede hata oranı düşük sonuçlar elde etmede Veri Ön İşleme ve Öznitelik Mühendisliği aşamaları oldukça önemlidir. Veri Ön İşleme, ham verilerin daha işlenebilir hale getirilmesi için yapılan bir dizi aşamayı içermektedir. Ön işlemenin adımları arasında;

- Veri temizleme,
- Veri birleştirme
- Veri bölümleme,

yer almaktadır. Bu adımların üç önemli hedefi veri tutarsızlıklarını gidermek, model performansını artırmak ve yanlış sonuçların alınmasını engellemektir.

Öznitelik Mühendisliği ise mevcut özelliklerden sonuca varmakta faydalı olanları veya en anlamlı olanların elde edilmesi için yapılan bir dizi işlemdir. Bu işlemler arasında:

- Eksik verilerin işlenmesi,
- Aykırı değerlerin işlenmesi,
- Özellik seçimi,
- Özellik ortaya çıkarma (özellik çıkarma),
- Özellik dönüştürme,

yer almaktadır. Öznitelik Mühendisliğinin üç hedefi ise model performansını artırmak, gereksiz özellikleri ortadan kaldırmak ve üzerinde çalışılan konunun sonuçlarının daha iyi anlaşılmasını sağlamaktır. Veri Ön İşleme ve Öznitelik Mühendisliği aşamalarının, Makine Öğrenmesi ve Yapay Zekâ uygulamalarındaki doğruluğu artırma ve hata oranını düşürmedeki önemli etkisi literatürde de vurgulanmaktadır.

Bu ünite, Veri Ön İşleme ve Öznitelik Mühendisliği kavramlarına bir bakış sunulmaktadır. İlaveten, aşamaların uygulanmasında kullanılacak farklı yöntemler ve teknikler gösterilmektedir. Uygulanabilecek tekniklerin Makine Öğrenmesi ve Yapay Zekâ modellerinin performansını artırmada ne kadar başarılı oldukları da ünite sonunda verilen örneklerle ortaya konmaktadır.

Gösterilen Veri Ön İşleme ve Öznitelik Mühendisliği teknikleri okuyucuların Yapay Zekâ uygulamalarındaki verilerini daha doğru ve etkili bir şekilde işlemelerine yardım edecektir. Gösterilen teknikler, farklı uygulama alanlarında kullanılarak, karar verme süreçlerinde daha doğru sonuçlar elde edilmesine yardımcı olacaktır. Sonuç olarak bu ünitenin Veri Bilimi ve Yapay Zekâ alanlarında çalışan araştırmacılar ve uygulamacılar için faydalı bir kaynak olacağını değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler:Yapay Zekâ, Makine Öğrenmesi, Veri Madenciliği, Veri Ön İşleme, Öznitelik Mühendisliği

GİRİŞ

Günümüzde, işletmelerin ve kurumların sahip oldukları veri miktarı hızla artmaktadır. Bu artışa bağlı olarak verinin katma değer olarak her geçen gün önemi de artmaktadır. Elde edilen verilerin doğru bir şekilde işlenmesi ve analiz edilmesi işletmelerin tahminlerde bulunma ve isabetli kararlar verme başarıları açısından önemli katkılar sağlamaktadır. Bu gelişmeler içerisinde, Yapay Zekâ yöntemleri veri analizi yapmak için kullanılan en etkili araçlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Ancak, Yapay Zekâ algoritmaları, veri setlerinin doğru şekilde hazırlanmasına, özneliklerinin doğru şekilde çıkarılmasına ihtiyaç duymaktadır. Bu işlemleri yerine getiren araçlar da aşamalardan oluşan Veri Ön İşleme ve Öznelik Mühendisliği bilimsel alanlarıdır.

Veri Ön İşleme, verilerin toplanmasından itibaren özneliklerinin analiz edilmesi işlemine girdi olacak hale getirilmesi aşamasıdır. Bu aşamada, verilerin kalitesi, doğruluğu ve kullanılabilirliği artırılarak veri analizi için uygun hale getirilmektedir. Ancak, Veri Ön İşleme adımları doğru bir şekilde atılmadığı takdirde, verilerin bozulmasına varacak kadar kötü sonuçlar da oluşabilmektedir. Ön adımlar arasında, verilerin gereksiz bilgilerden temizlenmesi, eksik yerlerin doğruluğu saptırmayacak şekilde tamamlanması, özellik seçimi ve özellik ölçeklendirilmesi işlemleri yer almaktadır (Abadi vd., 2016:265-283).

Öznelik Mühendisliği, verilerin anlamlı hale getirilmesi ve Yapay Zekâ algoritmaları tarafından daha iyi kullanılabilmesi için veri setlerindeki önemli özelliklerin belirlenmesi ve öne çıkarılması aşamasıdır. Bu aşamada, verilerin özelliklerini tanımlayan yeni öznelikler oluşturmak, var olan öznelikleri dönüştürmek yoluyla veri setini daha anlamlı ve kullanışlı hale getirmek hedeflenmektedir. Gerçekleştirilen adımlar arasında:

- Özellik seçimi
- Özellik çıkarımı
- Özellik dönüşümü
- Özellik genişletme

bulunmaktadır. Sıralanan adımların tamamı bu ünite de işlenecektir.

Kısaca özetlenecek olursa, bu ünite de Veri Ön İşleme ve Öznelik Mühendisliği için kullanılan temel yöntemler ayrıntılı olarak incelenmekte ve örneklerle açıklanmaktadır. İşlenen teknikler arasında veri temizleme, eksik veri işleme, özellik ölçeklendirme, veri dönüştürme, veri birleştirme ve öznelik seçimi konularına yer verilmektedir. Ele alınan tekniklerinin Yapay Zekâ analizlerinde nasıl birlikte gerçekleştirileceği ve kullanılan tekniklerin uygulamalardaki çıkarım başarısını ne kadar olumlu etkilediği sayılarla gösterilecektir.

VERİ ÖN İŞLEME YÖNTEMLERİ

Günümüzde veriler elle kayıt yapılanlar dışında, algılayıcılar ve diğer elektronik cihazlardan da otomatik olarak toplanmaktadır. Yerel ağlar üzerinden toplanan verilerde olmasa da, İnternet üzerinden otomatik toplanan verilerde iletişimde oluşan hatalardan dolayı bozuk verilerle karşılaşmak sıklıkla görülmektedir. Veri Ön İşlemenin veri odaklı uygulamaların başarısını artırmak için önemli bir adım olduğundan giriş bölümünde bahsetmiştik. Örneğin, Veri Madenciliği, Makine Öğrenimi ve Yapay Zekâ bozulan verilerle ilgili olarak Veri Ön İşlemeye ihtiyaç duymaktadır. Yapılan ön işlem verilerin kalitesini artırmaya, anlamlı ve öğrenilebilir özellikleri çıkarmaya; ilaveten, çıkan sonuçların daha iyi yorumlanmasına yardımcı olmaktadır (Alasadi ve Bhaya, 2017:4102-4107). Veri Ön İşleme, verilerin analiz edilebilir hale getirilmesi için gereken işlemleri içeren bir dizi adımdan oluşmaktadır (Garcia vd., 2015). Bu adımlar genellikle aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır:

- Verilerin toplanması
- Verilerin temizlenmesi
- Verilerin birleştirilmesi
- Verilerin bölünmesi
- Verilerin kaydedilmesi

Bu adımların doğru olarak yapılması beklenen verilerde kalite artırımını, özelliklerin çıkarılması ve daha iyi sonuçlar elde edilmesi için önemlidir.



Şekil 1: Veri Ön İşleme adımları

Veri Ön İşleme adımları, Şekil 1’de gösterilen adımların yanı sıra, birkaç farklı şekilde de uygulanabilir. Ancak, temel olarak bu adımların tamamının uygulanması ve doğru olarak yapılması verilerin daha doğru sonuçlar alınacak şekilde analiz edilebilir hale getirilmesi için gereklidir.

Verilerin toplanması

Veri toplama, verilerin kaynaklarından alınması ve kaydedilmesi sürecidir. Veriler, farklı kaynaklardan ve farklı formatlarda gelmektedir. Örneğin, veriler bir veri tabanından veya bir web sitesinden çekilebilmekte veya çok sayıda algılayıcıdan gelebilmektedir (Kazil ve Jarmul, 2016). Verilerin kaynağına bağlı olarak, toplanmalarında çeşitli yöntemler kullanılabilir. Bu yöntemler arasında web tarama, uygulama yazılımı ara yüzlerinden (API'ler) veya veri kaynaklarından (sunucular, bulut bilişim) veri çekme, iletişim protokolleriyle İnternet üzerinden oluşturulan algılayıcı (sensör) veri dağıtım noktalarından indirme bulunmaktadır.

İlk adım olan veri kaynaklarından verilerin toplanması bir veri kümesi oluşturulması sürecinin önemli adımlarından biridir. Doğru verilerin oluşturulması için verilerin doğru toplanması ve kaydedilmesi gerekmektedir. Çok sayıda, büyük veri (Big Data) söz konusu olduğunda doğru toplama yöntemlerinin kullanılması büyük önem kazanmaktadır.

Verilerin temizlenmesi

Veri temizleme, veri setindeki hataları, eksik veya yanlış verilerin tespiti, aykırı değerleri ve gereksiz verilerin kaldırılması işlemidir. Bu adım, veri setinin kalitesini artırmak için önemlidir. Örneğin, bir veri setinde eksik değerler varsa, bu eksik değerlerin bir ortalama veya medyan değeri ile doldurulması gerekebilir. Veri temizleme adımı, verilerin doğruluğunu ve tutarlılığını sağlamak için yapılır (Ganti ve Sarma, 2013:1-85). Ayrıca verilerin düzgün formatta olması, eksik verilerin doldurulması ve yanlış verilerin kaldırılması öğrenme modelinin başarımlarını ve hız performansını da önemli ölçüde etkilemektedir.

Verilerin birleştirilmesi

Veriler farklı kaynaklardan gelebilmekte ve bu verilerin model eğitiminden önce birleştirilmesi gerekebilmektedir. Bu adımda, farklı kaynaklardan gelen veriler birleştirilmekte ve tek bir veri kümesi oluşturulmaktadır (Gupta ve Rani, 2019:283-287). Örneğin, bir şirketin farklı birimlerindeki tutulan benzer öz niteliğe sahip veriler birleştirilerek tek bir veri kümesi haline getirilebilir. Böylelikle, öğrenme modelinin eğitimi sırasında ihtiyaç duyduğu verilere tek bir kaynaktan erişme imkânı sağlanabilir.

Verilerin bölünmesi

Veri bölme, veri setini eğitim, doğrulama ve test kümelerine ayırma işlemidir. Bu adım, öğrenme algoritmalarının eğitilmesi, doğrulanması ve test

edilmesi için gerekli bir işlemdir. Veri bölme işlemi, ayrıca aşırı öğrenme (overfitting) gibi problemlerin önlenmesine yardımcı olabilmektedir. Veri kümesi genellikle eğitim, doğrulama ve test verileri olarak bölünür. Eğitim verileri, Makine Öğrenmesi modelinin eğitiminde kullanılırken, doğrulama verileri modelin hiperparametrelerini ayarlama ve performansını değerlendirmede kullanılmaktadır (Molin, 2019). Eğitim veri seti kullanılarak temel modelleme denemeleri yapılır ve en doğru makine öğrenmesi algoritması seçilmeye çalışılır. Doğrulama veri seti, eğitim veri seti içinden seçilir. Eğitim veri seti ile tasarlanan modelde kullanılacak doğru algoritma seçimi yapılmaya çalışılır. Doğrulama bölümünde ise belirlenen model iyileştirilmeye çalışılır. Test verileri, eğitilmiş modelin performansını gerçek dünya verileri üzerinde ölçmek için kullanılır. Bu bölümde tahminlenen sonuçlar ile veriler içerisindeki gerçek sonuçlar karşılaştırılır.

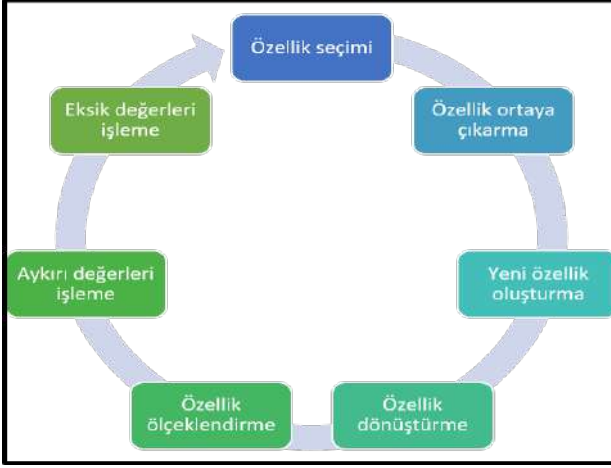
Verilerin kaydedilmesi

Veri Ön İşleme adımları tamamlandıktan sonra, veriler genellikle bir dosyada veya veri tabanında saklanmaktadır. Bu adım, daha sonra veri analizleri veya Makine Öğrenimi modelleri için kullanılacak olan verilerin güvenli bir şekilde saklanmasını sağlamaktadır (Saleem vd., 2014:451-456). Veriler bir bütün olarak ya da eğitim ve test kümeleri olarak saklanabilir. Model eğitimi sırasında bilgisayarlar yüksek bellek ihtiyacı duyabileceğinden, büyük boyuta sahip veriler ayrı olarak kaydedilebilir.

ÖZNETELİK MÜHENDİSLİĞİ

Öznetelik Mühendisliği, Veri Ön İşleme sürecinden sonra ve veri analizinden önce gelen veri özelliklerinin işlenerek daha yüksek kaliteli verilerin elde edilmesini amaçlayan bir mühendislik alanıdır (Dong ve Liu, 2018). Verilerin niteliklerini ve özelliklerini temsil eden sayısal veya kategorik değerlere öznetelik denmektedir. Öznetelik Mühendisliği sürecinin en temel işlem teknikleri şunlardır:

- Özellik seçimi
- Özellik ortaya çıkarma (özellik çıkarma)
- Yeni özellik oluşturma
- Özellik dönüştürme
- Özellik ölçeklendirme
- Aykırı değerleri işleme
- Eksik değerleri işleme



Şekil 2: Öznitelik Mühendisliği süreçleri

Şekil 2’de gösterilen süreçler, özellikle büyük veri kümelerinin analiz edildiği Makine Öğrenmesi uygulamalarında yaygın olarak kullanılmakta ve eğitilen modelin başarımlarını artırmak için veri özelliklerinin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmaktadır.

Özellik seçimi teknikleri

Özellik seçimi, veri kümesindeki özelliklerin içerisinde yapılacak analizin sonuçlarını en fazla etkileyecek özellikleri almak suretiyle, özelliklerin sayısını azaltıp modelin daha az sayıda özellikte daha yüksek bir performans elde etmesine olanak tanımak için yapılan işlemidir (Jain ve Jain, 2019:59-75). Başka bir deyişle, özellik seçimi analizde aranan sonuç çıktısı ile güçlü bağıntısı bulunan özelliklerin veri kümesi içerisinde seçilmesini sağlamaktır.

Özellik seçimi, veri kümesindeki özelliklerin önem derecesi yüksek olan özellikleri belirlemek, gereksiz özellikleri etkisiz kılmak; böylece veri boyutunu azaltmak için kullanılmaktadır. Bu adım, tasarlanan bir makine öğrenimi analiz modelinin eğitilmesi karmaşıklığını azaltmakta ve gereksiz özelliklerin başarımlar üzerindeki olumsuz etkilerini önlemektedir. Veri setindeki özelliklerin tamamının kullanılması modelin performansını yetersiz öğrenmeye (under fitting) sebep olarak olumsuz etkileyebilmektedir. Unutulmamalıdır ki Makine Öğrenimi modellerinin performansı hem çıkarımlarındaki doğruluk oranı, hem de eğitimi tamamlamada aldığı süreyle hesaplanmaktadır. Örnek verecek olursak, bir pazarlama veri setindeki müşteri özelliklerinin içerisinde öncelikle satın alma davranışlarını etkileyenlerin belirlenip seçilmesi gibi. Böylece, çıkarım (hedef) değişkeni ile ilişkisi olmayan özellikler seçilmeyerek başarımlarını artırmaktadır. Özellik seçiminde yaygın kullanılan yöntemler

arasında Filtreleme, Sıralama ve Gömülü yöntem bulunmaktadır (Zheng ve Casari, 2018).

Özellik çıkarma teknikleri

Özellik çıkarma, veri setindeki özelliklerin birleştirilmesi veya yeniden yapılandırılması yoluyla yeni özelliklerin elde edilerek anlamlı özelliklere dönüştürme işlemidir. Bu teknikle veri setindeki özelliklerin işlenmesini kolaylaştırma, veri boyutunu azaltmak ve daha az gürültülü (veriler toplanırken oluşan hatalardan kaynaklanan durumlar) özellikler elde etme hedeflenmektedir. Örneğin bir doğal dil işleme projesinde, kelime sıklığını kullanarak bir dokümandaki anahtar kelimeleri belirlemek gibi.

Boyut indirgeme, bir özellik çıkarma tekniği olup, çok boyutlu veri kümelerindeki boyut sayısını azaltmaya yardımcı olmaktadır (Zebari vd., 2020:56-70). Bir örnekle açıklamak gerekirse, bir görüntü veri setindeki her pikselin bir özelliği temsil ettiği durumlarda, boyut sayısını azaltarak özellikleri daha anlamlı hale getirmek gibi. Özellik çıkarma teknikleri arasında temel bileşen analizi (PCA), doğrusal ayırıştırma (LDA) ve bağımsız bileşen analizi (ICA) bulunmaktadır.

Yeni özellik oluşturma teknikleri

Yeni özelliklerin oluşturulması, veri kümesindeki özelliklerin birleştirilmesi veya dönüştürülmesi yoluyla yeni özelliklerin oluşturulmasıdır. Bu yöntem, modelin performansını iyileştirmek ve daha iyi sonuçlar elde etmek için kullanılır (Ozdemir vd., 2018). Örneğin, bir e-ticaret sitesinde, bir ürünün fiyatı, müşteri yorumlarına ve ürünün özelliklerine bağlı olarak birleştirilerek yeni bir özellik oluşturulabilir. Bunun yanı sıra bir veri setinde bulunan özelliklerin ortalaması ya da standart sapması gibi istatistiksel verilerden yeni özellikler oluşturulabilir. Ayrıca veri setinden bulunan özneliklerden “one-hot” encoding yöntemiyle de yeni özellikler oluşturulabilir (Rodriguez vd., 2018:21-31).

Özellik dönüştürme teknikleri

Özellik dönüştürme var olan özellikleri daha anlamlı, daha uygun hale getirmek için:

- Farklı bir formata kodlamayı
- Farklı bir formata dönüştürmeyi
- Matematiksel dönüşümlere tabi tutmayı
- İstatistiksel dönüşümlere tabi tutmayı

içeren tekniklerdir. Bu adım özellikle Makine Öğrenimi modellerinin çalışması için gerekli olan sayısal verileri elde etmek için kullanılmaktadır. Böylece,

ēitilen modelin daha iyi bařarım performansı gōstermesi saēlanmaktadır. Őrneēin, bir mūřteri memnuniyeti anketinde "çok iyi", "iyi", "orta", "kōtū", "çok kōtū" gibi beř kategorik deēer varsa, bu deēerlerin sayısal deēerlere dōnūřtūrūlmesi matematiksel iřlemler iēin daha anlamlı olmaktadır. Diēer bir Őrnek, tarihlerin bir veri setinde metin formatında olup sayısal formatta daha anlamlı olmalarıdır. İlaveten, kategorik veriler de veri kodlama ile sayısal verilere dōnūřtūrūlmektedir. Őzellik dōnūřtūrme teknikleri arasında "tek kodlama", "etiket kodlama" ve "ikili kodlama" bulunmaktadır (Wang vd., 2022).

Özellik Őlēeklendirme teknikleri

Farklı Őzelliklerin farklı Őlēeklerde Őlēūlmesi durumunda, Őlēekleri birbirine denk hale getirerek modelin daha iyi ēalıřmasına olanak saēlamak iēin kullanılan tekniklere Őzellik Őlēeklendirme teknikleri denmektedir. Veri kūmesindeki Őzelliklerin Őlēeklendirilmesi ile modelin başarım performansı iyileştirilebilmektedir. Őzellik Őlēeklendirmeme veri setindeki deēerleri belirli bir aralıēa sıēdırmaya veya standartlaştırmaya yardımcı olmaktadır. Bu adım, Őērenme algoritmalarının daha iyi performans gōstermesini saēlayabilmektedir. Őrneēin, bir veri setindeki sayılar 0 ile 100 arasında, başka bir veri setinde ise -1 ile 1 arasında olduēu durumda; iki veri seti bir araya getirildiēinde, deēerlerin aynı aralıkta olması iēin Őlēeklenmesi gerekebilmektedir. Őzellik Őlēeklendirme iēin yaygın kullanılan yōntemler arasında Min-Max Őlēeklendirme, Z-skor Őlēeklendirme ve Logaritmik Őlēeklendirme bulunmaktadır (Güney, 2023:67-79).

Aykırı deēerlerin işlenmesi teknikleri

Aykırı deēerler, genellikle diēer deēerlerden Őnemli Őlēūde farklı olan ve modelin performansını etkileyebilecek olan nadir veri noktalarıdır (Davis ve Clark, 2011:353-375). Bu nedenle, aykırı deēerlerin belirlenmesi ve işlenmesi Őnemlidir. Aykırı deēerlerin işlenmesi geliştirilen modelin performansını Őnemli Őlēūde etkilemektedir. Aykırı deēerler çok farklı sebeplerden kaynaklanabilir. Őrnek olarak:

- Veri giriři veya Őlēūm sırasındaki hatalar
- Verideki bozulmalar
- Gerēekten aykırı bir performans gōsterimi

veri setinde aykırı deēerlere sebep olabilir. Her aykırı deēerin mutlaka hata olabileēi dūřūnūlmemelidir. Bazı durumlarda, aykırı gōzlemler, veri setindeki yūksək sapmanın (varyans) gōstergesi olabilmektedir. Aykırı deēer tūrlerine ařaēıdaki Őrnekler verilebilir:

- Nokta aykırı değerler (Point outliers)
- Ör: Bir sınıftaki tüm öğrencilerin 30'dan aşağı not alırken, bir öğrencinin 100 alması.
- Bağlamsal aykırı değerler (Contextual outliers)
- Ör: Yılbaşından önce giyim sektöründe satışların artması.
- Toplu aykırı değerler (Collective outliers)
- Bir topluluğun aynı anda yer değiştirmesi.

Eksik değerlerin işlenmesi teknikleri

Veri setinde eksik değerlerin olması, modelin performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle, eksik değerlerin belirlenmesi ve işlenmesi her zaman önerilmektedir (Ndung'u, 2022). Bu işlem, eksik değerlerin tahmin edilmesi veya eksik veri içeren örneklerin çıkarılması gibi tekniklerle gerçekleştirilmektedir. Ayrıca eksik değerlerin işlenmesi için ortalama, ortanca değer, bir önceki ve bir sonraki değerlerin ortalaması gibi farklı teknikler de uygulanabilir (Yurtsever ve Emeç, 2023:265-278).

VERİ ÖN İŞLEME VE ÖZ NİTELİK MÜHENDİSLİĞİ UYGULAMALARI

Veri Ön İşleme ve Öznitelik Mühendisliği teknikleri, çeşitli Makine Öğrenmesi uygulamalarında kullanılmaktadır. Yukarıda anlatılan bilgiler ışığında, aşağıda gösterilen tekniklerin örnek uygulamaları gösterilmektedir.

Görüntü işleme uygulamaları

Veri Ön İşleme teknikleri görüntü işleme uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Görüntülerdeki gürültüyü azaltmak, kenarlarını belirlemek veya belirginleştirmek, sıkıştırmak veya tüm görüntü özelliklerini ortaya çıkarmak için Veri Ön İşleme tekniklerinin kullanıldığı literatürde sıkça izlenmektedir (Verdonck, 2021:1-12). Öznitelik Mühendisliği teknikleri ise yüz tanıma gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Yüz tanıma işlemlerinde yüz özellikleri belirlendikten sonra, bulunanlar kullanılarak yüz tanıma modelleri oluşturulmaktadır.

Doğal dil işleme uygulamaları

Veri Ön İşleme ve Öznitelik Mühendisliği teknikleri, doğal dil işleme uygulamalarında da kullanılmaktadır. Özellikle, Doğal Dil Makine Öğrenmesi modelleri için metin verilerinin işlenmesinde için Veri Ön İşleme ve Öznitelik Mühendisliği teknikleri çok önemli yere sahiptir (Collobert vd., 2011:2493-

2537). Örneğin, Veri Ön İşleme teknikleri kullanılarak metin verilerindeki gürültü azaltılmakta, kelime kökleri belirlenmekte ve sık kullanılan kelimelerin vektörleri oluşturulmaktadır. Öznitelik Mühendisliği teknikleriyle de metin verilerindeki özellikler belirlenmektedir.

Ses işleme uygulamaları

Ses verisi işlemede de Veri Ön İşleme teknikleri önemli bir adımdır. Ses verilerindeki gürültüyü azaltmak, karışmaları ayırştırmak ve parazitleri filtrelemek için kullanılmaktadır (Seide vd., 2011:24-29). Öznitelik Mühendisliği teknikleri de ses verilerindeki özellikleri belirlemek için kullanılmaktadır.

Algılayıcı verileri işleme uygulamaları

Makine Öğrenmesi uygulamalarında algılayıcı (sensör) verilerinin ön işleme tabii tutulmadan kullanılmaları tavsiye edilmeyen bir yaklaşımdır. Algılayıcı verilerindeki gürültüyü azaltmak, eksik verileri tamamlamak, verileri birleştirmek ve ölçeklendirmek için Veri Ön İşleme teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Crommelinck vd., 2016). Öznitelik Mühendisliği teknikleri ise algılayıcı verilerindeki özellikleri belirlemek için kullanılmaktadır. Örneğin, sıcaklık, nem, basınç, hız ve konum verileri her zaman Veri Ön İşleme ve Öznitelik Mühendisliği teknikleri ile ele alınmaktadır. Ancak bu işlemlerden sonra, analizler yapılarak tahminleme ve karar destek modelleri ortaya çıkarılmaktadır.

VERİ ÖN İŞLEME VE ÖZİNTELİK MÜHENDİSLİĞİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMELERİ

Veri Ön İşleme ve Öznitelik Mühendisliği, Makine Öğrenmesi modellerinin performansını arttırmada önemli bir rol oynamaktadır. Ancak, sadece doğru Veri Ön İşleme ve Öznitelik Mühendisliği tekniklerini seçmek, tek başına Makine Öğrenmesi modellerin doğruluğunu ve performansını arttırmak için yeterli olmamaktadır. Modellerde kullanılan algoritmalar, analiz yöntemleri ve sınır ağları mimarileri modellerin başarımında büyük rol oynamaktadır. Bu ünite de sadece Veri Ön İşleme ve Öznitelik Mühendisliği tekniklerine odaklanmakla beraber, makine öğrenmesi modellerinin performans başarımlarının ölçülmesinde kullanılan ölçütler ve değerlendirme yöntemlerini görmeden geçmek doğru olmayacaktır. Çünkü kullanıcıların en önem verdiği nokta Makine Öğrenimi modelinin en son çıktısındaki sonucun başarımıdır.

Model performans ölçütleri

Model performans ölçütleri, bir makine öğrenmesi modelinin başarısını ölçmek için kullanılan istatistiksel ölçümlerdir. Bu ölçümler, modelin tahminleme doğruluğunu (Accuracy, Test score, Train score, F1-score, R1 score), hassasiyetini (Recall), kesinlik (Precision), hata oranlarını (RMSE, MSE, MAE, MAPE vb.) veri işleme hızını ve diğer performans ölçümlerini belirler (Laishram ve Padmanabhan, 2019:3990-4006).

Örnekleme seçimi teknikleri

Bir Makine Öğrenimi modelinin başarımını ölçmek için veri setinden bir kısım veri, model eğitiminde hiç kullanılmadan ölçüm amaçlı ayrılmaktadır. Bu seçime örnekleme seçimi (sampling) denmektedir. Diğer bir deyişle, örnekleme seçimi veri setinin küçük bir bölümünün tasarlanan modelin performansını test etmek için seçilmesidir (Sivarajah vd., 2017:263286). Model performansının doğru bir şekilde ölçülmesini sağlamak için örnekleme seçimi teknikleri bulunmaktadır. Doğru tekniklerle yapılmayan örnekleme seçimleri, diğer araştırmacıların tasarlanan modele düşük başarımlar skorları ortaya çıkarması ile son bulmaktadır.

Çapraz doğrulama teknikleri

Çapraz doğrulama teknikleri, Makine Öğrenmesi modellerinin performansını değerlendirmek için kullanılan tekniklerden bir tanesidir. Bu teknik, veri setinin farklı parçalarını kullanarak modelin performansını değerlendirmektedir. Veri seti, k-katlama (k-fold) çapraz doğrulama tekniği kullanılarak k sayıda bölüme ayrılır ve her bölüm sırayla eğitim sonra da test seti olarak kullanılır (Wong ve Yeh, 2019:1586-1594). Bu teknik, modelin genel performansını değerlendirmek için güvenilir sonuçlar vermektedir. Çapraz doğrulama, Veri Ön İşleme ve Öznitelik Mühendisliği ile birlikte kullanıldığında, Makine Öğrenmesi modellerinin nihai doğruluğunu ve hız performansını arttırmaya yardımcı olmaktadır (Shao vd., 2013:550-555). Ancak, çapraz doğrulama tekniklerinin kullanımı bir modelin başarımını garanti etmemekte ve farklı veri setleri için farklı sonuçlar verebilmektedir.

VERİ ÖN İŞLEME VE ÖZ NİTELİK MÜHENDİSLİĞİ ÖRNEKLERİ

Bu bölümde yer alan uygulama örnekleri için, yaygın kullanımın yanı sıra ve güncel Veri Ön İşleme ve Öznitelik Mühendisliği kütüphanelerine sahip olması sebebiyle Python yazılım dili ve Anaconda geliştirme platformu tercih edilmiştir.

Örnek1: Şirket müşterilerinin tercihlerini anlamak

Bir şirket müşterilerinin tercihlerini daha detaylı ve daha iyi anlamak için bir Makine Öğrenmesi modeli geliştirmek istemektedir. Şirket, müşterilerinin alımları sırasında yaptığı tercihleri hakkında bir veri setine sahiptir. Ancak bu veri seti bazı sorunlar içermektedir. Veri setinde eksik veriler bulunmaktadır. Veri Ön İşleme aşamasında, öncelikle eksik verilerin nasıl ele alınacağını belirlemek gerekmektedir. Eksik veriler, eksik olanların tamamıyla veri setinden çıkarılması veya tamamlanması yoluyla ele alınabilir. İkinci olarak, veri setindeki gürültüler (Ör: Müşterinin tercih edeceği ürünleri tahminleme sürecinde kişinin yaşının yanı sıra doğum yılının da veri setinde tutulması) ve aykırı değerler tespit edilmeli ve kaldırılmadık, çünkü bunlar Makine Öğrenmesi modelinin doğru sonuçlar üretmesini engelleyebilmektedir.

Öznitelik seçimi aşamasında ise müşteri tercihlerini etkileyen en önemli özellikler belirlenmelidir. Örneğin, bir müşterinin tercih ettiği ürün kategorileri, markaları veya fiyat aralıkları o kişinin tercihlerini etkileyen önemli özellikler olabilir. Önemi az olan diğer özellikler ise analizden çıkarılabilir veya gruptandırılabilir. Veri boyutu azaltma işleminin veri setindeki özellik sayısını azaltarak, öğrenme algoritmalarının daha hızlı çalışmasını sağlanmaktadır. Bu örnekte, veri boyutu azaltma müşteri tercihleri hakkında daha hızlı sonuçlar elde edilmesine olanak tanıyacaktır. Dolayısıyla son olarak, yüksek boyuttaki verilerin öznitelikleri azaltılarak öğrenme modelinin eğitim sürecini hızlandırma durumuna varılır. Tüm bu işlemler Makine Öğrenmesi modelinin müşteri tercihlerini daha doğru ve daha hızlı şekilde analiz etmesini sağlar.

KOD1’de, veri setindeki eksik verileri doldurma işlemi gösterilmektedir.

KOD1

```
import pandas as pd
import numpy as np
# Veri kümesi yükleme
df = pd.read_csv('musteri_tercihleri.csv')
# Eksik verileri doldurma
df.fillna(method='ffill', inplace=True)
df.fillna(method='bfill', inplace=True)
```

KOD1’de, “pandas” kütüphanesi kullanılarak müşteri tercihleri hakkında veri seti okunmaktadır. Daha sonra, “fillna()” fonksiyonu kullanılarak eksik veriler doldurulmaktadır. Bu işlemde ilk olarak, “ffill” yöntemiyle önceki(forward) değerler kullanılarak eksik veriler doldurulur. Sonra da “bfill” yöntemi kullanılarak sonraki(backward) değerlerle eksik veriler doldurulur.

Aşağıdaki KOD2’de ise veri setindeki gürültüleri ve aykırı değerleri tespit etmek için kullanılabilir bir yöntem sunulmaktadır.

KOD2

```
from scipy import stats
# Z-skorunu hesapla
z_scores = np.abs(stats.zscore(df))
# Gürültü ve aykırı değerleri kaldırma
df = df[(z_scores < 3).all(axis=1)]
```

KOD-2’de, “zscore()” fonksiyonu kullanılarak her öznitelik için “z-skoru” hesaplanmaktadır. z-skorunda, 3’ten büyük olan tüm gürültü veya anormallik olarak kabul edilmekte ve bu satırlar veri setinden çıkarılmaktadır. Bu örnekteki kodlar, Veri Ön İşleme aşamasında gerçekleştirilen bazı işlemleri göstermektedir. Ancak, veri setine ve kullanılan Makine Öğrenmesi algoritmasına bağlı olarak Veri Ön İşleme tekniği değişebilir.

KOD-3’de, öznitelik seçimi işleminin nasıl yapılabileceği gösterilmektedir.

KOD3

```
from sklearn.feature_selection import SelectKBest
from sklearn.feature_selection import f_regression
# Veri kümesi yükleme
df = pd.read_csv('musteri_tercihleri.csv')
# Bağımsız ve bağımlı değişkenleri ayırma
X = df.iloc[:, :-1]
y = df.iloc[:, -1]
# En iyi 5 özelliği seçme
fs = SelectKBest(score_func=f_regression, k=5)
X_selected = fs.fit_transform(X, y)
```

KOD3’de, öznitelik seçimi için “SelectKBest” sınıfı kullanılmaktadır. “f_regression” fonksiyonu, özelliklerin veriler içerisindeki bağımlı değişken ile ilişkisini ölçmek için kullanılmaktadır. Sayısal değer olarak verilen k parametresi, en iyi k özneliğin seçilmesini sağlamaya yaramaktadır. “fit_transform” fonksiyonu, seçilen özniteliklerin veri setinden çıkarılmasını ve yeni bir veri seti oluşturulmasını sağlamaktadır.

KOD4’de, boyut azaltma işlemi için kullanılacak Temel Öğe Analizi (PCA = Principal Component Analysis) yöntemini göstermektedir:

KOD4

```
from sklearn.decomposition import PCA
# Veri kümesi yükleme
df = pd.read_csv('musteri_tercihleri.csv')
# Bağımsız ve bağımlı değişkenleri ayırma
X = df.iloc[:, :-1]
y = df.iloc[:, -1]
# Boyut azaltma
pca = PCA(n_components=2)
X_reduced = pca.fit_transform(X)
```

KOD4’de, boyut azaltma için PCA sınıfı kullanılmaktadır. Sayısal değer olarak verilen n_components parametresi, boyut azaltma sonrası elde edilecek öznitelik sayısını belirlemektedir. “fit_transform” fonksiyonu ise boyutu azaltılmış yeni bir veri seti oluşturma işini yapmaktadır.

Örnek2

Öznitelik seçimi ve boyut azaltma gibi diğer Veri Ön İşleme işlemleri aşağıda verilen örnek kodlarda gösterilmektedir. Ancak, her veri seti için gereken Veri Ön İşleme adımları farklı olabilmektedir.

Tablo verilerini işleme örneği olarak, aşağıdaki KOD5 örneği verilebilir.

KOD5

```
import pandas as pd
from sklearn.preprocessing import LabelEncoder
# Veri kümesi yükleme
df = pd.read_csv('market_sepeti.csv')
# Eksik değerleri doldurma
df.fillna(method='ffill', inplace=True)
# Kategorik özellikleri sayısal verilere dönüştürme
le = LabelEncoder()
df['ürün'] = le.fit_transform(df['ürün'])
# One-hot encoding
df = pd.get_dummies(df, columns=['ürün'])
# Veri setini ayırma
X = df.drop(columns=['alışveriş_tutarı'])
y = df['alışveriş_tutarı']
```

KOD5’de, Veri Ön İşleme işlemleri şunları içermektedir:

- “fillna” fonksiyonu kullanılarak, eksik değerler önceki değerlerle doldurulmuştur.

- “LabelEncoder” sınıfı kullanılarak, kategorik veriler sayısal verilere dönüştürülmüştür.
- “get_dummies” fonksiyonu ile kategorik verilerdeki her sınıf bir sütun olarak kodlanmaktadır.
- Veri seti, bağımlı ve bağımsız değişkenlerine ayrılmıştır.

Bu örnekte, “fillna”, “LabelEncoder” ve “get_dummies” fonksiyonları kullanılarak, veri setindeki eksik değerlerin doldurulması, kategorik özelliklerin sayısal verilere dönüştürülmesi ve tek “one-hot” encoding uygulanması yapılmaktadır.

Örnek3

KOD6’da “hasta_verileri” veri kümesindeki eksik değerler için yapılan öznitelik işlemleri sunulmaktadır.

KOD6

```
import pandas as pd
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
from sklearn.impute import KNNImputer
# Veri kümesi yükleme
df = pd.read_csv('hasta_verileri.csv')
# Eksik değerleri doldurma
imputer = KNNImputer(n_neighbors=5)
df = pd.DataFrame(imputer.fit_transform(df), columns=df.columns)
# Sayısal öznitelikleri ölçeklendirme
scaler = StandardScaler()
df[['yaş', 'kan_basinci']] = scaler.fit_transform(df[['yaş', 'kan_basinci']])
# Veri setini ayırma
X = df.drop(columns=['hastalık'])
y = df['hastalık']
```

KOD6’da, Veri Ön İşleme işlemleri şunları içermektedir:

- “KNNImputer” sınıfı kullanılarak, eksik değerler k-Yakın Komşu (KNN) algoritması kullanılarak doldurulmuştur.
- “StandardScaler” sınıfı kullanılarak, sayısal özellikler ölçeklendirilmektedir.
- Veri seti, bağımlı ve bağımsız değişkenlerine ayrılmıştır.

Bu örnekte, “KNNImputer” ve “StandardScaler” sınıfları kullanılarak, eksik verilerin doldurulması ve sayısal özniteliklerin ölçeklendirilmesi yapılmaktadır.

Örnek4

KOD7 örneğinde, California Emlak Piyasası veri seti üzerinde Veri Ön İşleme işlemleri gösterilmektedir. Bu örnekte, veri seti üzerindeki eksik değerlerin doldurulması, sayısal özelliklerin ölçeklendirilmesi, kategorik özelliklerin “one-hot” kodlama işlemine tabi tutulması, veri setinin eğitim ve test setleri olmak üzere iki veri setine ayrılması işlemleri yapılmaktadır.

KOD7

```
import pandas as pd
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.preprocessing import StandardScaler, OneHotEncoder
from sklearn.impute import SimpleImputer
# Veri setini oku
df = pd.read_csv('california_housing.csv')
# Eksik değerleri doldurma
imputer = SimpleImputer(strategy='median')
df[['total_bedrooms']] = imputer.fit_transform(df[['total_bedrooms']])
# Sayısal özellikleri ölçeklendirme
scaler = StandardScaler()
df[['median_income', 'total_bedrooms']] = scaler.fit_transform(df[['median_income',
'total_bedrooms']])
# Kategorik özellikleri One-Hot Encoding işlemine tabi tutma
encoder = OneHotEncoder()
ocean_proximity_1hot = encoder.fit_transform(df[['ocean_proximity']])
ocean_proximity_1hot_df = pd.DataFrame(ocean_proximity_1hot.toarray(),
columns=encoder.get_feature_names(['ocean_proximity']))
df = pd.concat([df, ocean_proximity_1hot_df], axis=1)
df.drop(columns=['ocean_proximity'], inplace=True)
# Veri setini eğitim ve test veri setlerine ayırma
X = df.drop(columns=['median_house_value'])
y = df['median_house_value']
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)
```

KOD7 örneğinde, Veri Ön İşleme işlemleri şunları içermektedir:

- “SimpleImputer” sınıfı kullanılarak, eksik değerler medyan değerle doldurulmuştur.
- “StandardScaler” sınıfı kullanılarak, sayısal özellikler ölçeklendirilmektedir.
- “OneHotEncoder” sınıfı kullanılarak, kategorik özellikler “one-hot” kodlama işlemine tabi tutulmuştur.
- Ayrıca, “train_test_split” fonksiyonu ile de veri seti eğitim ve test veri setlerine ayrılmıştır.

Örnek5

Özellik ölçeklendirme, veri özelliklerinin belirli bir aralığa ölçeklendirilmesi işlemidir. Örneğin, çok büyük sayılar veya çok küçük sayılar kullanıldığında, bazı algoritmalar doğru yanıt vermezler veya yanlış sonuçlar üretirler. Ayrıca, özellik ölçeklendirme, özellikler arasındaki farklılıkları azaltarak, modelin daha hızlı eğitilmesine yardımcı olabilmektedir. KOD8’de özellik ölçeklendirme örneği sunulmaktadır.

KOD8

```
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
# Veri kümesi örneklelim
data = [[10, 50], [20, 60], [30, 70], [40, 80]]
# Min-Max Ölçeklendirici kullanarak özellik ölçeklendirme yapalım
scaler = MinMaxScaler()
scaled_data = scaler.fit_transform(data)
print(scaled_data)
```

KOD8’de iki öznitelik ve dört örneğe ait veri bulunmaktadır. İlk öznitelikte 10-40 aralığındaki veriler bulunmaktadır. İkinci öznitelikte ise 50-80 aralığındaki verileri bulunmaktadır. Çok büyük sayılar algoritmaların yanlış sonuçlar üretmesine sebep olabilmektedir. Bundan dolayı, “MinMaxScaler()” fonksiyonu ile veriler 0-1 aralığına ölçeklendirilmektedir.

KOD8-ÇIKTISI

```
[[0.  0. ]
 [0.33 0.33]
 [0.66 0.66]
 [1.  1.  ]]
```

KOD8 çıktısında [0,1] aralığında ölçeklendirilmiş veriler bulunmaktadır. Ölçeklendirmede, KOD8’de yer alan 20 sayısına karşılık 0.33 gelmektedir. Ayrıca KOD8’de yer alan 30 sayısına da 0.66 denk gelmektedir.

SONUÇ

Eldeki verilerin analiz edilebilir hale getirilmesi ve Yapay Zekâ yöntemleri ile işlenmesi için Veri Ön İşleme ve Öznitelik Mühendisliği önemli adımlardır. Veri Ön İşleme, verilerin temizlenmesi, düzenlenmesi ve hazırlanması gibi işlemleri içerir. Örneğin, veri setindeki eksik verilerin doldurulması, aykırı değerlerin tespiti ve giderilmesi, verilerin ölçeklendirilmesi gibi işlemler Veri Ön İşleme adımlarını oluşturmaktadır. Bu adımlar verilerin tutarlılığını

sağlayarak, Yapay Zekâ algoritmalarının verileri daha iyi işlemesine yardımcı olmaktadır.

Öznitelik Mühendisliği ise, verilerdeki önemli özelliklerin belirlenmesini ve özelliklerin birleştirilerek yeni özelliklerin oluşturulmasını içermektedir. Öznitelik Mühendisliği, verilerin analizi sırasında önemli olan özellikleri öne çıkararak, modelden daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Örneğin, görüntü işleme uygulamalarında Öznitelik Mühendisliği sayesinde, görüntülerdeki nesnelerin tanınması ve sınıflandırılmasında daha doğru ve hızlı sonuçlar elde edilmesi gibi.

Bu ünite, Veri Ön İşleme ve Öznitelik Mühendisliği tekniklerinin Yapay Zekâ analizlerinde uygulanması ve bunların avantajları örneklerle sunulmuştur. Bu teknikler, farklı uygulama alanlarında kullanılabilir. Örneğin, sağlık sektöründe kullanılarak, hastaların teşhis ve tedavisi için daha doğru sonuçlar elde edilebilir. Finans sektöründe kullanılarak, risk analizleri yapılabilir ve yatırım kararları daha isabetli verilebilir.

Sonuç olarak, Veri Ön İşleme ve Öznitelik Mühendisliği tekniklerinin Yapay Zekâ çalışmalarında uygulanması, verilerin daha doğru ve etkili bir şekilde işlenmesini sağlamaktadır. Kullanılan teknikler, farklı uygulama alanlarında karar verme süreçlerinde daha doğru sonuçlar elde edilmesine yardımcı olmaktadır.

REFERANSLAR

- Abadi, M., Barham, P., Chen, J., Chen, Z., Davis, A., Dean, J., ... & Zheng, X. (2016, November). Tensorflow: a system for large-scale machine learning. In *Osd* (Vol. 16, No. 2016, pp. 265-283).
- Alasadi, S. A., & Bhaya, W. S. (2017). Review of data preprocessing techniques in data mining. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(16), 4102-4107.
- Collobert, R., Weston, J., Bottou, L., Karlen, M., Kavukcuoglu, K., & Kuksa, P. (2011). Natural language processing (almost) from scratch. *Journal of machine learning research*, 12(ARTICLE), 2493-2537.
- Crommelinck, S., Bennett, R., Gerke, M., Nex, F., Yang, M. Y., & Vosselman, G. (2016). Review of automatic feature extraction from high-resolution optical sensor data for UAV-based cadastral mapping. *Remote Sensing*, 8(8), 689.
- Davis, J. J., & Clark, A. J. (2011). Data preprocessing for anomaly based network intrusion detection: A review. *computers & security*, 30(6-7), 353-375.
- Dong, G., & Liu, H. (Eds.). (2018). *Feature engineering for machine learning and data analytics*. CRC Press.
- Ganti, V., & Sarma, A. D. (2013). Data cleaning: A practical perspective. *Synthesis Lectures on Data Management*, 5(3), 1-85.
- García, S., Luengo, J., & Herrera, F. (2015). Data preprocessing in data mining.
- Gupta, S., & Rani, R. (2019). Review on data preprocessing techniques in data mining. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 10(1), 283-287.
- Jain, R., & Jain, P. (2019). An overview of feature selection techniques in machine learning. *Emerging Trends in Expert Applications and Security*, 59-75.
- Kazil, J., & Jarmul, K. (2016). *Data wrangling with python: tips and tools to make your life easier*. " O'Reilly Media, Inc."
- Laishram, A., & Padmanabhan, V. (2019). Discovery of user-item subgroups via genetic algorithm for effective prediction of ratings in collaborative filtering. *Applied Intelligence*, 49(11), 3990-4006.
- Molin, S. (2019). *Hands-On Data Analysis with Pandas: Efficiently perform data collection, wrangling, analysis, and visualization using Python*. Packt Publishing Ltd.
- Ndung'u, R. N. (2022). *Data Preparation for Machine Learning Modelling*.

- Ozdemir, S., & Susarla, D. (2018). *Feature Engineering Made Easy: Identify unique features from your dataset in order to build powerful machine learning systems*. Packt Publishing Ltd.
- Rodríguez, P., Bautista, M. A., Gonzalez, J., & Escalera, S. (2018). Beyond one-hot encoding: Lower dimensional target embedding. *Image and Vision Computing*, 75, 21-31.
- Saleem, A., Asif, K. H., Ali, A., Awan, S. M., & Alghamdi, M. A. (2014, December). Pre-processing methods of data mining. In *2014 IEEE/ACM 7th International Conference on Utility and Cloud Computing* (pp. 451-456). IEEE.
- Seide, F., Li, G., Chen, X., & Yu, D. (2011, December). Feature engineering in context-dependent deep neural networks for conversational speech transcription. In *2011 IEEE Workshop on Automatic Speech Recognition & Understanding* (pp. 24-29). IEEE.
- Shao, C., Paynabar, K., Kim, T. H., Jin, J. J., Hu, S. J., Spicer, J. P., ... & Abell, J. A. (2013). Feature selection for manufacturing process monitoring using cross-validation. *Journal of Manufacturing Systems*, 32(4), 550-555.
- Sivarajah, U., Kamal, M. M., Irani, Z., & Weerakkody, V. (2017). Critical analysis of big data challenges and analytical methods. *Journal of Business Research*, 70, 263-286.
- Verdonck, T., Baesens, B., Óskarsdóttir, M., & vanden Broucke, S. (2021). Special issue on feature engineering editorial. *Machine Learning*, 1-12.
- Wang, Z., Xia, L., Yuan, H., Srinivasan, R. S., & Song, X. (2022). Principles, research status, and prospects of feature engineering for data-driven building energy prediction: A comprehensive review. *Journal of Building Engineering*, 105028.
- Wong, T. T., & Yeh, P. Y. (2019). Reliable accuracy estimates from k-fold cross validation. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 32(8), 1586-1594.
- Yurtsever, M. & Emeç, M. (). *Potable Water Quality Prediction Using Artificial Intelligence and Machine Learning Algorithms for Better Sustainability*. *Ege Academic Review*, . DOI: 10.21121/eab.1252167
- Zebari, R., Abdulazeez, A., Zeebaree, D., Zebari, D., & Saeed, J. (2020). A comprehensive review of dimensionality reduction techniques for feature selection and feature extraction. *J. Appl. Sci. Technol. Trends*, 1(2), 56-70.
- Zheng, A., & Casari, A. (2018). *Feature engineering for machine learning: principles and techniques for data scientists*. " O'Reilly Media, Inc."

3. Bölüm

Trakya Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi Yıldırım Risk Analizi: NF C 17 102, NFPA 780 ve TS EN/IEC 62305-2 Karşılaştırması

Cihat Çağdaş UYDUR¹

¹ Öğr. Gör. Dr.; Trakya Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölümü.
ccagdasuydur@trakya.edu.tr ORCID No: 0000-0002-0908-2722

ÖZET

Yıldırım çarpmalarının potansiyel risklerini azaltmak ve ayrıca yıldırım arızası riski erken uyarı sistemleri sağlamak için yıldırım araştırmaları ve ilgili konularda küresel olarak çalışmalar devam ettirilmektedir. Bu konuda, ulusal ve uluslararası standartların iyileştirilmesine yönelik sürekli bir ihtiyaç bulunmaktadır. Farklı ülkeler tarafından yayımlanan ulusal ve uluslararası standartlar Türkiye’de kendilerine kullanım alanı bulmuştur. Yıldırımdan korunma sistemleri uygulamaları sırasında özel ticari girişimler farklı standartları tercih edebilmektedir. Bu durum kavram karmaşası ve konuyla ilgili olmayan kişiler tarafında kafa karşıklığı gibi problemlere yol açmaktadır. Bu sebeple, ülkemizde yaygın olarak kullanılmakta olan üç farklı uluslararası standardın daha yakından tanınması ve daha iyi anlaşılabilmesi için bir vaka analizi gerçekteşirilmifitir. Bu çalışmada, Trakya Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi yıldırım risk analizi değerlendirilmiştir. Türkiye’de kullanılmakta olan TS EN/IEC 62305, NFPA 780 ve NF C 17 012 olmak üzere farklı standartlarda belirtilen gereklilikler ve bakış açıları göz önünde bulundurularak yıldırım risk hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır. Belirlenen risk seviyelerini karşılayan uygulamalar tespit edilerek Türkiye’de yıldırımdan korunma sistemleri konusunda faaliyet gösteren girişimlere faydalı olması amacıyla standartlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: NF C 17-102, NFPA 780, Risk Yönetimi, TS EN/IEC 62305, Yıldırım Risk Analizi

GİRİŞ

Yıldırım bir doğa olayı olarak bilinir ve en başından beri her zaman insan yaşamının ayrılmaz bir parçası olmuştur. Yıldırım çarpmalarının potansiyel risklerini azaltmak ve ayrıca yıldırım arızası riski erken uyarı sistemleri sağlamak için yıldırım araştırmaları ve ilgili konularda küresel olarak her yıl çok fazla çaba ve para harcanmaktadır (Pack & Piantini, 2014). Uygun bir yıldırımdan korunma sistemi tasarlamak için öncelikle yıldırımın potansiyel risklerini azaltacak gerekli önlemleri alabilmek için hızlı ve karmaşık bir olgu olarak fiziğini araştırmak gerekir. Benjamin Franklin, yaklaşık 250 yıl önce yıldırımdan korunma sistemlerini araştıran ilk kişiydi. Kendi adını taşıyan ilk yıldırımdan korunma cihazını tanıttı. Paratoner, belirli bir sistemin yıldırım çarpması tehlikelerine karşı korunmasında oldukça önemli bir rol oynar (Heidler et al., 2008).

İnsanlara, hayvanlara ve mülke yönelik riski tahmin etmek, yıldırım elektromanyetik alanı içindeki elektrik ve elektronik devrelerde, tesisatlarda ve sistemlerde, çeşitli nesne ve yapılarda koruma önlemleri almak ve hasarları ve arızaları önlemek için bir yıldırım deşarjının modellenmesi gerekir (Rizk, 2009). Ayrıca bu alanda ulusal ve uluslararası standartların iyileştirilmesine yönelik sürekli bir ihtiyaç ve kamuoyu talebi bulunmaktadır. IEC 62305 standardı, yıldırımın etkilerinin detaylı olarak tanımlanması ve yıldırımdan korunma (British Standards Institution, 2011a), risk yönetimi (British Standards Institution, 2012), fiziksel hasar ve yaşam tehlikesi (British Standards Institution, 2011b) ve son olarak yapılar içindeki elektrikli ve elektronik sistemlerin korunması (British Standards Institution, 2011c) ile ilgili genel ilkeleri ele almaktadır.

Amerika ulusal yangından korunma birliğinin oluşturduğu NFPA 780 standardı, yıldırımdan korunma sistemlerine ait tüm bileşenler hakkında uygulama kılavuzu görevi görmektedir (The National Fire Protection Association, 2020). Paratoner yerleşimi, koruma iletkenin yerleşim düzeni ve dış yıldırımlık tesisatının montajı hakkında detaylı bilgiler barındırmaktadır.

Fransa standartları derneği tarafından yayımlanan NF C 17 102 standardı binaların yıldırım risk analizleri, aktif paratonerlerin kullanıldığı durumlarda koruma yarıçaplarının hesaplanması ve aktif paratoner tip testleri hakkında detaylı bilgiler paylaşmaktadır (Union Technique de l'Electricité, 2011).

Bu çalışmada, Trakya Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi yıldırım risk analizi gerçekleştirilmiştir. Türkiye’de kullanılmakta olan NF C 17 012, NFPA 780 ve TS EN/IEC 62305 serisi olmak üzere farklı standartlarda belirtilen farklı öneriler ve durumlar göz önünde bulundurularak yıldırım risk değerlendirmeleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır. Belirlenen risk seviyelerini karşılayan uygulamalar tespit edilmiştir.

Bu yayında, ikinci bölümde yıldırım risk analizi için standartların sunduğu gereklilikler ve hesaplama metotları paylaşılmıştır. Üçüncü bölümde gerekli formülasyonlar kullanılarak Trakya Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi yıldırım risk analizi hesaplamaları yapılmıştır. Dördüncü bölümde, üç farklı standart ışığında elde edilen bulgular tartışılmış ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular sonuç bölümünde paydaşlar için vurgulanmıştır.

YILDIRIMDAN KORUNMA STANDARTLARI

Bu bölümde, Türkiye’de kullanılmakta olan TS EN/IEC 62305, NFPA 780 ve NF C 17 012 standartları hakkında tanımlayıcı ve açıklayıcı bilgiler paylaşılmıştır.

TS EN/IEC 62305-2 Standardı

Yıldırımlardan korunma sistemlerinin kurulum aşamasında yapıların yıldırım risklerinin hesaplanması konusunda, Dünya çapında IEC 62305 standartları serisi geçerlidir. Serinin ikinci standardı olan IEC 62305-2 standardı yıldırım risk yönetiminin değerlendirilmesi hakkında detaylı bilgiler sunmaktadır (British Standards Institution, 2012).

IEC 62305-2 standardı, yapıların risk değerlendirmesini yıldırımdan dolayı ortaya çıkacak kayıplar olarak tanımlamaktadır. Bu kayıplar; can, hizmet, kültürel ve ekonomik olarak belirlenmiştir. Ayrıca, yapı ve yıldırım ilişkisini yapının kendisine ya da yakınına yıldırım düşmesi ile tanımlamıştır.

Bir yapının risk değerlendirilmesi sırasında; yapının kendisi, yapıda bulunan tesisatlar, yapının oluşumu, yapı içerisindeki insan yoğunluğu ve yapıdan etkilenen çevre dikkate alınmalıdır.

IEC 62305-2 standardında, kabul edilebilir risk değeri can kaybı için $R_T=10^{-5}$ ve diğer kayıplar için $R_T=10^{-3}$ olarak belirlemiştir. Hesaplanan risk değeri (R), önerilen R_T değerinden düşük ise yapı yıldırımdan korunuyor kabul edilir. Böylece, yıldırımdan korunma sisteminin tesis edilmesine gerek olmayacaktır.

Risk bileşenlerinin hesaplanmasında kullanılan temel bağıntı Denklem 1’de paylaşılmıştır.

$$R_X = N_X \cdot P_X \cdot L_X \quad (1)$$

Burada, N_X değeri bir yıl içerisinde meydana gelebilecek tehlikeli olay sayısını, P_X değeri yapının hasar olasılığını, L_X değeri ise hasar sonunda meydana gelecek kayıpları ifade etmektedir. N_X değeri, yıldırım parlama yoğunluğundan (N_G) ve korunacak yapının, çevresinin, bağlı hatların ve toprağın fiziksel özelliklerinden etkilenmektedir. P_X hasar olasılığı, korunacak yapının

özelliklerinden, bağlı hatlardan ve sağlanan koruma önlemlerinden etkilenir. Sonuçta ortaya çıkacak kayıp olan L_X , yapının tahsis edildiği kullanımdan, kişilerin katılımından, halka sunulan hizmetin türünden, hasardan etkilenen malların değerinden ve kayıp miktarını sınırlamak için alınan önlemlerden etkilenmektedir.

IEC 62305-2 standardına göre farklı hasar tipleri ve kaynaklarına göre tüm risk bileşenlerinin özeti Tablo 1’de sunulmuştur.

Farklı durumlarda farklı alt indis notasyonuna sahip olan N_X değeri Denklem 2’ye göre hesaplanır.

$$N_X = N_G \cdot A_X \cdot C_X \cdot 10^{-6} \quad (2)$$

Burada, “ N_G ” yıldırım yoğunluğunu, “ A_X ” etkili alanı, “ C_X ” değeri yapının konumu ve tesisatın bileşenlerini belirten katsayıları belirtmektedir.

N_G değeri Denklem 3 yoluna elde edilmektedir.

$$N_G = 0.1 \cdot TD \quad (3)$$

Burada, TD değeri yıllık fırtınalı gün sayısını tanımlamaktadır.

A_X değerleri ilgili koşullara özel olarak hesaplanmakta ve gerekli formülasyonlar standart içerisinde bulunmaktadır. C_X değerleri, standart içerisindeki ilgili tablolarda sunulmuştur.

Tablo 1: Farklı hasar türleri ve hasar kaynakları için risk bileşenleri hesaplamaları

Hasar Kaynağı	Canlıların Yaralanması	Fiziksel Hasar	Elektriksel Sistem Arızaları
Yapıya Yıldırım Düşmesi	$R_A = N_D \cdot P_A \cdot L_A$	$R_B = N_D \cdot P_B \cdot L_B$	$R_C = N_D \cdot P_C \cdot L_C$
Yapı Yakınına Yıldırım Düşmesi	-	-	$R_M = N_M \cdot P_M \cdot L_M$
Tesisata Yıldırım Düşmesi	$R_U = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_U \cdot L_U$	$R_V = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_V \cdot L_V$	$R_W = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_W \cdot L_W$
Tesisat Yakınına Yıldırım Düşmesi	-	-	$R_Z = N_I \cdot P_Z \cdot L_Z$

Farklı durumlarda farklı alt indis notasyonuna sahip olan PX değerleri IEC 62305-2 standardı içerisinde yer alan tablolardan seçim yoluyla elde edilmektedir.

IEC tarafından önerilen LX kaybının tipik ortalama değerleri, ılıman bölgelere atıfta bulunmaktadır. Farklı ortam koşullarındaki diğer bölgeler için ayarlama gerekmektedir. Bu bağlamda, IEC 62305-2 standardı içerisinde gerekli fomülasyon ve verilerin bulunduğu tablolar paylaşılmıştır.

NFPA 780 Standardı

NFPA, Binaların Yıldırıma Karşı Korunmasına İlişkin Şartnameleri ilk olarak 1904'te kabul etti. 1945'te, NFPA Komitesi ve paralel olarak Amerikan Standartlar Birliği (ASA), Yıldırıma Karşı Koruma Komitesi, Ulusal Standartlar Bürosu ve Amerikan Elektrik Mühendisleri Enstitüsü'nün (günümüzde IEEE olarak adlandırılmaktadır) sponsorluğunda yeniden organize edildi. Yıldırımdan Korunma Yasası'nın 1992 baskısından başlayarak, belgenin NFPA sayısal tanımı NFPA 78'den NFPA 780'e değiştirildi. Son olarak güncellenen standart 2020 yılında yayımlanmıştır (The National Fire Protection Association, 2020).

(The National Fire Protection Association, 2020)'da bulunan yıldırım riski değerlendirme metodolojisi, bina sahibine, güvenlik uzmanına veya mimara/mühendise yıldırımdan kaynaklanan hasar veya yaralanma riskini belirlemede yardımcı olmak için Ek L bölümünde paylaşılmıştır. Bu ek, basitleştirilmiş, hızlı bir değerlendirme (Bölüm L.5) ve daha ayrıntılı bir analiz gerektirenler için daha ayrıntılı bir değerlendirme (Bölüm L.6) sağlamaktadır. L.6 bölümünde paylaşılan bilgiler IEC 62305-2 standardı ile örtüşmektedir.

L.5 bölümünde hızlı bir yıldırım risk değerlendirmesi için sunulan hesaplama metodu etkili eşdeğer alan yöntemidir. Risk analizi yapılacak binaların boy, en ve yükseklik gibi ölçülerinin bilinmesi ile birlikte Etkili Eşdeğer Alan (A_e) değeri aşağıda verilen Denklem 4 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$A_e = (L \cdot W) + [6 \cdot H \cdot (L + W)] + (9 \cdot \pi \cdot H^2) \quad (4)$$

Burada; “L” değeri binanın boyunu, “W” değeri binanın enini, “H” değeri ise binanın yüksekliğini ifade etmektedir. Bir sonraki işlem adımında Yıldırım Yoğunluğu (N_g) aşağıda verilen Denklem 5'e göre hesaplanır.

$$N_g = 0.04 \cdot N_k^{1.25} \quad (5)$$

Burada; “ N_k ” değeri bulunan konumdaki orajlı (yıldırımlı) gün sayısını belirtmektedir. “ N_k ” değeri orajlı gün sayısı haritası kullanılarak elde edilmektedir. Bu değer Edirne ili için “35” olarak tanımlanmaktadır. Bu bilgiler ışığında, Tesis İçin Beklenen Yıldırım Darbe Sayısı (N_d) Denklem 6'da verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot C_1 \cdot 10^{-6} \quad (6)$$

Burada, “C₁” değeri binanın çevresel katsayısını ifade etmektedir. Bu bağlamda, Tesis İçin Onaylı Yıldırım Darbe Sayısı (N_c) aşağıda paylaşılan Denklem 7 yoluyla elde edilir.

$$N_c = (1.5 \cdot 10^{-3}) \div C \quad (7)$$

Burada “C” değeri binanın çevresel faktör katsayısıdır ve formülasyonu Denklem 8’de verilmiştir.

$$C = C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \quad (8)$$

Burada, “C₂” değeri binanın yapısal katsayısını, “C₃” değeri binanın yangın katsayısını, “C₄” değeri binanın doluluk katsayısını, “C₅” değeri binanın kullanım yoğunluğu katsayısını ifade etmektedir. C₁, C₂, C₃, C₄ ve C₅ değerleri standart içerisinde tablolar halinde belirtilmiş olup farklı özellikler dikkate alınarak sabit değer biçiminde seçilmektedir.

N_d ve N_c değerlerinin incelenmesi ile birlikte yapının yıldırımdan korunma durumu tespit edilmektedir. Bir yapının yıldırımdan korunması için verilen kararlar aşağıdaki şartlara bağlıdır.

- N_d ≤ N_c ise yıldırımdan korunma sisteminin uygulanması isteğe bırakılır.
- N_d > N_c ise yıldırımdan korunma sisteminin uygulanması zorunludur.

Yapılan bu hesaplamalar sonucunda, elde edilen N_c ve N_d değerleri yardımıyla Etkinlik Faktörü (E) değerinin eldesi Denklem 9’da paylaşılmıştır.

$$E = 1 - (N_c \div N_d) \quad (9)$$

Elde edilen E değeri sonucuna göre binanın “Koruma Seviyesi Sınıfı” aşağı belirtilen koşullara göre;

- 0.98 < E ise Seviye 1 + Ek Önlemler
- 0.95 < E < 0.98 ise Seviye 1
- 0.90 < E < 0.95 ise Seviye 2
- 0.80 < E < 0.90 ise Seviye 3
- 0 < E < 0.80 ise Seviye 4

olarak belirlenmektedir.

NF C 17 102 Standardı

NF C 17 012 standardı 1995 yılından günümüze kadar aktif paratoner kullanılan dış yıldırımlık tesisatlarının kurulumu için bulunan uluslararası standart boşluğunu doldurmaktadır. Bu standart, mevcut bilgi ve teknoloji düzeyinde, yapıların (binalar, demirbaşlar, vb.) ve açık alanların (depo alanları, dinlenme alanları veya spor vb.) sistemleri ve bu korumanın nasıl sağlanacağına ilişkin rehberlik sağlar [9]. Bu standardın uygulanması, korunan yapılar üzerinde yıldırımdan kaynaklanan hasar riskini önemli ölçüde azaltmalıdır. Burada belirtilen hükümler, istatistiksel olarak etkin bir koruma sağlamak için asgari gerekliliklerdir.

Ülkemizde, aktif paratoner uygulamalarına yönelik ticari faaliyetleri olan girişimciler bu standardın kullanımını tercih etmektedir. Standardın beşinci bölümü, aktif paratoner yıldırımdan korunma sistemlerinin kurulumuna dair detaylı bilgiler içermektedir.

Ayrıca aktif paratoner sistemlerinin koruma yarıçap değeri (R_p) hesaplama metodu belirtilmiştir. Burada, aktif paratonerin montaj yüksekliği belirleyici faktör olarak ortaya çıkmıştır.

- $2 \text{ m} \leq h \leq 5 \text{ m}$ ise Denklem 10
- $h \geq 5 \text{ m}$ ise Denklem 11

kullanılarak hesaplanmaktadır. Denklem 10 ve 11 aşağıda paylaşılmıştır.

$$R_p = h \cdot R_p(5) \div 5 \quad (10)$$

$$R_p(h) = \sqrt{2 \cdot r \cdot h - h^2 + \Delta \cdot (2 \cdot r + \Delta)} \quad (11)$$

Burada, “ $R_p(h)$ ” değeri dış yıldırımlık montaj yüksekliğine bağlı koruma yarıçap değerini, “ h ” değeri korunacak olan binanın en yüksek noktası ile paratoner uç noktası arasında kalan mesafeyi belirtmektedir. “ r ” değeri koruma seviyesine bağlı olarak belirlenen sabit değeri, yıldırım darbesinin atlama aralığını, “ Δ ” değeri yıldırım darbesinin yakalanma süresini tanımlamaktadır ve tip testler sonucunda elde edilmektedir.

Yıldırım risk analizi konusunda hesaplamalar için gerekli formüller, Ek A bölümünde yıldırımın etki ettiği noktalara bağlı olarak sunulmuştur. Yapıların risk bileşenlerini temsil eden büyüklüklerin hesaplanmasında kullanılan bilgiler IEC 62305-2 standardına dayandırılmıştır. Bu durumun aksine, tehlikeli olayların etkilerinin incelenmesi için yapılan hesaplamalarda, NFPA 780 standardındaki hızlı risk değerlendirmeleri temel alınmıştır.

YILDIRIM RİSK ANALİZİ HESAPLAMALARI

Bu bölümde, Şekil 1’de paylaşılan Trakya Üniversitesi Eğitim ve Araştırma hastanesi için yıldırım risk analizi değerlendirilmesi yapılmıştır.



Şekil 1: Trakya Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi

Yapı İşleri Daire Başkanlığı’ndan alınan bilgiler ışığında yapının eni (W) 140 m, boyu (L) 200 m ve yüksekliği (H) 40 m’dir. Üniversite yerleşkesi içerisinde bulunduğu konum itibariyle, kendisinden daha küçük yapılarla çevrelenmiştir. Yapı tesisatları toprak içerisine gömülüdür. Binanın elektrik enerji bağlantısı yapıya ait dağıtım transformatörleri ile sağlanmaktadır. Hastane civarında lojman ve öğrenci yurtları bulunması sebebiyle kentsel bir yapı olarak nitelendirilmektedir.

TS EN/IEC 62305-2 Standardı

IEC 62305-2 standardında bulunan işlem adımları izlenerek yapılan yıldırım risk analizinde kullanılan ve hesaplanan değerler açıklamalı olarak Tablo 2’de sunulmuştur.

Yapılan hesaplamalarda, yıldırımdan korunma sistemi bulunmayan yapıya yıldırım düşmesi sonucunda meydana gelecek canlı yaralanmaları, fiziksel hasar ve tesisat hasarları göz önüne alınmıştır.

Tablo 2: IEC 62305-2 standardına göre risk analizi

Parametre	Sembol	Değer
Fırtınalı Gün Sayısı	TD	35
Yıldırım Yoğunluğu	N_G	3,5
Etkili Alan	A_D	154.816
Yapı Konum Faktörü	C_D	0,5
Beklenen Yıldırım Sayısı	N_D	0,27
Canlıların Yaralanma Olasılığı	P_A	1
Fiziksel Hasar Olasılığı	P_B	1
Sistemsel Arızalar Olasılığı	P_C	1
Canlı Kayıplar	L_A	10^{-6}
Fiziksel Kayıplar	L_B	0,025
Sistemsel Kayıplar	L_C	1
Canlıların Yaralanması Riski	R_A	0,27e-6
Yapının Fiziksel Hasarı Riski	R_B	0,00675
Sistemsel Arızalar Riski	R_C	0,27
Toplam Hasar Riski	R	0,277
Risk Eşik Değeri	R_T	0,001
Fırtınalı Gün Sayısı	TD	35
Yıldırım Yoğunluğu	N_G	3,5
Korunma Sistemi Koşulu	$R > R_T$	
Korunma Sistemi Gerekliği	Zorunlu	

IEC 62305-2 standardı çerçevesinde yapılan yıldırım risk analizinde, Trakya Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi için yıldırımdan korunma sisteminin inşa edilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

Ayrıca, yıldırım olaylarının meydana getirdiği hasarların detaylı olarak değerlendirilmesi de mümkün olmuştur. Bu bağlamda, R_C değeri değerlendirildiğinde, sistemde meydana gelecek arıza hasarlarının risk büyüklüğü ön plana çıkmıştır.

NFPA 780 Standardı

NFPA 780 standardı içerisinde belirtilen hızlı risk değerlendirme metodu kullanılarak Trakya Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi için yıldırım risk analizi gerçekleştirilmiştir. Belirlenen parametreler ve hesaplama sonuçları Tablo 3'te paylaşılmıştır.

NFPA 780 standardı risk analizi sonucuna göre Trakya Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde yıldırımdan korunma sistemi bulunmak zorundadır.

Tablo 3: NFPA 780 standardına göre risk analizi

Parametre	Sembol	Değer
Eşdeğer Alan	A_e	154.816
Orajlı Gün Sayısı	N_k	35
Yıldırım Yoğunluğu	N_g	3,4052
Çevre Faktörü	C_1	2
Beklenen Yıldırım Sayısı	N_d	1,0544
Yapısal Katsayı	C_2	1
Yapı Yangın Katsayısı	C_3	1
Yapı Doluluk Katsayısı	C_4	3
Yapı Kullanım Katsayısı	C_5	10
Yapı Faktörü	C	30
Yıldırım Sayısı	N_e	0,0001
Korunma Sistemi Koşulu	$N_d > N_e$	
Etkinlik	E	1
Koruma Seviyesi	Seviye I + Ek Önlemler	

NF C 17 102 Standardı

NF C 17 102 standardı temel alınarak yapılan risk değerlendirmeleri IEC 62305-2 standardındaki metodoloji ile aynıdır.

Bu sebeple, aktif paratoner tesisatlarında etken rol oynayan NF C 17 102 standardı yardımıyla, aktif paratoner bulunan yıldırımdan korunma sisteminin koruma yarıçap değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, $h \geq 5$ m olduğu için Denklem 11 kullanılmıştır. Hesaplama işlemleri ile ilgili detaylar Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4: NF C 17 102 koruma yarıçapı analizi

Parametre	Sembol	Değer
Paratoner Yüksekliği	h	6
Koruma Katsayısı	r	20
Yıldırım Yakalama Süresi	Δ	60
Koruma Yarıçapı	R_h	76

NF C 17 102 standardına göre, koruma seviyesi “Seviye I” olarak belirlendiğinde koruma katsayısı 20 değerini almaktadır. Yıldırım yakalam süresi 60 μ s olan aktif paratoner tercih edildiğinde, yıldırımdan korunma sisteminin koruma yarıçapı 76 m olarak elde edilmektedir.

TARTIŞMA

Türkiye’de, yıldırımdan korunma sistemlerinin kuruluşu için gerekli olan analizlerde yaygın olarak TS EN/IEC 62305, NFPA 780 ve NF C 17 012 standartları kullanılmaktadır. Bu bağlamda, yapılan vaka analizinde bu üç standart tercih edilmiştir.

IEC 62305-2 standardına göre yapılan hesaplamalarda, toplam hasar riski 0,277 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuç risk eşik değerinden daha büyük olduğu için yıldırımdan korunma sisteminin kullanımı zorunlu olarak belirlenmiştir.

NFPA 780 standardı ışığında yıldırım riski için hızlı değerlendirme metodolojisi tercih edildiğinde, etkinlik değerinin hesaplanması sonucu elde edilen değer 1’dir. Sonuç itibarıyla, yıldırımdan korunma seviyesi “Seviye I + Ek Önlemler” olarak ortaya çıkmıştır.

NF C 17 102 standardı temel alınarak yapılan risk değerlendirmeleri IEC 62305-2 standardındaki metodoloji ile aynıdır. Bu durumun sonucu olarak, NF C 17 102 standardı sadece aktif paratonerlerin kullanıldığı korunma sistemlerinde koruma yarıçapının değerini bulmak için kılavuz görevi görmektedir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, Trakya Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi için koruma yarıçapı değeri 76 m olarak tespit edilmiştir.

IEC 62305-2, NFPA 780 ve NF C 17 012 standartlarının güncel sürümleri karşılaştırıldığında, bakış açılarının benzeştiği fark edilmiştir. Buna rağmen, IEC 62305-2 standardı sayesinde yapılan risk değerlendirmesinin daha detaylı ve yorumlanabilir olduğu aşikardır.

NFPA 780 ve NF C 17 012 standartlarının yayımlanan en son sürümlerinde, IEC 62305-2 standardı ile benzer risk değerlendirme metodolojisine yer verdiği gözlemlenmiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada, Trakya Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi için Türkiye’de kullanılmakta olan NF C 17 012, NFPA 780 ve TS EN/IEC 62305 standartları göz önünde bulundurularak yıldırım risk analizi değerlendirilmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- IEC 62305 serisi, ilk yayımlandığı tarihten itibaren kopyasıcı rol üstlenmiştir.
- IEC 62305-2 standardı, daha detaylı risk değerlendirmeleri sunmaktadır.
- En açıklayıcı standart IEC 62305 serisidir.
- NFPA 780 standardı, diğer standartlara kıyasla daha köklüdür.
- NFPA 780 standardı, yıldırım risk analizinde hızlı bir değerlendirme metodolojisi önermektedir.

- NFPA 780 standardı, diğer standartlar ile karşılaştırıldığında nispeten anlaşılır olduğu saptanmıştır.
- NF C 17 012 standardı, aktif paratonerlerin uygulamaları için ilk ve tek olma özelliğini günümüzde de sürdürmektedir.
- NF C 17 012 standardı, yapısı itibariyle karmaşıktır.
- NF C 17 012 standardı, anlaşılması en zor standart olma özelliği ile öne çıkmaktadır.
- Aktif paratoner kullanımında, yıldırımdan korunma yarıçap değerleri NF C 17 012 kullanılarak hesaplanabilmektedir.
- NF C 17 012 standardı, IEC 62305-2 ve NFPA 780 standartlarının açığını kapatarak tamamlayıcı rol üstlenmiştir.
- Türkiye’de NFPA 780 standardında bulunan hızlı risk analizi hesaplamaları kullanılarak, NF C 17 012 standardında belirtilen yıldırımdan korunma yarıçap değerlerinin dikkate alındığı tespit edilmiştir.
- IEC 62305-2, NFPA 780 ve NF C 17 012 standartlarının güncel sürümleri karşılaştırıldığında, bakış açılarının benzeştiği gözlemlenmiştir.
- Trakya Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi için yapılan yıldırım risk değerlendirmesi hesaplamalarında IEC 62305-2 ve NFPA 780 standartlarının benzer sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır.
- Trakya Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi için mutlaka yıldırımdan korunma sistemi tesis edilmelidir.
- Aktif paratoner tercihinde, yükseklik 6 m olarak uygulanırsa, koruma yarıçapı 76 m olarak elde edilmektedir.

Gelecekteki çalışmalarda, Trakya Üniversitesi Balkan Yerleşkesi içerisinde bulunan tüm yapıların yıldırımdan korunma sistemlerinin tespit edilmesi, periyodik kontrollerinin yapılması ve sorunların tespitinin ardından çözüm önerilerinin getirilmesi planlanmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: 2022/129. Yazar, desteklerinden dolayı Trakya Üniversitesi’ne teşekkürlerini sunar.

REFERANSLAR

- British Standards Institution. (2011a). *BS EN 62305-1: Protection against lightning Part 1 : General principles* (Issue November).
- British Standards Institution. (2011b). *BS EN 62305-3: Protection against lightning Part 3 : Physical damage to structures and life hazard*.
- British Standards Institution. (2011c). *BS EN 62305-4: Protection against lightning Part 4 : Electrical and electronic systems within structures* (Issue November).
- British Standards Institution. (2012). *BS EN 62305-2: Protection against lightning Part 2: Risk management*.
- Heidler, F., Zischank, W., Flisowski, Z., Bouquegneau, C., & Mazzetti, C. (2008). Parameters of lightning current given in iec 62305 – background , experience and outlook. *Proc 29th Intl Conf on Lightning Protection*, June, 1–22.
- Pack, S., & Piantini, A. (2014). Lightning research and lightning protection technologies. *Electric Power Systems Research*, 113(September 2012), 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2014.04.020>
- Rizk, F. A. M. (2009). Modeling of lightning exposure of buildings and massive structures. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 24(4), 1987–1998. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2009.2028759>
- The National Fire Protection Association. (2020). *NFPA 780: Standard for the Installation of Lightning Protection Systems*.
- Union Technique de l'Electricité. (2011). *NFC 17-102: Protection Against Lightning – Early Streamer Emission Lightning Protection Systems* (Vol. 33, Issue September 2011).

4. Bölüm

Makine Öğrenmesi Algoritmalarında Hiper Parametre Belirleme

Murat EMEÇ¹

Mehmet Hilal ÖZCANHAN²

1 Öğr. Gör. Dr. ; İstanbul Üniversitesi. murat.emec@istanbul.edu.tr ORCID No: 0000-0002-9407-1728

2 Doç. Dr. ; Dokuz Eylül Üniversitesi. hozcanhan@cs.deu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-5619-6722

ÖZET

Makine öğrenimi, bilgisayarların verileri inceleyerek karmaşık örüntüleri algılayıp akılcı kararlar vermelerini sağlayan algoritmaların tasarımı ve geliştirme sürecini inceleyen bir yapay zekâ teknolojisi alt dalıdır. Bu teknolojinin temel amacı, verilerden insanlar gibi yeni şeyler öğrenmesine olanak tanımadır. Makine öğrenmesi algoritmalarının tasarımı ve geliştirilmesi sürecinde hiper parametre belirleme oldukça önemlidir. Makine öğrenimi algoritmalarının başarısı, modelin yapılandırması ve hiper parametrelerinin doğru belirlenmesine bağlıdır. Hiper parametreler, bir modelin başarıya ulaşmak için optimize edilmesi gereken özelliklerdir. Bunlar, modelin öğrenme oranı, yinelemeler sayısı, aktivasyon fonksiyonları, ağırlıklar, regülasyon parametreleri, çıkış fonksiyonu gibi özelliklerdir. Hiper parametrelerin yanlış belirlenmesi, modelin düşük performans sergilemesine veya aşırı uyumlu hale gelmesine neden olabilir. Hiper parametre belirleme, kısaca, bir makine öğrenimi modelinin en iyi hiper parametreler kombinasyonunun belirlenmesi işlemidir. Bu işlem, birçok hiper parametre kombinasyonunun test edilmesini gerektirir. Grid Search, Random Search ve Bayesian Optimization gibi farklı hiper parametre belirleme teknikleri vardır. Bu teknikler, farklı hiper parametrelerin aralıklarını ve değerlerini test ederek en iyi kombinasyonu belirler. Hiper parametre belirleme işlemi, doğru şekilde yapıldığında, modelin performansını önemli ölçüde artırabilir. Bu nedenle, hiper parametre belirleme işlemi, makine öğrenimi modellerinin tasarımında önemli bir adımdır. Bu ünite, makine öğrenmesi algoritmalarında hiper parametre belirlemenin önemine ve yöntemlerine odaklanmaktadır. Uygulanan yöntemlerin yanı sıra uygulamalı örneklerle ve hiper parametre performans sonuçları sunulmaktadır. Sonuç olarak, makine öğrenimi modellerinin başarısını artırmak için, hiper parametre ayarlama sürecinin önemi vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Makine öğrenmesi, hiper parametre, algoritma, model performansı, optimizasyon

GİRİŞ

Yapay Zekânın temel amacı bilgisayarların, diğer bir deyişle makinelerin verilerden insanlar gibi yeni şeyler öğrenmesini sağlamaktır. Öğrenme algoritmaları hedef alınarak yapılan bilimsel Yapay Zekâ çalışmaları da Makine Öğrenimi alanını ortaya çıkarmıştır. Makine Öğrenimi algılayıcı veya veri tabanı verilerine dayalı öğrenimini olanaklı kılan algoritmaların tasarım ve geliştirme süreçlerini inceleyen bir bilim dalıdır. Teknik olarak Makine Öğrenimi, bilgisayarların verileri inceleyerek karmaşık örüntüleri algılayıp akılcı kararlar verebilme becerisi kazanmasına odaklanmaktadır. Diğer bir yönden bakışla, Makine Öğrenimi bilgisayarların açıkça programlanmadan tahminleme görevlerini nasıl yerine getirebileceklerini keşfetmelerini içermektedir.

Makine Öğrenimi Matematik, İstatistik, Olasılık Kuramları, Veri Madenciliği, Örüntü Tanıma, Uyarlamalı Denetim ve Kuramsal Bilgisayar Bilimi alanlarıyla yakından ilintilidir. Makinelere eldeki bir sorunu çözmek için gereken tüm adımları nasıl uygulayacağını gösteren algoritmalar programlamak mümkün olduğuna göre, belirli görevleri yerine getirmeleri için onlara veri sağlayarak öğrenmeleri sağlanabilir. Ancak, gelişmiş karmaşık görevlerde gerekli algoritmaları elle oluşturmak insanlar için zorlayıcı olmaktadır. Dolayısıyla, birçok mühendislik probleminde uygulandığı gibi, gerekli her adımı insanların belirlemesinden ziyade, makinenin kendi öğrenme modelini geliştirmesine yardımcı olmak sonuç almak adına daha etkili bir yöntem olarak kabul edilmiştir. Örneğin, bir soruya çok sayıda yanıtın olası olduğu durumlarda, doğru yanıtı etiketleyerek bilgisayarın daha sonra doğru yanıtları bulmak için bir model geliştirmesine yardımcı olunması gibi (Alpaydın, 2020). Ancak, makinelerin farklı konularda ve farklı türden verilerle, aynı algoritmaları içeren bir model vasıtasıyla her gelişmiş veya karmaşık örüntüyü öğrenmelerini beklememeliyiz. O halde, üzerinde çalışılan konuya özel Makine Öğrenimi modellerinin oluşturulması ve tasarlanan modellerin en başarılı tahminleri yapabilen yapılara dönüşmeleri için mükemmelleştirilmeleri gerekmektedir. Bu ünite de Makine Öğrenimi modellerinin yapılarının hiper parametrelerinin ayarlanması yoluyla mükemmelleştirilmeleri ele alınmaktadır.

MAKİNE ÖĞRENİMİ TEMEL BİLGİLERİ

Günümüzde Makine Öğrenimi ile bir sonraki hafta için hava durumunu kontrol etmek, el yazısıyla aldığımız notları daktilo edilmiş bir belgeye aktarmak, araba koltuğunu tercih ettiğimiz konuma ayarlamak gibi konularda günlük hayatımızda karşılaşmaya başladık. Makine Öğrenimi algoritmaları öyle bir popülerlik kazandı ki, artık nerdeyse her bilim alanında kullanılır hale geldi

ve Ağ oluşturma (Bacanli vd., 2021), ulaşım (De la Torre vd., 2021), metin analizi (Sayed vd., 2020:20-26), biyoinformatik (Girgis vd., 2020:501-513) gibi çok sayıda bilimsel disiplinle bütünleşti. Bu geniş Makine Öğrenimi uygulamaları yelpazesi, sınıflandırma problemlerini çözmeye ve tahminlemede elde edilen başarılarından kaynaklanmaktadır. Bahse konu başarılar tasarlanan modellerin öğelerinin güncellenmesi veya yapılarının değiştirilmesi ile mümkün olmaktadır.

Bir Makine Öğrenimi modeli oluşturulurken modelin içyapısının (mimarisinin) tasarımında bazı seçenekler bulunmaktadır. Öncelikle incelenen konunun eldeki veri tipini en iyi analiz edebildiği literatürde benimsenmiş algoritmaların belirlenmesi gerekmektedir. Doğal olarak, belirlenen algoritmalar arasından en iyi sonuç verenin seçilmesi hedeflenir. Fakat en başarılı algoritma ve başarı oranı verilerin analizi bitmeden bilinemez. İlk analizlerden sonra en başarılı sonuçları veren üç algoritma belirlenmekte, ikinci adımda algoritmaların mimarisi değiştirilerek yapılan testlerle doğruluğu en yüksek, hata oranını en düşük sonucu veren algoritma saptanır. Ancak, en uygun model ve mimari hemen, tek bir denemeyle keşfedilemeyebilir. Bu nedenle bir dizi Makine Öğrenimi testi yapılarak “ideal” veya “en efektif” model aranır. İdeal model adaylar arasından öğrenme işini en kısa zamanda, en az enerji tüketimi ile ve en yüksek doğruluk sonucunu vererek yapan modeldir. Zaman, enerji ve doğruluk kıstaslarının tümünde en iyi sonucu alan model olmazsa, en iyi iki sonucu alan model ve mimarisi seçilir. Modeller bulduğu sonuçları gerçek sonuçlarla karşılaştırıp dâhili parametrelerini ayarlamak suretiyle gerçek sonuca en yakın sonucu veren yapıyı öğrenir.

Makine Öğrenimi modelleri iki farklı parametre türünden oluşur: Hiper parametreler ve model parametreleri. Model parametrelerine kısaca “parametreler” de denmektedir. Model parametreleri model eğitilirken gradyan inişi kullanılarak bir kayıp fonksiyonunun optimize edilmesi ile öğrenilir (Yapay Sinir Ağlarındaki (YSA) ağırlıklar, Doğrusal Regresyon vb.). Model parametreleri girdi verilerinin istenen çıktıya nasıl dönüştürüleceğini belirtir. Hiper parametreler ise model parametreleri değildir, doğrudan verilerden eğitilemezler ve modelin nasıl yapılandırıldığını tanımlarlar. Dolayısıyla, Hiper parametreler öğrenme süreci sırasında ayarlanmayan, öğrenme süreci başlamadan önce kullanıcı tarafından ayarlanabilen parametrelerdir. Örneğin Rastgele Orman algoritmasındaki tahminci sayısı gibi. Hiper parametrelerin değiştirilerek yapılan ideal model mimarisini arama süreci “Hiperparametre ayarlama” olarak adlandırılmaktadır.

Bir Makine Öğrenimi modelinin performansı, Hiper parametrelerinin değerlerine bağlı olarak büyük ölçüde değişebilir. Makine Öğreniminde temel

kavramlar olan Doğrusal Model, Karar Ağacı, Rasgele Ormanı, Sinir Ağı Katmanı, Gradyan İnişi konularını çalışmış olanlar, ideal model arayışı sırasında aslında aşağıdaki sorulara yanıt aramaktadırlar;

- Doğrusal bir model için ne derece polinom özellikler kullanılabilir?
- Karar ağacım için izin verilen maksimum derinlik ne olmalıdır?
- Karar ağacımdaki bir yaprak düğümünde gereken minimum örnek sayısı ne olmalıdır?
- Rastgele Ormanıma kaç ağaç dâhil etmeliyim?
- Sinir Ağımda kaç katman olmalı?
- Sinir Ağı Katmanımda kaç nöron olmalı?
- Gradyan inişi için öğrenme hızımı kaç olarak ayarlamalıyım?

Yukarıdaki sorulara Hiper parametre ayarlamaları yanıt olabilmekte, ancak onları da önceden hesaplamanın bir yolu bulunmamaktadır. Dolayısıyla, ideal model mimarisini bulmak için aşağıdaki adımlar takip edilmektedir;

- Bir model tanımlanması,
- Tüm Hiper parametreler için olası değer aralığı tanımlanması
- Hiperparametre değerlerini örneklemek için bir yöntem tanımlanması
- Modeli değerlendirmek için değerlendirme ölçütlerinin tanımlanması
- Çapraz doğrulama yöntemi tanımlanması

Makine Öğrenimi modellerinin optimizasyonunda modelin tahmin ettiği sonuçlarda asgari hata ve azami doğruluk oranlarına erişmede yardımcı olabilecek Hiper parametre değerlerinin doğru kombinasyonunun bulunması amaçlanmaktadır. Hiper parametre ayarlaması farklı Makine Öğrenimi modellerinin bir veri kümesi üzerinde gösterdiği performansı çok etkileyebilmektedir. Örneğin en iyi Hiper parametrelere sahip bir Destek Vektör Makinesi modelini, Hiper parametre ayarlaması yapılmamış bir Rastgele Ormanı modeliyle karşılaştırmak doğru olmayacaktır. Makine Öğrenimi uygulaması bir modeli eğitirken üç öğeyi kullanmaktadır;

- Girdi verileri: Eğitim verileri olarak adlandırılır. Makine Öğrenimi problemi için önemli olan özellikleri içeren bireysel kayıtların toplamıdır. Eğitim sırasında tasarlanan modeli benzer verilerin yeni örnekleri hakkında doğru tahminler yapacak şekilde yapılandırmak için kullanılır. Girdi verilerindeki değerler hiçbir zaman modelin doğrudan bir parçası haline gelmez.
- Tasarlanan modelin parametreleri: Seçilen Makine Öğrenimi algoritmasının verilere uyum sağlamak için kullandığı değişkenlerdir.

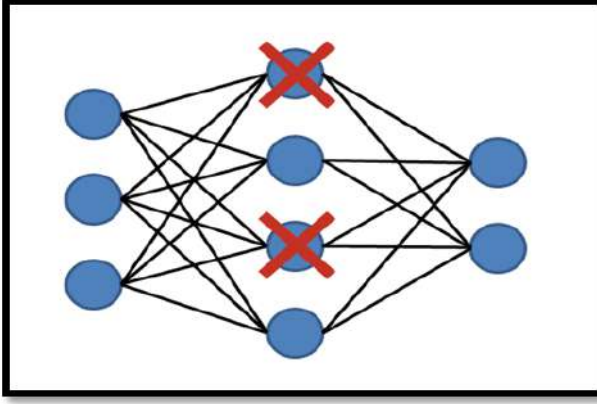
Şöyle ki, bir Derin Sinir Ağı (DSA) her bir ağ boyunca veriler üzerinde işlem gerçekleştiren işlem düğümlerinden (nöronlar) oluşur. Her düğümün modelin nihai tahmini üzerinde ne kadar etkisi olduğunu belirleyen bir ağırlık değeri bulunmaktadır. Bu ağırlıklar modelin parametrelerine bir örnektir, tahminlemeye büyük etkileri bulunmaktadır ve tasarlanan modeli benzer veriler üzerinde çalışan aynı türdeki diğer modellerden ayıran özelliğidir. Model parametreleri eğitim süreci tarafından ayarlanır. Veriler modelin işlemleri boyunca kullanılır, sonuçta elde edilen tahmin sonucu gerçek değeri ile karşılaştırılır, doğruluğu değerlendirilir ve en iyi değerler bulunana kadar ayarlanmaya başlanır.

- Hiperparametreler: Eğitim sürecinin kendisini yöneten değişkenlerdir. DSA modeli tasarlanmanın bir aşaması da giriş katmanı ile çıkış katmanı arasında kaç gizli düğüm katmanı kullanılacağına ve her katmanda kaç düğüm bulunması gerektiğine karar vermektir. Bu değişkenler yapılandırma değişkenleridir ve eğitim verileriyle ilgili değildir. Model parametreleri bir eğitim işi sırasında değişebilir, ancak Hiper parametreler sabit kalmaktadır.

Hiperparametreler, tüm eğitim işi çalıştırılarak toplam tahmin doğruluğu değerlendirilerek tekrar tekrar ayarlanır. En iyi tahmin doğruluk oranına sahip parametre kombinasyonu (model parametreleri ve Hiper parametreler kombinasyonu) bulununcaya kadar modelin bileşimi değiştirilir. İdeal modele ulaşmak için Hiper parametrelerin manuel olarak ayarlanarak birçok eğitim çalışması yapılması gerekebilir.

Bazı yaygın Model Öğrenimi model mimarileri Hiper parametreleri şunlardır;

- Öğrenme hızı (Learning rate)
- Toplu boyutu (Batch size)
- Gizli katman sayısı (Number of hidden layers)
- Gizli katmandaki nöron sayısı (Number of neurons per hidden layer)
- Aktivasyon fonksiyonu (Activation function)
- Düzenleme parametresi (Regularization parameter)



Şekil 1: Yapay sinir ağlarında Hiper parametre

Şekil 1’de ara YSA katmanında yer alan 4 nöron’dan iki tanesinin göz ardı edilmek suretiyle yeni bir YSA model tasarımı sunulmasını göstermektedir. "Gizli katmandaki nöron sayısı" Hiper parametresi değerleri modelin karmaşıklığını ve performansını etkileyebilir. Örneğin, bir YSA modelinin eğitimindeki gizli katman sayısı 1 ve her bir gizli katmanda farklı sayıda nöronlar kullanarak bir dizi deney yapılabilir ve deneylerde 10, 50, 100, 200 ve 500 nöronlu gizli katmanlar kullanılabilir.

Eğitim uygulaması, modelin Hiper parametreleri ve her Hiper parametre için hedef değeri tanımlamakla başlamaktadır. Hiper parametre ayarlama, tek bir eğitim işinde birden fazla deneme çalıştırılarak gerçekleştirilmektedir. Her deneme, seçilen Hiper parametreler için belirlenen sınırlar dâhilinde ayarlanmış değerlerle eğitim uygulamasının eksiksiz bir şekilde yürütülmesidir. Deneme tamamlandığında, belirtilen değişkenlere göre yapılan denemelerin sonuç özeti listelenir. Listede yer alan en başarılı değişkenler kombinasyonuna sahip model hedef model olarak kabul edilir.

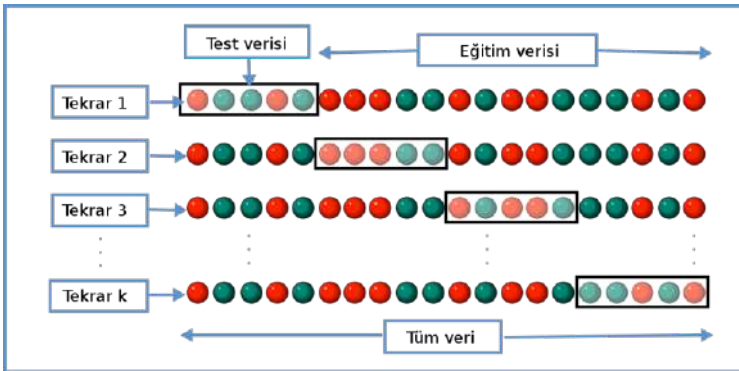
HİPER PARMETRE AYARLAMA YÖNTEMLERİ

Herhangi bir Makine Öğrenimi algoritmasında, bir model eğitime başlamadan önce Hiper parametre değerlerinin saptanması gerekir. Model Hiper parametrelerinde ince ayar yapmak, modelin doğrulama setindeki performansını en üst düzeye çıkarır. Her algoritmanın tanımlanmış bir Hiper parametre seti vardır; örneğin, Karar Ağacı algoritmasının Hiper parametresi derinlik parametresidir.

Hiperparametre ayarlama sürecinde önemli bir adım olarak kabul edilen “çapraz doğrulama” (ÇD) sürecini açıklamak önemlidir. ÇD Makine Öğrenimi modellerinin doğruluğunu tahmin etmek için kullanılan istatistiksel bir

yöntemdir. ÇD gerçekleştirmek için verilerin bir alt kümesi “test verisi” olarak doğrulama yapmak için ayrılır. Ayrılan alt küme modeli eğitmek için kullanılmaz, ancak daha sonra doğrulama testinde kullanılmak üzere saklanır. Model bir kez eğitildikten sonra, daha önce eğitim sırasında karşılaşılmayan veriler üzerinde modelin ne kadar iyi çalışacağı konusunda güvenceye ihtiyaç doğar. Bu nedenle modelin tahmin doğruluğu performansı test edilir. Modelin test verileri üzerindeki performansına bağlı olarak, modelin yetersiz mi veya fazla mı yoksa iyi mi ayarlanmış olduğu belirlenir.

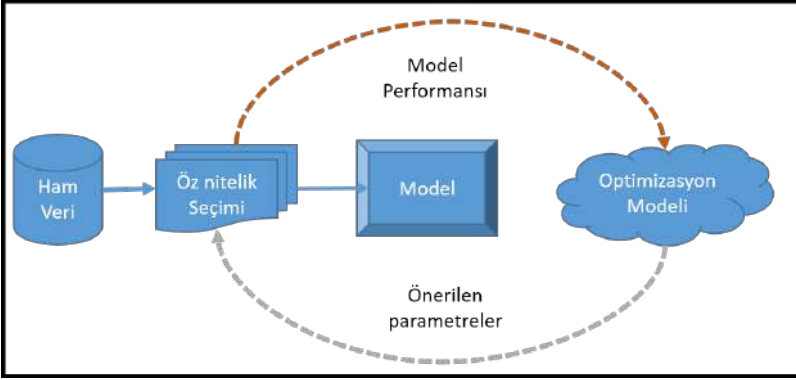
K-Katlama, en yaygın ÇD tekniklerinden biridir (bkz. Şekil 2). K-Katlama, K parametresi belirli bir veri kümesinin bölündüğü katlama veya bölüm sayısını gösterir. Kıvrımlardan biri doğrulama seti olarak tutulur ve Makine Öğrenimi modeli kalan K-1 kıvrımları kullanarak eğitir. K-Katlamasının her bir katı, sonuç olarak verilen K puanları (doğruluk) ile bir noktada doğrulama seti olarak kullanılır. Şekil 2'de gösterildiği gibi son olarak nihai bir model puanı elde etmek için model kıvrımların her birine göre ortalama alınır.



Şekil 2: Çapraz doğrulama

Hiperparametrelerin gücü eğitim algoritmasının davranışını doğrudan kontrol etme yeteneklerinden kaynaklanmaktadır. Beklenen yüksek tahminleme doğruluğunu elde edebilmek için parametreler değiştirilirken üç veri kümesine sahip olmak gerekmektedir: Bir eğitim, bir test ve bir doğrulama kümesi. Gerekli kümelerinin var olduğu bir modelin geleneksel en iyi Hiper parametre değerlerini bulma işlemi Şekil 3’de görüldüğü gibi elle (manuel) yapılmaktadır. Araştırmacılar en iyi Hiper parametre değerlerini belirlemek için geçmiş deneyimlerine güvenseler de, bir model için bulunan en iyi Hiper parametre ayarı başka bir model için en iyi ayar olmayabilir, çünkü yeni değerler farklı veri seti ve farklı bir konuya göre belirlenecektir. Bu nedenle, önceki deneyimlere dayalı olarak Hiper parametre değerlerini tanımlamak kolay bir iş

değildir. Bu yüzden bir modelin alternatif yapılandırmalarını keşfetmek için farklı yöntemlere ihtiyaç vardır.



Şekil 2: Hiper parametre doğrulama süreci

Hiperparametre ayarlama yöntemleri için aşağıdaki yaklaşımlar sunulmaktadır;

- Manuel Arama
- Izgara (Grid) Arama
- Rastgele Arama
- Bayes Optimizasyonu
- Genetik Algoritmalar
- Parçacık Sürü Optimizasyonu

Manuel Arama

Manuel Aramada deneyimlere dayanılarak başlangıç Hiper parametre değerleri seçilir. Daha sonra model eğitilir, tahminleme doğruluğu değerlendirilir ve yeni değerlerle süreç yeniden başlatılır. Bu döngü tatmin edici bir doğruluk elde edilene kadar tekrarlanır. Bir Rastgele Ormanı algoritması tarafından kullanılan ana parametreler şunlardır;

- criterion = bir ayrımın kalitesini değerlendirmek için kullanılan fonksiyon.
- max_depth = her ağaçta izin verilen maksimum seviye sayısı.
- max_features = bir düğümü bölerken dikkate alınan maksimum özellik sayısı.
- min_samples_leaf = bir ağaç yaprağında saklanabilecek minimum örnek sayısı.

- `min_samples_split` = bir düğümün bölünmesi için gerekli minimum örnek sayısı.
- `n_estimators` = topluluktaki ağaç sayısı.

Rastgele Ormanı Hiper parametreleri hakkında daha fazla bilgi Scikit-Learn dokümantasyonunda bulunabilir (Koehrsen, 2020).

Izgara(Grid) Arama

Hiperparametre ayarlamak için günümüzdeki en geleneksel yaklaşım Izgara Arama gösterilebilir (Shekar ve Dagnew, 2019:1-18). Önce makul değerlerden oluşan tüm Hiper parametre kombinasyonlarının bir Kartezyen çarpımı üretilir. Daha sonra belirlenen Makine Öğrenimi algoritması tüm Hiper parametre kombinasyonları için veri eğitimi gerçekleştirir. Eğitimin performansı ÇD tekniği kullanılarak ölçülür. Böylece tüm Hiper parametre değerlerinin kombinasyonu ile bir ızgara oluşturulup değerlendirmek için her modelin performans puanı ÇD yoluyla bulunur. Son olarak en iyi performans sonucunu veren model belirlenir ve bu modelde kullanılan Hiper parametre değerleri kullanılır. Izgara Arama hiçbir deneyim kullanılmadan yapılan en düz Hiper parametre ayarlama yöntemidir ve en iyi Hiper parametrelerin tespit edilmesini garanti eder. Bununla birlikte, hızlı yakınsama sağlamadığı, Hiper parametre sayısı büyük olan durumlarda yüksek işlem gücü gerektirdiği ve en iyi performansı bulmada geciktiği için çok verimli bir yöntem değildir. N farklı değere sahip k parametre test edildiğinde, Izgara Aramanın karmaşıklığı $O(Nk)$ oranında artar (Lorenzo vd., 2017).

Örneğin bir algoritmanın 5 Hiper parametresi varsa ve her bir Hiper parametre için 10 farklı değer aranacaksa, bu $5^{10} = 9,765,625$ farklı Hiper parametre kombinasyonu demektir. Her bir Hiper parametre kombinasyonu, 10 katlı bir çapraz doğrulama kullanılarak test edilecekse 97,656,250 model uyumu gerekecektir. Her model uyumu, veri kümesinin bir bölümü üzerinde eğitim ve bir diğer bölümü üzerinde doğrulama yaparak gerçekleştirilir. Sonuçta, 10 katlı çapraz doğrulama 10 farklı model uyumu, dolayısıyla 10 farklı bölümde veri kümesini bölüştürülerek 10 katlı çapraz doğrulama ile toplamda 976,562,500 model uyumu anlamına gelmektedir. Her model uyumunda ayrıca tahminlerin yapılması da gerektiğinden toplamda 976,562,500 tahmin yapılması gerekebilir. Bu nedenle, bu kadar büyük bir Hiper parametre arama alanı ile çalışmak, hem bilgi işlem gücü hem de zaman açısından oldukça maliyetli olabilir.

Rastgele Arama

Rastgele Arama (Bergstra ve Bengio, 2012:281-305), arama alanını örnekler ve belirli bir olasılık dağılımından kümeleri değerlendirir. Kısaca, en başarılı modeli bulmak için Hiper parametrelerin rastgele kombinasyonlarının kullanıldığı bir tekniktir. Örneğin, 100.000 örneğin tamamını döndürmek yerine, yalnızca 1000 rasgele Hiper parametre seti örneği kontrol edilir. Rastgele Arama'daki değerlendirmelerin sayısı, Hiper parametre optimizasyon süreci başlamadan önce başlangıçta ayarlanmalıdır. Bu nedenle, n değerlendirme çalıştıran Rastgele Arama'nın karmaşıklığı $O(n)$ 'dir (Witt, 2005:44-56). Rastgele Arama algoritmasının önemli bir dezavantajı, sonraki kümeyi seçmek için önceki denemelerden gelen bilgileri kullanmaması ve bir sonraki denemeyi tahmin etmek için bir strateji kullanmamasıdır.

Bayesian Arama

Hiperparametre ayarı yapmak için bazı bilim insanlarına otomatikleştirilmiş yöntemler daha çekici yaklaşım gelmektedir. Bayes Optimizasyonu da bilinçli bir arama algoritmasıdır. Diğer bir deyişle bu algoritmanın her döngü yinelemesinde makine bir öncekinden öğrenmekte ve bir bir sonraki öğrenmeyi oluşturmaktadır. Bayes Arama, Hiper parametre kombinasyonlarının bir alt kümesini örnekleme işlemiyle Rastgele Arama yöntemine benzemektedir. Ancak, her bir kombinasyonun seçilme biçimi Rastgele Aramadan farklıdır. Bayes Arama (Nguyen, 2019:302-305], Hiper parametre ayarlama sürecini bir kara kutu fonksiyonunun optimizasyonu olarak görür. Test edilen modelin nihai tahmin doğruluk puanı olduğuna göre, algoritmayı en uygun yapıya indirgemek için herhangi bir küresel optimizasyon çerçevesi uygulayabilir. Amaçlanan nihai modele yaklaşmak için kullanılan ara modele “vekil model” denmektedir. Bayes Aramasının birçok türev modeli kullanımdadır, ancak en yaygın olanı Gauss Süreci'dir (GS). GS'de ilk olarak, birkaç Hiper parametre kombinasyonu rastgele seçilir ve test edilir. Rastgele seçilen bu Hiper parametrelerin değerleri daha sonra amaç fonksiyonunun ilk modelini üretmek için kullanılır. Modelin ilk taslağı elde edildikten sonra, bir sonraki kombinasyonu seçmek için iki yöntem kullanılır: 1) Elde edilen en yüksek değere yakın bir değer seçilir. Burada doğru tahminleme performansının artması muhtemeldir. 2) Hiper parametre aramasının başka bir alt kümesi keşfedilmeye çalışılarak maksimum performans aranır. Bayes Aramanın avantajı, Izgara Arama'nın yaptığı gibi arama uzayındaki her kombinasyonu örneklememesi ve aynı zamanda Rasgele Aramaya göre daha sistematik bir şekilde ilerlemesidir. Ancak, GS yöntemini n boyutundaki bir veri kümesi üzerinde uygulamak, $O(n^3)$ zaman karmaşıklığına ve $O(n^2)$ (Hensman ve Fusi, 2013:282-290) uzay karmaşıklığına sahiptir.

Genetik Arama

Metasezgisel algoritmalar, temel olarak biyolojik teorilerden ilham alan yaklaşımlardır, ve sürekli ve dışbükey olmayan optimizasyon problemlerini çözme yetenekleriyle tanınırlar. Metasezgisel algoritmalar her yinelemede bir nesil temsil eden popülasyon oluşturarak başlarlar. Her nesil, kromozomlar tarafından temsil edilen bir takım özelliklere sahip bireyler olarak adlandırılan bir dizi “aday çözümden” oluşur. Her nesildeki her aday çözüm daha sonra genel bir optimum bulunana kadar değerlendirilir (Man vd., 1996:519-534). Metasezgisel algoritmalar, kendi aralarında popülasyonları oluşturmak ve seçmek için kullanılan yöntemlerde farklılık gösterirler. Metasezgisel algoritmalara yaygın bir örnek Genetik Algoritmadır (GA). GA, çevresel değişikliklere en iyi uyum sağlama yeteneğine sahip bireylerin hayatta kalma ve dolayısıyla yeteneklerini gelecek nesillere aktarma olasılıklarının daha yüksek olduğu evrim teorisine dayanmaktadır (Friedrich, 2017:477-490). Bir sonraki nesil, ebeveynlerin özelliklerini miras aldıkça, ebeveynlerinin daha iyi veya daha kötü versiyonlarına sahip bireyler üretebilirler. Daha iyi bireylerin hayatta kalma ve sonuç olarak daha iyi yavrulara sahip olma olasılığı daha yüksek olurken, daha kötü bireyler yavaş yavaş yok olacaktır. Birkaç nesil sonra, en iyi kromozomları (özellikleri) taşıyan birey, küresel optimum olarak tanımlanacaktır (Itano vd., 2018:1-8). GA'yı Hiper parametre optimizasyon problemine uygularken, her Hiper parametre bir kromozom tarafından temsil edilir ve Hiper parametrenin değeri, temsili kromozomun ondalık değerine ayarlanır. Her kromozom, ikili basamak biçiminde temsil edilen birkaç gene sahiptir. Daha sonra optimum parametreleri belirlemek için bu kromozomun genleri üzerinde kromozom seçimi, çaprazlama ve mutasyon işlemleri gerçekleştirilir. İyi uygunluk fonksiyonu değerlerine sahip kromozomlar seçilir ve bir sonraki nesile daha yüksek olasılıkla aktarılırlar. Bir sonraki nesilde, bu kromozomlar ebeveynlerinin en iyi özelliklerini taşıyan yenilerini üretir. Çaprazlama, arama uzayında çözümlerin karışımını elde etmek için çözümü temsil eden farklı kromozomların genlerinin oranlarını değiştirerek yeni kromozomlar üretmek için kullanılır (Srinivas ve Patnaik, 1994:656-667). Mutasyon, bir kromozomun bir veya daha fazla genini rastgele değiştirerek yeni kromozomlar oluşturmak için de kullanılabilen başka bir işlem türüdür (Smullen vd., 2014:504-511). Çaprazlama ve mutasyon işlemleri, sonraki nesillerin çeşitliliğini, farklı özelliklere sahip olmalarını sağlar ve iyi olanları kaçırma şansını azaltır (Yang ve Shami, 2020:495-316). Başlatma adımını uygun bir tahminle ayarlamak algoritmanın yakınsama hızını artıracığından, her optimizasyon probleminde çok önemli bir adım olarak kabul edilir. Başlangıç değerleri, yakınsama işlemi sırasında yinelemeli olarak iyileştirilse bile, arama

uzayı içinde ümit vermeyen yerel bölgelere hapsolmeden yakınsamayı optimum noktaya yaklaştıran başlangıç değerlerini seçmek her zaman akıllıca olacaktır. Genetik Algoritmanın avantajlarından biri iyi başlangıç değerlerinin seçiminde aşırı çaba gerektirmeden rastgele seçilmesine de izin vermesidir. Mutasyon, çaprazlama ve seçim işlemleri küresel optimumun kaçırılmamasını sağlamaktadır. Ancak GA sıralı bir yürütme algoritması olduğundan paralelleştirme olasılığı daha düşüktür. GA'nın zaman karmaşıklığı, düşük yakınsama hızı olarak kabul edilen $O(n^2)$ mertebesinde (Lobo vd., 2020).

Parçacık sürü Optimizasyonu

Optimizasyon problemlerini çözmek için diğer bir güçlü meta-sezgisel örnek yaygın olarak kullanılan Parçacık Sürü Optimizasyonudur (PSO) (Shi ve Eberhart, 1998:591-600). PSO, bir grup parçacığın (sürü) arama uzayını yarı rastgele bir şekilde taramasını sağlayarak, yinelemeli bir şekilde optimizasyon elde etmeye çalışır (Chuan ve Quanyuan, 2007:823-826). Bunu bir gruptaki parçacıklar arasında bilgi paylaşımı ve işbirliği yoluyla sağlamaya çalışır. PSO'da, sürü bir parçacık grubuna sahiptir ve her parçacık parçacığın o ana kadarki en iyi bilinen konumunu, mevcut konumunu ve mevcut hızını içeren bir vektörle temsil edilir. Her parçacığın konumu ve hızı başlatıldıktan sonra, her parçacığın mevcut konumu ve tahminleme doğruluk performans puanı hesaplanır. Bir sonraki yinelemede, her bir parçacığın hızı, önceki yinelemelerden hesaplanan bilgilere, yani konum ve mevcut küresel optimal konuma dayalı olarak değiştirilir. Parçacıklar daha sonra yeni hız vektörlerine göre hareket ederler (Xiaojing, 2019:2084-2087). Bu adımlar, bazı yakınsama veya sonlandırma kriterlerine ulaşılan kadar tekrarlanır. PSO, çaprazlama ve mutasyon işlemlerini içermediğinden uygulanması GA'dan daha kolaydır. GA'da, tüm kromozomlar birbirleriyle bilgi paylaşır, böylece tüm popülasyon düzgün bir şekilde optimal bölgeye doğru hareket ederken, PSO'da yalnızca bireysel en iyi parçacık ve küresel en iyi parçacık diğerlerine iletilir.

PSO algoritmasının hesaplama karmaşıklığı $O(n \log n)$ 'dur (Yan vd., 2017:340-355). Genel olarak GA'dan daha hızlı yakınsamaya sahiptir. Ayrıca, PSO'nun paralel hale getirilmesi kolaydır, çünkü parçacıklar bağımsız çalışır ve yalnızca her yinelemeden sonra birbirleriyle bilgi paylaşırlar. Ancak, GA'dan farklı olarak PSO algoritmasındaki popülasyonun uygun şekilde başlatılması gerekir. Aksi takdirde, özellikle ayrık Hiper parametreler için PSO yalnızca yerel bir optimum bulabilir ve genel optimumu kaybedebilir. PSO'nun performansını ve yakınsamasını iyileştirmek için birçok popülasyon başlatma yaklaşımı geliştirilmiştir (Rauf vd., 2020:110535-110549). Ancak, popülasyon

başlatma yaklaşımlarından birinin kullanılması, PSO'nun karmaşıklığını ve yürütme süresini artıracaktır.

Tablo 1: Hiper parametre ayarlama algoritmalarının karşılaştırılması

Yöntem	Karmaşıklık	Paralleleşme	Kolay Başlatma	Avantaj/ Dezavantaj
Manuel	$O(n)$	-	✓	Küçük ölçekli
Izgara	$O(Nk)$	-	✓	Büyük ölçekli ve Karmaşık
Rasgele	$O(n)$	✓	✓	Hızlı ve daha fazla hesaplama gücü
Bayesian	$O(n^3)$	-	✓	Gürültülü ve pahalı deneyler
GA	$O(n \log n)$	✓	-	Popülasyon
PSO	$O(n^2)$	✓	✓	Büyük ölçekli ve Karmaşık

Tablo 1’de Hiper parametre ayarlama yöntemleri karmaşıklık, paralelleştirme ve kolay başlatma özellikleri açısından karşılaştırılmaktadır. Tablodan da görüleceği gibi GA dışında tüm yöntemlerin kolay başlatılması mümkündür. En az karmaşıklığa sahip Rasgele Arama sadece kolay başlatılabilmekle kalmamakta paralelleşmeyi de mümkün kılmaktadır. Bu haliyle büyük boyutlu veri kümeleriyle uygun bir Hiper parametre arama yöntemi olarak öne çıkmaktadır.

HİPER PARAMETRE AYARLAMA SÜREÇLERİ

Hiperparametre ayarı, Hiper parametre başarımlı metriği olarak hedef değişkeni optimize etmeyi gerçeğe en yakın sonuçlar elde edilmesini hedefler. Değerlendirme geçişinden hesaplanan hedef değişkenin dolayısıyla modelin doğruluğu yaygın olarak kullanılan bir metriktir. Metrik sayısal bir değer olmalıdır ve model metriğini maksimize etmek veya minimize etmek için Hiper parametrelerin ayarlanmak istendiği belirtilmelidir. Hiper parametre ayarlama başlandığında Hiper parametre metriğinin adı belirlenir. Bu, eğitim uygulamanıza eklediği ölçüm özetine atadığı isimdir.

Hiperparametre değerlerinin akışı

Hiperparametreler eğitim uygulamasından istenilen şekilde ayarlanabilir. Örneğin, ana uygulama modülüne komut satırı argümanları geçirerek Hiper

parametreler yapılandırılabilir veya bir yapılandırma dosyasında uygulamaya beslenebilir. Hiper parametre ayarlama için aşağıdaki prosedür kullanılabilir;

- Ayarlanan her Hiper parametre için ana eğitim modülüne bir komut satırı argümanı tanımlanır.
- Uygulama kodunda ilgili Hiper parametreyi ayarlamak için bu argümanlarda aktarılan değer kullanılır.

Bir makine eğitimi işi Hiper parametre ayarlama ile yapılandırıldığında, ayarlanacak her bir Hiper parametre türünü ve denenecek değer aralığı tanımlanmalıdır. Her hiper parametreyi, ana modülde tanımlanan ilgili bağımsız değişkenle aynı ad kullanılarak tanımlanır. Eğitim hizmeti, uygulama çalıştırılırken bu adları kullanan komut satırı argümanlarını içerir.

Ayarlanacak hiper parametreleri seçme

Hangi hiper parametrelerin nasıl ayarlanması gerektiği konusunda verilebilecek az evrensel tavsiye bulunmaktadır. Makine Öğrenimi tekniğiyle ilgili deneyimi olanlar, hiper parametrelerinin nasıl davrandığı konusunda fikir sahibidirler. Bu yüzden Makine Öğrenimi topluluklarından da tavsiye alınabilir. Yine de hiper parametrelerin ayarlanması nasıl seçerilirse seçilsin, sonuçlarını anlamak önemlidir. Ayarlaması seçilen her hiper parametre, başarılı bir ayarlama işi için gereken deneme sayısını artırma potansiyeline sahiptir.

Hiper parametre ayarlamasında yer alan adımlar

Eğitim işinde Hiper parametre ayarını kullanmak için aşağıdaki adımlar gerçekleştirilmelidir;

- Girdi nesnesine eğitim işi için bir Hiper parametre ayarlama yapılandırması belirtilir,
- Eğitim uygulamasına aşağıdaki kod eklenir:
 - Ayarlamak istenilen Hiper parametreleri temsil eden komut satırı argümanları ayrıştırılır, eğitim denemesi için ayar değerleri kullanılır.
 - Hiperparametre metriğine grafiğin özeti eklenir.

Eğitim işi için Hiper parametre ayarlama yapılandırmasını belirtmek için ayarlama yapılandırmasını tutmak üzere bir nesnesi oluşturulur. Hiper parametre ayarlama işi deneme işleri oluşturacaktır. Eğitim deneme işi sürecini hızlandırmak için özel bir makine öğrenimi türü belirtilebilir. Başarım metriği olarak da seçilen metriği temsil eden bir değere ayarlanır.

Hiper parametre ayarlama sonuçlarını alma

Eğitim çalışmaları tamamlandığında, her denemenin sonucu kullanılan yazılım aracı platform konsolundan alınmaktadır. Bazı platformlarda sonuçları almak için alternatif olarak bir sonuç dosyası da çağrılabilir. Platform konsolu veya sonuç dosyasında makine öğrenimi için belirlenen metriklerle ve tüm çalıştırmalar için sonuçlar bulunmaktadır. Her denemenin sonucu genellikle ortancanı karesinin kökü hatası [OKKH; root mean square error (RMSE)], öğrenme hızı gibi metriklerle öğrenilmiş olmaktadır. Böylece, en düşük OKKH veya en hızlı öğrenme değerini veren deneme saptanmış olur. Deneme, modelin tahminleme başarısı için beklenen standardı karşılıyorsa, modelin sonraki çalıştırmalarında bu denemede gösterilen Hiper parametre değerleri kullanılır.

Bazen birden fazla deneme, ayarlama başarımları için aynı sonuçları verebilir. Böyle bir durumda, hangi Hiper parametre değerlerinin en avantajlı olduğunun belirlenmesi gerekebilir. Örneğin, bir gizli katmandaki düğüm sayısının değer olarak 8 ve 20 olarak ayarlandığında aynı başarımları alınıyorsa 8'in kullanılması gerekir, çünkü daha fazla düğüm hiçbir başarımları artırmadan daha fazla işlem maliyeti olması anlamına gelir.

Deneme sayısı için her zaman bir sınır belirlenmesi tavsiye edilir. Kaç denemeye izin verileceğine karar verirken göz önünde bulundurulması gereken iki rakip çıkar vardır;

- Zaman (ve dolayısıyla maliyet)
- Doğruluk

Bazı denemeler başarısız olabilir. Bu eğitimin başarısız olduğu ya da denemenin Hiper parametre ayarlama metriğini bildiremediği anlamına gelebilir. Bazen deneme başarısız olsa bile ana iş başarılı olabilir.

Deneme sayısını artırmak genellikle daha iyi sonuçlar verir, ancak bu her zaman böyle değildir. Çoğu durumda, ek denemelerin doğruluk üzerinde çok az etkisi olduğu veya hiç etkisi olmadığı görülür. Çok sayıda denemeyle başlamaktansa, önce az sayıda denemeyle başlamak seçilen Hiper parametrelerin modelin tahmin doğruluğu üzerindeki etkisini ölçmek için en doğru strateji olabilir. Hiper parametre ayarlamasından en iyi şekilde yararlanmak için maksimum hiper parametre sayısının değerini kullanılan hiper parametre sayısının on katından daha düşük bir değere ayarlanması tavsiye edilmektedir.

Başarısız denemelerin ele alınması

Hiperparametre ayarlama denemeleri hatalarla biter ve sonuç alınamazsa, makine öğrenimi işini erken sonlandırmak istenebilir. Bu yüzden kullanılan

yazılım platformunda ilgili alanın, izin vermek istenilen başarısız deneme sayısına ayarlanması gerekmektedir. Bu sayıda deneme başarısız olduktan sonra kullanılan yazılım aracı eğitim işini sonlandırır. Başarısız deneme değeri ayarlanmazsa veya sıfır (0) olarak ayarlanırsa, kullanılmakta olan yazılım aracı başarısız denemeleri işlemek için aşağıdaki kuralları kullanabilir:

- Eğitim işinin ilk denemesi başarısız olursa, platform işi hemen sonlandırır. İlk deneme sırasında başarısızlık, eğitim kodunda bir sorun olduğuna işaret eder. Bu nedenle diğer denemelerin de başarısız olması muhtemel olduğundan işi sonlandırmak, daha fazla başarısız deneme yapmadan ve daha fazla işlem maliyetine katlanmadan sorunu saptama fırsatı verir.
- İlk deneme başarılı olursa, Platform aşağıdaki kriterlerden birine dayalı olarak sonraki denemeler sırasındaki başarısızlıklarda işi sonlandırabilir;
- Başarısız denemelerin sayısı çok artmıştır.
- Başarısız denemelerin başarılı denemelere oranı çok yükselmiştir.

Paralel denemeler

Makine Öğrenimi işinin kullanılan yazılım platformunda dâhili eşikler her zaman başlangıçta değişebilir. Paralel denemelere destek veren yazılım platformlarında paralel çalıştırma ayarı yapılarak paralel olarak çalıştırılacak deneme sayısı belirlenebilir. Paralel denemelerin çalıştırılması, gereken toplam işlem adım sayısını genellikle değiştirmesede eğitim işinin aldığı süreyi azaltma potansiyeline sahiptir. Ancak paralel çalıştırma, ayarlama işinin etkinliğini azaltabilir. Bunun nedeni, hiper parametre ayarlamasında makineye bir sonraki denemelerin hiper parametrelerine atanacak değerleri bildirebilmek için bir önceki denemelerin sonuçlar kullanılmaktadır. İş paralel olarak çalıştırıldığında, bazı denemeler halen çalışmakta olan diğer denemelerin sonuçlarını bekler. Bu da beklenen hızlandırmayı sağlamamaktadır.

Denemeleri erken durdurma

Bazı yazılım platformlarında bir şeyler yanlış gittiğinde denemeyi otomatik olarak durdurması belirtilebilir. Bu, boşa gidecek bir denemeye devam etme maliyetinden kurtulmasını sağlar. Bir denemenin erken durdurulmasına izin vermek için yazılımın ilgili tanım alanında değeri varsayılanda unutulmayıp doğru olarak ayarlanmalıdır.

Tamamlanmış bir hiper parametre ayarı

Kısmen optimize edilmiş bir modelden başlamak için tamamlanmış bir Hiper parametre ayarlama işine devam edilebilir. Bu, önceki Hiper parametre

ayarlarla işinde kazanılan bilginin yeniden kullanılmasını mümkün kılar. Bir Hiper parametre ayarlama işini devam ettirmek için yeni bir Hiper parametre ayarlama işi aşağıdaki gibi başlatılabilir:

- Hiperparametere tanımındaki alanı “yenden başlat” olarak belirlenip değeri önceki denemenin iş kimliğine ayarlanır.
- Maksimum deneme ve maksimum paralel deneme sayılarının değerleri verilir.
- Hiperparametre ayarlama işine devam etmek için aynı hedef verilir ve hiperparameter değerlerini bulmak ve yeniden kullanmak için önceki iş kimliği kullanılır.

Kullanılabilen donanım ve yazılım platformları

Hiperparametre ayarlaması için birçok farklı donanım ve yazılım platformu mevcuttur. Ayarlama işi işlemci çekirdeğinde gerçekleşen hesap yoğun bir işlemdir. Bu nedenle, donanım olarak yüksek performanslı işlemciye sahip bir bilgisayar veya sunucu kullanılabilir. Öte yandan, grafik veya Tensör işlemcisine (2016 yılında Google tarafından sinir ağları ve makine öğrenme projelerinde kullanılmak üzere tasarlanmış tescilli bir işlemci türü) sahip özel donanım seçenekleri de mevcuttur. Bu donanımlar bazı durumlarda Hiper parametre ayarlamasında daha hızlı sonuçlar verebilirler.

Yazılım platformlarına gelince, Hiper parametre ayarlaması için birçok açık kaynaklı veya ticari araç mevcuttur (Yu ve Zhu, 2020). Bunlar arasında şunlar kullanılabilir;

- Scikit-learn: Python tabanlı bir makine öğrenimi kütüphanesi olan Scikit-learn, Hiper parametre ayarlaması için birkaç farklı araç sağlamaktadır. Örneğin GridSearchCV ve RandomizedSearchCV.
- Keras Tuner: Google tarafından geliştirilen açık kaynaklı bir Python kütüphanesi birden fazla farklı algoritma sunmaktadır.
- Optuna: Optuna, Python tabanlı bir Hiper parametre ayarlama kütüphanesidir. Birçok farklı optimizasyon algoritmasını destekler ve paralel hesaplama desteği sunmaktadır.
- Hyperopt: Python tabanlı bir kütüphanedir. Optuna gibi farklı optimizasyon algoritmaları ve paralel hesaplama desteği sağlamaktadır.
- Amazon SageMaker: Amazon'un Bulut Bilişim tabanlı makine öğrenimi hizmetidir. Hiper parametre optimizasyonu için birçok farklı algoritma sunmakta ve otomatik model oluşturma özelliğiyle dikkat çekmektedir.

Bu araçlardan hangisinin kullanılacağı, spesifik kullanım senaryosuna, veri setinin boyutuna ve hesaplama gücüne bağlı olmaktadır. Ayrıca birçok Makine Öğrenmesi Kütüphanesi Hiper parametre ayarlaması için yardımcı araçlar sunar. Örneğin; Keras, PyTorch ve TensorFlow. Bu araçlar Hiper parametre aralıklarının belirlenmesine, farklı Hiper parametre kombinasyonları oluşturulmasına ve deneylerin sonuçlarının izlemesine olanak tanır. Tüm bunlara ilaveten, açık kaynaklı Hiper parametre ayarlama araçları Hyperopt veya Google'ın AI Platform Hyperparameter Tuning hizmetleri birçok YSA araştırmacısı ve uygulayıcısı tarafından kullanılmaktadır.

HİPER PARAMETRE UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Bu bölümde yer alan uygulama örnekleri için, yaygın kullanımın yanı sıra ve güncel hiper parametre kütüphanelerine sahip olması sebebiyle Python yazılım dili ve Anaconda geliştirme platformu tercih edilmiştir.

ÖRNEK1: Random Forest sınıflandırıcısında hiper parametreleri ayarlamak için GridSearchCV fonksiyonunu kullanılmaktadır.

KOD-1

```
from sklearn import datasets
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier
from sklearn.metrics import accuracy_score
from sklearn.model_selection import GridSearchCV
# Veri kümesi yükleme
iris = datasets.load_iris()
X = iris.data
y = iris.target
# Train-test setleri ayırma
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)
# Hiper parametreler
param_grid = {'n_estimators': [50, 100, 200, 500], 'max_depth': [3, 5, 7, 9, None],
'min_samples_split': [2, 5, 10], 'min_samples_leaf': [1, 2, 4]}
# Model oluşturma
model = RandomForestClassifier()
# Hiper parametre optimizasyonu
grid_search = GridSearchCV(estimator=model, param_grid=param_grid, cv=5)
grid_search.fit(X_train, y_train)
# En iyi Hiper parametreleri ve sonuçlarını yazdırma
print('Best Parameters:', grid_search.best_params_)
print('Best Score:', grid_search.best_score_)
# Test seti üzerinde modeli değerlendirme
y_pred = grid_search.predict(X_test)
accuracy = accuracy_score(y_test, y_pred)
print('Test Accuracy:', accuracy)
```

KOD-1’de, Random Forest sınıflandırıcısı kullanarak bir iris veri kümesi üzerinde sınıflandırma yapılmaktadır. GridSearchCV fonksiyonu kullanarak, farklı *n_estimators*, *max_depth*, *min_samples_split* ve *min_samples_leaf* hiper parametrelerinin kombinasyonlarını deneyerek en iyi Hiper parametre kombinasyonlarını bulmaya çalışılmaktadır. Daha sonra, en iyi Hiper parametreleri ve sonuçlarını sunulmaktadır. Son olarak, test seti üzerinde modeli değerlendirilerek doğruluğu yansıtılmaktadır.

ÖRNEK2: XGBoost sınıflandırıcısında Hiper parametreleri ayarlamak için GridSearchCV fonksiyonunu kullanılmaktadır.

KOD-2

```
import xgboost as xgb
from sklearn import datasets
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.metrics import accuracy_score
from sklearn.model_selection import GridSearchCV
# Veri kümesi yükleme
iris = datasets.load_iris()
X = iris.data
y = iris.target
# Train-test setleri ayırma
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)
# Hiper parametreler
param_grid = {'n_estimators': [50, 100, 200, 500], 'max_depth': [3, 5, 7, 9], 'learning_rate': [0.01, 0.05, 0.1, 0.5], 'subsample': [0.5, 0.8, 1], 'colsample_bytree': [0.5, 0.8, 1]}
# Model oluşturma
model = xgb.XGBClassifier()
# Hiper parametre optimizasyonu
grid_search = GridSearchCV(estimator=model, param_grid=param_grid, cv=5)
grid_search.fit(X_train, y_train)
# En iyi Hiper parametreleri ve sonuçlarını yazdırma
print('Best Parameters:', grid_search.best_params_)
print('Best Score:', grid_search.best_score_)
# Test seti üzerinde modeli değerlendirme
y_pred = grid_search.predict(X_test)
accuracy = accuracy_score(y_test, y_pred)
print('Test Accuracy:', accuracy)
```

KOD-2’de, XGBoost sınıflandırıcısı kullanarak bir iris veri kümesi üzerinde sınıflandırma yapılmaktadır. GridSearchCV fonksiyonu kullanarak, farklı *n_estimators*, *max_depth*, *learning_rate*, *subsample* ve *colsample_bytree* Hiper parametrelerinin kombinasyonlarını deneyerek en iyi Hiper parametre kombinasyonlarını bulmaya çalışılmaktadır. Daha sonra, en iyi Hiper

parametreleri ve sonuçlarını yazdırılmaktadır. Son olarak, test seti üzerinde modeli değerlendirerek doğruluğu yansıtılmaktadır.

ÖRNEK3: Aşağıda LSTM modelinde hiper parametre ayarlaması yapmak için bir örnek kod bulunmaktadır. Bu örnek kodda, bir IMDb film incelemeleri veri kümesinde duygu analizi yapmak için bir LSTM modeli kullanılarak ve hiper parametreleri ayarlamak için GridSearchCV fonksiyonunu kullanılmaktadır.

KOD-3

```
from keras.datasets import imdb
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense, LSTM, Embedding
from keras.preprocessing import sequence
from sklearn.model_selection import GridSearchCV
import numpy as np
# Veri kümesi yükleme
max_features = 20000
max_len = 80
(X_train, y_train), (X_test, y_test) = imdb.load_data(num_words=max_features)
X_train = sequence.pad_sequences(X_train, maxlen=max_len)
X_test = sequence.pad_sequences(X_test, maxlen=max_len)
# Model oluşturma
model = Sequential()
model.add(Embedding(max_features, 128, input_length=max_len))
model.add(LSTM(64, dropout=0.2, recurrent_dropout=0.2))
model.add(Dense(1, activation='sigmoid'))
# Hiper parametreler
param_grid = {'batch_size': [32, 64],
              'epochs': [3, 5, 10],
              'embedding_size': [32, 64, 128],
              'lstm_units': [32, 64, 128]}
# GridSearchCV kullanarak Hiper parametre optimizasyonu
grid_search = GridSearchCV(estimator=model, param_grid=param_grid, cv=3, n_jobs=-1)
grid_result = grid_search.fit(X_train, y_train)
# En iyi Hiper parametreleri ve sonuçlarını yazdırma
print("Best: %f using %s" % (grid_result.best_score_, grid_result.best_params_))
# Test seti üzerinde modeli değerlendirme
y_pred = grid_result.predict(X_test)
y_pred = np.round(y_pred).astype(int)
accuracy = np.mean(y_pred == y_test)
print("Test Accuracy:", accuracy)
```

KOD-3'de, bir LSTM modeli kullanarak IMDb film incelemeleri veri kümesinde duygu analizi yapılmaktadır. GridSearchCV fonksiyonu kullanarak, farklı *batch_size*, *epochs*, *embedding_size* ve *lstm_units* hiper parametrelerinin kombinasyonlarını deneyerek en iyi Hiper parametre kombinasyonlarını

bulmaya çalışılmaktadır. Daha sonra, en iyi Hiper parametreleri ve sonuçlarını sunulmaktadır. Son olarak, test seti üzerinde modeli değerlendirilerek doğruluğu yansıtılmaktadır.

ÖRNEK4: Bir modelin Hiper parametreleri için sonuçları değerlendirmek için farklı metrikler kullanabiliriz. Örneğin, sınıflandırma modelleri için doğruluk (accuracy), hassasiyet (precision), geri çağırma (recall) ve F1 skoru (F1-score) gibi metrikler kullanabiliriz. Aşağıda, bir sınıflandırma modeli için farklı hiper parametre kombinasyonları kullanarak GridSearchCV ile hiper parametre optimizasyonu yaptıktan sonra, sonuçları değerlendirmek için accuracy, precision, recall ve F1 skoru kullanarak bir örnek kod bulabiliriz.

KOD-4

```
from sklearn.datasets import make_classification
from sklearn.model_selection import train_test_split, GridSearchCV
from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier
from sklearn.metrics import accuracy_score, precision_score, recall_score, f1_score
# Veri kümesi oluşturma
X, y = make_classification(n_samples=1000, n_features=10, n_informative=5, random_state=42)
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)
# Model oluşturma
clf = DecisionTreeClassifier()

# Hiper parametreler
param_grid = {'max_depth': [3, 5, 10],
              'min_samples_leaf': [1, 3, 5],
              'max_leaf_nodes': [10, 20, 30]}
# GridSearchCV kullanarak Hiper parametre optimizasyonu
grid_search = GridSearchCV(estimator=clf, param_grid=param_grid, cv=3, n_jobs=-1)
grid_result = grid_search.fit(X_train, y_train)
# En iyi Hiper parametreleri ve sonuçlarını yazdırma
print("Best: %f using %s" % (grid_result.best_score_, grid_result.best_params_))
# Test seti üzerinde modeli değerlendirme
y_pred = grid_result.predict(X_test)
accuracy = accuracy_score(y_test, y_pred)
precision = precision_score(y_test, y_pred)
recall = recall_score(y_test, y_pred)
f1 = f1_score(y_test, y_pred)
print("Test Accuracy:", accuracy)
print("Test Precision:", precision)
print("Test Recall:", recall)
print("Test F1-Score:", f1)
En iyi parametreler: {'max_depth': 10, 'max_leaf_nodes': 30, 'min_samples_leaf': 5}
```

ÖRNEK4 KOD SONUÇLARI:

Tablo 2: Hiper parametre uygulanmadan önce elde edilen sonuçlar

Değerlendirme Ölçütü	Sonuçlar
Test Accuracy	88.50
Test Precision	88.23
Test Recall	85.22
Test F1-Score	86.70

Tablo 3: Hiper parametre uygulandıktan sonra elde edilen sonuçlar

Değerlendirme Ölçütü	Sonuçlar
Test Accuracy	92.50
Test Precision	93.97
Test Recall	88.63
Test F1-Score	91.22

KOD-4’de, bir sınıflandırma modeli kullanarak GridSearchCV ile hiper parametre optimizasyonu yapılmaktadır. GridSearchCV fonksiyonu, farklı *max_depth*, *min_samples_leaf* ve *max_leaf_nodes* Hiper parametrelerinin kombinasyonlarını deneyerek en iyi Hiper parametre kombinasyonlarını bulmaya çalışılmaktadır. Daha sonra, en iyi Hiper parametreleri ve sonuçlarını yazdırılmaktadır. Tablo2’de hiper parametre uygulanmadan sınıflandırma modelinin sonuçları yansıtılmaktadır. Son olarak Tablo 3’de ise hiper parametre uygulanarak test seti üzerinden eğitilen modelin değerlendirme sonucu olan *accuracy*, *precision*, *recall* ve *F1* skoru gibi metrikleri sonuçları sunulmaktadır.

SONUÇ

Hiperparametreler, Makine Öğrenimi modellerinin performansını büyük ölçüde etkiler. Yanlış Hiper parametreler, modelin aşırı uyuma (overfitting) veya aşırı basitleştirme (underfitting) gibi sorunlarla karşılaşmasına neden olabilir. Aşırı uyum, modelin eğitim verilerine çok iyi uyduğu, ancak yeni verilerle başa çıkamadığı durumlarda ortaya çıkar. Aşırı basitleştirme ise, modelin verileri yeterince öğrenemediği ve performansının düşük olduğu durumlarda ortaya çıkar. Hiper parametrelerin doğru bir şekilde ayarlanması, modelin doğruluğunu ve performansını artırabilir ve aynı zamanda algoritmanın daha genelleştirilebilir olmasını sağlar. Bu, modelin yeni verilerle başa çıkma yeteneğini artırır ve uygulamalar için daha iyi sonuçlar üretir.

Hiperparametre ayarlamasında optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilmiş farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar; manuel arama, ızgara arama, rastgele arama, Bayes optimizasyonu, genetik algoritmalar ve parçacık sürü optimizasyonu yöntemleridir. Manuel arama ve ızgara arama, küçük ölçekli problemler için uygundurken, rastgele arama daha hızlı sonuçlar

verebilir ancak daha fazla hesaplama gücüne ihtiyaç duymaktadır. Bayes optimizasyonu, gürültülü ve pahalı deneylerde etkili olmaktadır. Genetik algoritmalar, doğal seleksiyon ve genetik çaprazlama kavramlarına dayalı olarak çalışır ve bir populasyon içindeki en iyi çözümü arar. Parçacık sürü optimizasyonu, parçacıkların bir fonksiyonun minimumunu veya maksimumunu bulmak için uygun bir alan içinde hareket ettikleri bir yöntemdir. Her bir yöntemin avantajları ve dezavantajları vardır ve kullanılacak en uygun yöntem, problemin özelliklerine bağlıdır.

Sonuç olarak, Hiper parametrelerin doğru bir şekilde ayarlanması, Makine Öğrenimi algoritmalarının performansını optimize etmek için son derece önemlidir. Hiper parametre ayarlama tekniklerini kullanarak, modelin en iyi Hiper parametrelerini bulabilir ve böylece modelin performansını en üst düzeye çıkarabilir.

REFERANSLAR

Alpaydin, E. (2020). Introduction to machine learning. MIT press.

Bacanli, S.; Cimen, F.; Elgeldawi, E.; Turgut, D. Placement of Package Delivery Center for UAVs with Machine Learning. In Proceedings of the IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Madrid, Spain, 7–11 December 2021.

Bergstra, J.; Bengio, Y. Random Search for Hyper-Parameter Optimization. *J. Mach. Learn. Res.* 2012, 13, 281–305.

Chuan, L.; Quanyuan, F. The Standard Particle Swarm Optimization Algorithm Convergence Analysis and Parameter Selection. In Proceedings of the Third International Conference on Natural Computation (ICNC 2007), Haikou, China, 24–27 August 2007; Volume 3, pp. 823–826.

De la Torre, R.; Corlu, C.G.; Faulin, J.; Onggo, B.S.; Juan, A.A. Simulation, Optimization, and Machine Learning in Sustainable Transportation Systems: Models and Applications. *Sustainability* 2021, 13, 1551.

Friedrich, T.; Kötzing, T.; Krejca, M.S.; Sutton, A.M. The Compact Genetic Algorithm is Efficient Under Extreme Gaussian Noise. *IEEE Trans. Evol. Comput.* 2017, 21, 477–490.

Girgis, M.R.; Elgeldawi, E.; Gamal, R.M. A Comparative Study of Various Deep Learning Architectures for 8-state Protein Secondary Structures Prediction. In Proceedings of the International Conference on Advanced Intelligent Systems and Informatics 2020; Springer International Publishing: Cairo, Egypt, 2021; pp. 501–513.

Hensman, J.; Fusi, N.; Lawrence, N. Gaussian processes for big data. In Proceedings of the 29th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, Bellevue, WA, USA, 11–13 July 2013; pp. 282–290.

Itano, F.; de Abreu de Sousa, M.A.; Del-Moral-Hernandez, E. Extending MLP ANN hyper-parameters Optimization by using Genetic Algorithm. In Proceedings of the 2018 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Rio de Janeiro, Brazil, 8–13 July 2018; pp. 1–8.

Koehrsen, W. (2018). Hyperparameter Tuning the Random Forest in Python. <https://towardsdatascience.com/hyperparameter-tuning-the-random-forest-in-python-using-scikit-learn-28d2aa77dd74> adresinden 17.04.2023 tarihinde alınmıştır.

Lobo, F.; Goldberg, D.; Pelikan, M. Time Complexity of genetic algorithms on exponentially scaled problems. In Proceedings of the GECCO Genetic and Evolutionary Computation Conference, Las Vegas, NV, USA, 10–12 July 2000.

Lorenzo, P.R.; Nalepa, J.; Kawulok, M.; Ramos, L.; Ranilla, J. Particle swarm optimization for hyper-parameter selection in deep neural networks. In Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, Berlin, Germany, 15–19 July 2017.

Man, K. F., Tang, K. S., & Kwong, S. (1996). Genetic algorithms: concepts and applications [in engineering design]. IEEE transactions on Industrial Electronics, 43(5), 519-534.

Nguyen, V. Bayesian Optimization for Accelerating Hyper-Parameter Tuning. In Proceedings of the 2019 IEEE Second International Conference on Artificial Intelligence and Knowledge Engineering (AIKE), Sardinia, Italy, 3–5 June 2019; pp. 302–305.

Rauf, H.T.; Shoaib, U.; Lali, M.I.; Alhaisoni, M.; Irfan, M.N.; Khan, M.A. Particle Swarm Optimization with Probability Sequence for Global Optimization. IEEE Access 2020, 8, 110535–110549.

Sayed, A.; Abdallah, M.M.; Zaki, A.; Ahmed, A.A. Big Data analysis using a metaheuristic algorithm: Twitter as Case Study. In Proceedings of the 2020 International Conference on Innovative Trends in Communication and Computer Engineering (ITCE), Aswan, Egypt, 8–9 February 2020; pp. 20–26.

Shekar, B.H.; Dagnev, G. Grid Search-Based Hyperparameter Tuning and Classification of Microarray Cancer Data. In Proceedings of the 2019 Second International Conference on Advanced Computational and Communication Paradigms (ICACCP), Gangtok, India, 25–28 February 2019; pp. 1–8.

Shi, Y.; Eberhart, R.C. Parameter selection in particle swarm optimization. In Evolutionary Programming VII; Porto, V.W., Saravanan, N., Waagen, D., Eiben, A.E., Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 1998; pp. 591–600.

Smullen, D.; Gillett, J.; Heron, J.; Rahnamayan, S. Genetic algorithm with self-adaptive mutation controlled by chromosome similarity. In Proceedings of the 2014 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), Beijing, China, 6–11 July 2014; pp. 504–511.

Srinivas, M.; Patnaik, L. Adaptive probabilities of crossover and mutation in genetic algorithms. IEEE Trans. Syst. Man Cybern. 1994, 24, 656–667.

Witt, C. Worst-Case and Average-Case Approximations by Simple Randomized Search Heuristics; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2005; pp. 44–56.

Xiaojing, Y.; Qingju, J.; Xinke, L. Center Particle Swarm Optimization Algorithm. In Proceedings of the 2019 IEEE 3rd Information Technology,

Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC), Chengdu, China, 15–17 March 2019; pp. 2084–2087.

Yan, X.H.; He, F.Z.; Chen, Y.L. A Novel Hardware/Software Partitioning Method Based on Position Disturbed Particle Swarm Optimization with Invasive Weed Optimization. *J. Comput. Sci. Technol.* 2017, 32, 340–355.

Yang, L.; Shami, A. On hyperparameter optimization of machine learning algorithms: Theory and practice. *Neurocomputing* 2020, 415, 295–316.

Yu, T., & Zhu, H. (2020). Hyper-parameter optimization: A review of algorithms and applications. arXiv preprint arXiv:2003.05689.

5. Bölüm

Optimum Elektrik Enerji Tarifesinin Belirlenmesi: Trakya Üniversitesi Vaka Analizi

Cihat Çağdaş Uydur¹

¹ Öğr. Gör. Dr.; Trakya Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölümü.
ccagdasuydur@trakya.edu.tr ORCID No: 0000-0002-0908-2722

ÖZET

Günümüzde elektrik tarifeleri, son kullanıcıların karar vermesinde kilit unsur olması nedeniyle elektrik perakende piyasasında önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, elektrik piyasasındaki rekabeti artırmak için tarifeler gereklidir. Yüksek enerji yönetimi üzerinde büyük bir etkiye sahiptirler. Tarifeler yalnızca gider hesaplamalarında sabit bir yaklaşım olarak ele alınmamakta, elektrik üretimi, iletimi, dağıtım maliyetleri ve devlet vergilendirmesi gibi diğer birçok faktörden etkilenmektedir. Bu nedenle, elektrik fiyatlandırması ülkeler arasında veya bir ülke içindeki bölgeler arasında önemli ölçüde farklılık gösterir. Bazı bölgelerde uygun olmayan tarife hesaplama metodolojileri, mevcut sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanılmaması nedeniyle yüksek güç kayıplarına, gereksiz yatırımlara, artan işletme giderlerine ve çevre kirliliğine neden olmuştur. Bu çalışmada, Trakya Üniversitesi elektrik enerjisi tüketim değerleri incelenerek elektrik enerjisi tüketim karakteristiği ortaya konmuştur. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) Elektrik Enerji Piyasası yönetimi tarafından yayımlanan elektrik tarifeleri kapsamında Trakya Üniversitesi elektrik enerjisi tüketim maliyetlerini azaltmak için analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz çalışmaları sonucunda, elektrik enerjisi tüketim karakteristiğinin düzenlenmesine ve elektrik enerjisi tüketim maliyetlerinin azaltılmasına yönelik çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji Piyasaları, Elektrik Enerjisi Tarifeleri, Elektrik Enerjisi Tüketimi, Enerji Yönetimi, Üniversite Kampüsü

GİRİŞ

Enerji yönetimi, binalarda enerji kullanımını izleme ve optimize etme prosedürüdür. Enerji yönetiminin amacı, çeşitli tesislerde optimum enerji satın alımını/kullanımını sürdürmek ve aynı zamanda üretkenliği düşürmeden enerji fiyatlarını en aza indirmektir. Ayrıca, tüketimi etkin bir şekilde azaltarak ve pazar yetkinliklerini artırarak giderleri düşürmektir (Zaki & Hamdy, 2022).

Elektrik tarifelerini tasarlamak için, santralde elektrik enerjisi üretme maliyeti, iletim ve dağıtım şebekelerine yapılan sermaye yatırım maliyeti, işletme ve bakım maliyeti gibi elektrik fiyatlandırmasını etkileyen çeşitli faktörler vardır (Ansarin et al., 2020; Batlle et al., 2020). Rüzgar, güneş ve hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik şebekesi içerisinde kullanımının yaygınlaşması konut, ticaret ve sanayi sektörleri için elektrik birim fiyatlarını etkilemiştir.

Elektrik tarifeleri, tüketicilerden elektrik kullanımı için ücret alma işlemidir. Elektrik tarifeleri, tüketicilerin kararlarını etkileyen ana unsur olarak kabul edildiğinden, elektrik perakende piyasasında artık hayati bir rol oynamaktadır. Ayrıca, elektrik piyasasındaki rekabeti artırmak için çok önemlidirler. Elektrik fiyatlandırmasının, enerjinin talep tarafında yeniden dağıtımı üzerinde büyük etkisi vardır. Elektrik fiyatlandırması ülkeler arasında veya bir ülke içindeki bölgeler arasında değişiklik gösterir (Hinz et al., 2018; Sulaima et al., 2019). Son yıllarda mevcut yükleri tespit etmek ve Enerji Yönetim Sistemi (EYS) stratejilerini geliştirmek için birçok metodoloji geliştirilmiştir (Li et al., 2019).

(Poongavanam et al., 2023)'de olduğu gibi, mevcut gereksinimlerin ve üretim tekniklerinin anlaşılması için mevcut yük gereksinimlerinin ve üretim planının değerlendirilmesi tartışılmıştır. Elektrik enerjisi kullanımını düzenleyen bir destekleyici sistem yöntemi (Zorita et al., 2016)'de önerilmiştir. Bu sistem, konut dışı binaların EYS'sini iyileştirir ve tüm tesislerin enerji performanslarını karşılaştırır. Yük EYS ile elektrik tarifeleri arasındaki ilişki birçok referansta tartışılmıştır. Örnek olarak, bir dizi EYS metodolojisi (Ouédraogo et al., 2021)'da ele alınmış ve bir konut binasına elektrik enerjisi sağlayan PV ve elektrikli araç sistemleri için fiyatlandırma avantajları açısından karşılaştırılmıştır. Teslim edilen ve tüketilen gücün maliyetinin hesaplanması toplam bir kâr sağlar ve en uygun yöntemi en “kârlı” olarak kabul eder. Daha önceki bir çalışmada (Wu et al., 2022), PV sisteminin şarj ve deşarj oranlarını bir kullanım zamanı tarifesi ile ayarlayarak çok işlevli bir strateji olarak bilinen yeni bir yöntem önerilmiş, bu da fiyatlandırma manipülasyonunu ve tepe kaymasını kontrol etmek için yeni bir EYS metodolojisi ile sonuçlanmıştır. Dört enerji fiyatlandırma tarifesinin enerji planlaması üzerindeki etkisi (Zhao et al., 2023)'de tartışılmıştır. Ayrıca, finansal maliyeti azaltmak için, çok enerjili bir mikro şebeke grubunun çok düzeyli

işbirliğine dayalı optimal konfigürasyon yaklaşımı oluşturulmuştur. Enerji ticareti maliyetlerini en aza indiren ve bir nano-şebeke ağına bağlı komşular için en iyi enerji paylaşım stratejisini sunan tahmine dayalı optimize edilmiş bir nano-şebeke enerji satın alma modeli ise (Qayyum et al., 2022)'de tartışılmıştır. (Iscan & Arıkan, 2022)'te ISO 50001 standardına atıfta bulunularak enerji planlaması olarak EYS gerçekleştirilmektedir ve ilk adımı optimal tarife yönetimi analizidir.

Bu çalışmada, Trakya Üniversitesi elektrik enerjisi tüketim değerleri incelenerek elektrik enerjisi tüketim karakteristiği ortaya konmuştur. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) Elektrik Enerji Piyasası yönetimi tarafından yayımlanan elektrik tarifeleri kapsamında Trakya Üniversitesi elektrik enerjisi tüketim maliyetlerini azaltmak için analizler gerçekleştirilmiştir.

TÜRKİYE'DEKİ ELEKTRİK ENERJİSİ TARİFELERİ

Bu bölümde, EPDK tarafından yayımlanan “Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları” hakkında detaylı bilgi paylaşılmıştır (EPDK, n.d.). EPDK tarafından onaylanan ve yayımlanan faaliyet bazlı tarifeler Ocak-Nisan-Temmuz-Ekim ayları olmak üzere yılda dört kez yayımlanır. 2022 yılında bu işleyiş içerisinde istisnai bir uygulama yapılarak Mart ayında vergi indirimi, Haziran ve Eylül aylarında fiyat değişikliği yapılmıştır. Ardından üç aylık periyotlar halinde güncel tarifelerin yayımlanmasına devam edilmiştir.

Faaliyet bazlı tarife tabloları incelendiğinde, iletim ve dağıtım sistemi kullanıcıları olmak üzere iki farklı kullanıcı türünün tanımlandığı görülmektedir. İletim sistemi kullanıcıları için tek bir fiyatlandırma seçeneği bulunurken, dağıtım sistemi kullanıcıları için sanayi, kamu sektörü, mesken, tarımsal faaliyetler ve aydınlatma olmak üzere farklı seçenekler belirtilmiştir. Ek olarak bağlantı noktası gerilim türünün belirlendiği orta gerilim ve alçak gerilim seçenekleri sunulmuştur. Orta gerilimden bağlantı ile elektrik enerjisi satın alan tüketiciler için demand tüketim değerini ücretlendiren çift terimli tarife seçeneği de mevcuttur.

Tüm bu tanımlamaların karşılandığı tüketici tarifeleri için 24 saatlik zaman dilimi içerisindeki elektrik enerjisi tüketim bedeli için tek zamanlı ve üç zamanlı olmak üzere iki farklı enerji bedeli seçeneği sunulmaktadır. Son olarak, tüm tarife seçeneklerini kapsayan dağıtım bedeli tanımlanmıştır. Tüm bu bilgiler ışığında; 2023 yılı Nisan ayında EPDK tarafından yayımlanan tarife göz önüne alınarak, elektrik şebekesine alçak gerilimden bağlı, tek terimli, tek zamanlı tarifeli mesken aboneleri için elektrik enerjisi tüketim bedeli Tablo 1’de detaylı olarak hesaplanmıştır.

Tablo 1: Tek zamanlı mesken aboneleri elektrik bedeli

Parametre	Tutar	Tutar
Tüketim Miktarı (kWh)	1	240
Elektrik Tüketim Bedeli (TL)	0,558378	134,01
Dağıtım Bedeli (TL)	0,778883	186,93
Elektrik Tüketim Vergisi (TL)	0,027919	6,70
Ara Toplam (TL)	1,365180	327,64
Katma Değer Vergisi (TL)	0,109214	26,21
Elektrik Fatura Tutarı (TL)	1,474394	353,85

Tablo 1 incelendiğinde, elektrik tüketim bedeli ve dağıtım bedeli ilgili EPDK tarifelerinden alınarak, elektrik tüketim vergisi elektrik tüketim bedelinin %5'i hesaplanarak, Ara toplam değeri; elektrik tüketim bedeli, dağıtım bedeli ve elektrik tüketim vergisinin toplanması ile hesaplanmıştır. Katma değer vergisi ara toplam değerinin %8'i hesaplanarak belirlenmiştir. Bu bağlamda, elektrik fatura tutarı ara toplam ve katma değer vergisinin toplamından oluşmaktadır.

Günlük ortalama 8 kWh üzeri elektrik enerjisi tüketimi yapılan mesken aboneleri kademeli elektrik trafesi ile hesaplanan elektrik faturaları ile karşılaşmaktadır. Örneğin, fatura periyodu içerisinde 300 kWh elektrik enerjisi tüketen bir mesken aboneliği ilk 240 kWh elektrik enerjisi için 55,8378 krş/kWh birim fiyatı ile ödeme yaparken, 60 kWh için 120,8462 krş/kWh birim fiyatı ile ödeme yapmak durumundadır.

Üç zamanlı elektrik tarifelerinde gün içerisindeki elektrik enerjisi tüketimi gündüz, puant ve gece olmak üzere üç ayrı zaman dilimine ayrılmıştır. Gündüz tüketilen elektrik enerjisi 06-17 saatleri arasında, Puant tüketilen elektrik enerjisi 17-22 saatleri arasında ve Gece tüketilen elektrik enerjisi 22-06 saatleri arasındaki değerler ölçülerek hesaplanmaktadır. Üç zamanlı elektrik enerjisi tarifesinde kademeli elektrik tarifesi bulunmamaktadır. Ek olarak, dağıtım bedeli tek zamanlı ve üç zamanlı tarifeler için aynıdır.

Türkiye elektrik enerjisi piyasasında; elektrik şebekesine alçak gerilimden bağlı, tek terimli, tek zamanlı tarifeli mesken abone için vergiler dahil elektrik enerjisi tüketim bedeli birim fiyatının yıllara göre değişimi Tablo 2'de paylaşılmıştır.

Tablo 2: Tek zamanlı mesken aboneleri elektrik bedeli yıllara göre değişimi

Dönem	Tutar
2021 Ocak	0,796131 TL
2021 Nisan	0,796131 TL
2021 Temmuz	0,915551 TL
2021 Ekim	0,915551 TL
2022 Ocak	1,373327 TL
2022 Mart	1,256943 TL
2022 Haziran	1,445485 TL
2022 Eylül	1,734582 TL
2022 Ekim	1,734582 TL
2023 Ocak	1,734582 TL

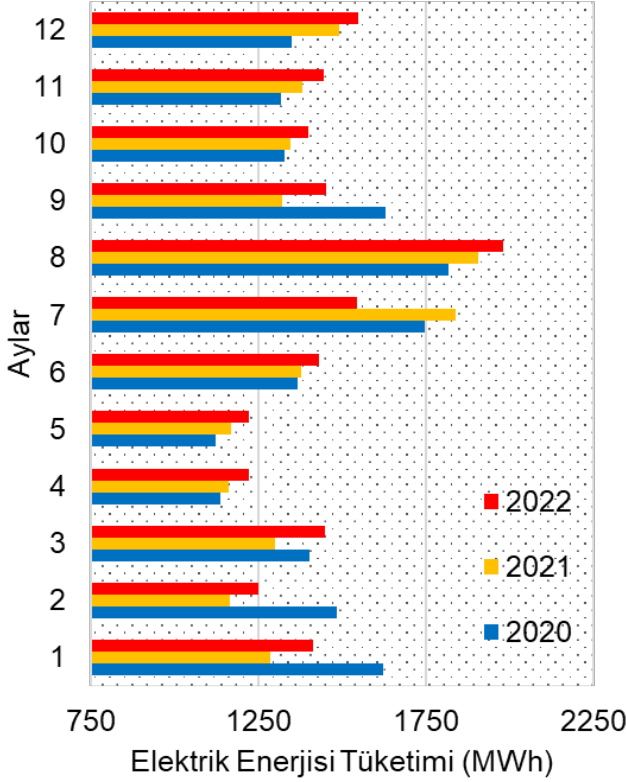
Tablo 3'te 2023 yılı Nisan ayı için, dağıtım sistemi kullanıcıları için sanayi, kamu sektörü, mesken, tarımsal sulama ve şehit aileleri seçenekleri için tüm vergiler dahil elektrik enerjisi tüketim bedeli birim fiyatının değerleri paylaşılmıştır.

Tablo 3: Elektrik bedelinin abone türlerine göre değişimi

Dönem	Tutar
Mesken	1,474394 TL
Ticarethane	2,837906 TL
Sanayi	3,670157 TL
Şehit Aileleri ve Gaziler	0,698965 TL
Tarımsal Sulama	2,211597 TL

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİM KARAKTERİSTİĞİ

Bu bölümde, Trakya Üniversitesi elektrik enerjisi tüketim değerleri kullanılarak, elektrik enerjisi tüketim karakteristiği analiz edilmiştir. Şekil 1'de 2020, 2021 ve 2022 yıllarına ait Trakya Üniversitesi elektrik enerjisi tüketim değerleri aylık olarak paylaşılmıştır.



Şekil 1: Trakya Üniversitesi aylık bazda elektrik enerjisi tüketim değerleri

Trakya Üniversitesi; 17 kampüs içerisinde 34 akademik birimden oluşan, 40170 öğrencinin öğrenim gördüğü, 4700 akademik ve idari personelin bulunduğu bir devlet üniversitesidir.

Trakya Üniversitesi elektrik enerjisi tüketimi kampüslerin fazlalığı ve kullanım amacına uygun olması açısından 18 ayrı abonelik üzerinden faturalandırılmaktadır. Bu abonelerin 4 tanesi alçak gerilim, 14 tanesi ise orta gerilim bağlantısı üzerinden elektrik enerjisi abonesidir.

Şekil 1 incelendiğinde, elektrik enerji tüketiminin mevsimsel olarak değişimi göze çarpmaktadır. Özellikle Temmuz ve Ağustos aylarında gerçekleşen elektrik enerjisi tüketim değerlerinin pik yaptığı gözlemlenmiştir. Bu durum, hava sıcaklık değerlerinin yükselmesi ile birlikte kullanılmaya başlanan iklimlendirme cihazlarının etkisi olarak yorumlanmıştır.

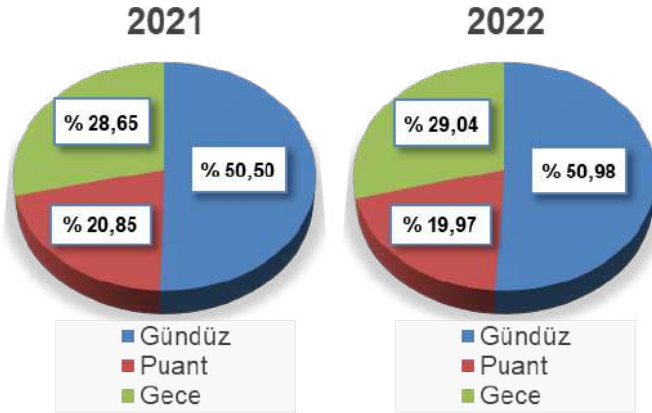
Yıllık tüketim değerleri karşılaştırmalı olarak değerlendirildiğinde, Aralık ayının artış eğiliminde olduğu görülmektedir. 2020 yılına göre 2021 yılında %10,27 değerinde bir artış meydana gelmiştir. 2022 yılında ise 2021 yılına göre

%4'lük bir artış söz konusudur. Bahar mevsiminin kapsadığı aylarda artış eğiliminin sabit bir aralıkta olduğu ortaya çıkmıştır.

Toplam tüketilen elektrik enerjisi yıllık olarak incelendiğinde, 2021 yılında elektrik enerjisi tüketiminin bir önceki yıla göre %4 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum, pandemi döneminde uzak eğitim modelinin uygulanmasıyla doğrudan ilişkilidir. Aralarındaki değişim miktarının oldukça az olduğunun hesaplanması sebebiyle 2022 yılında gerçekleşen elektrik enerjisi tüketim değerlerinin 2020 yılı ile yaklaşık aynı olduğu söylenebilmektedir.

Trakya Üniversitesi Uygulama ve Araştırma Hastanesi en fazla elektrik enerjisi tüketen birim olduğu belirlenmiştir. 2020 yılında 17318,954 MWh olarak tüketilen toplam elektrik enerjisinin %58,89'unu, 2021 yılında ise toplamda 16732,769 MWh elektrik enerjisinin %65,50'sini, 2022 yılında ise 17350,432 MWh elektrik enerjisinin %67,89'unu tüketmiştir.

2021 ve 2022 yıllarına ait elektrik enerji tüketim değerleri 24 saatlik zaman diliminde incelendiğinde; Gündüz, Puant ve Gece tüketilen elektrik enerjisi dağılımları Şekil 2'de paylaşılmıştır. 06-17 saatleri arasında tüketilen elektrik enerjisinin 2021 yılında %50,5 değerinde, 2022 yılında ise %50,98 değerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 2: Trakya Üniversitesi elektrik enerjisi tüketim oranlarının zamana göre dağılımı

Trakya Üniversitesi elektrik enerjisi tüketim değerleri çalışma günleri kapsamında incelendiğinde, elektrik enerjisinin 2021 yılında %72,2 oranında haftaiçi tüketildiği belirlenmiştir. Bu değer 2022 yılında %75,58 değerine ulaşarak %3,38 oranında artış göstermiştir.

TARTIŞMA

Elektrik enerjisi tüketim karakteristiği ortaya çıkarılan Trakya üniversitesi için elde edilen bulgular ışığında elektrik tüketim maliyetlerinin azaltılabilmesi için EPDK tarafından yayımlanan faaliyet bazlı tarifeler karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 4: Elektrik enerjisi tüketim verileri

Zaman Dilimi	Değer (kWh)
Gündüz	705811,67
Puant	291377,68
Gece	400443,37
Toplam	1397632,72

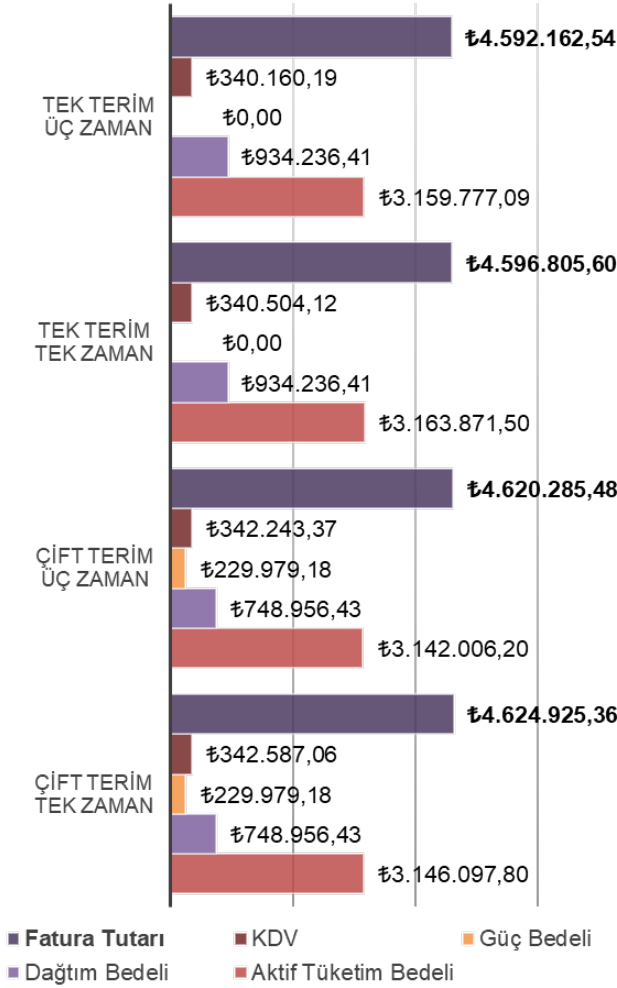
Tarifelerin değerlendirilebilmesi için kullanılacak olan elektrik enerjisi tüketim verileri Tablo 4’te paylaşılmıştır. Bu veriler yardımıyla, kamu sektörü için sunulan orta gerilimden bağlı çift terim ve tek terim tarifeleri için tek zamanlı üç zamanlı seçenekler analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Şekil 3’te karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Şekil 3 incelendiğinde, tüketilen elektrik enerjisinin çift terimli tarifler üzerinden fiyatlandırıldığında daha az aktif tüketim bedelinin ödeneceği görülmektedir. Hesaplamalar sonucunda elde edilen fatura tutarları içerisindeki en düşük aktif tüketim bedeli Çift terim, üç zamanlı tarifede 3142006,2 TL olarak belirlenmiştir.

Çift terimli tarifelerde dağıtım bedeli birim fiyatının tek terimli tarifelere göre daha ucuz olduğu ve bunun sonucunda elektrik faturası içerisinde dağıtım bedeli tutarının düşük tutarda olduğu açıkça görülmektedir. Üç zamanlı ve tek zamanlı tarifelerde dağıtım bedeli 748956,43 TL olarak hesaplanmıştır.

Tek terimli tarifeler üzerinden hesaplanan elektrik faturalarında aktif tüketim bedelinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durumun yegane EPDK tarafından belirlenen tarifelerde belirtilen birim fiyatların farklılığıdır. Benzer durum dağıtım bedeli için de geçerlidir. Tek terimli tarifelerde hesaplanan dağıtım bedeli 934236,41 TL olmuştur.

Fatura tutarı değerlendirildiğinde, tek terimli tarifelerin çift terimli tarifeler göre daha ucuz olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun ana sebebi, çift terimli tarifelerde fatura hesabı içerisine dahil edilen güç bedelidir. Fatura tutarları karşılaştırıldığında, en avantajlı tarifenin tek terim üç zamanlı olduğu, onu tek terimli tek zamanlı tarifenin takip ettiği belirlenmiştir.



Şekil 3: Elektrik tarifelerinin karşılaştırılması

SONUÇ

Bu çalışmada, Trakya Üniversitesi elektrik enerjisi tüketim değerleri incelenmiştir. EPDK Elektrik Enerji Piyasası yönetimi tarafından yayımlanan elektrik tarifeleri kapsamında Trakya Üniversitesi elektrik enerjisi tüketim maliyetlerini azaltmak için hesaplamalar yapılarak elektrik fatura tutarları üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir.

Bu bağlamda, elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir;

- Trakya Üniversitesi'nde tüketilen elektrik enerjisinin %67,89'unu Eğitim ve Araştırma Hastanesi tüketmektedir.

- Trakya Üniversitesi tükettiği elektrik enerjisinin %50'sini 06-17 saatleri arasında tüketmektedir.
- Trakya Üniversitesi'nde tüketilen elektrik enerjisinin %75'i hafta içi günlerde tüketilmektedir.
- Trakya Üniversitesi elektrik enerjisi tüketimi artış eğilimindedir.
- Trakya Üniversitesi aylık elektrik enerjisi tüketiminin yaz mevsiminde maksimum değerlere ulaştığı belirlenmiştir.
- Trakya Üniversitesi için en avantajlı tarife tek terimli, üç zamanlı tarifiedir.
- Elektrik enerjisi birim fiyatlarındaki farklılık, tarife seçiminde belirleyici rol oynamaz.
- Dağıtım bedeli birim fiyatının ucuzluğu, Çift terimli tarifelerin seçiminde ana etken olmamalıdır.
- Güç bedeli hesaplamalarında ana faktör sözleşme gücüdür.
- Sözleşme gücünün hassas ve doğru biçimde belirlenmesi, çift terimli tarifelerin kullanılabilirliğini mümkün kılar.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: 2022/124. Yazar, desteklerinden dolayı Trakya Üniversitesi'ne teşekkürlerini sunar.

REFERANSLAR

- Ansarin, M., Ghiassi-Farrokhfal, Y., Ketter, W., & Collins, J. (2020). The economic consequences of electricity tariff design in a renewable energy era. *Applied Energy*, 275(May), 115317. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115317>
- Battle, C., Mastropietro, P., & Rodilla, P. (2020). Redesigning residual cost allocation in electricity tariffs: A proposal to balance efficiency, equity and cost recovery. *Renewable Energy*, 155, 257–266. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.152>
- EPDK. (n.d.). Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>
- Hinz, F., Schmidt, M., & Möst, D. (2018). Regional distribution effects of different electricity network tariff designs with a distributed generation structure: The case of Germany. *Energy Policy*, 113(November 2017), 97–111. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.10.055>
- Iscan, S., & Arikan, O. (2022). Energy Management Planning According to the Electricity Tariff Models in Turkey: A Case Study. *Turkish Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 2(1), 46–57. <https://doi.org/10.5152/tepes.2022.22010>
- Li, S., Luo, F., Yang, J., Ranzi, G., & Wen, J. (2019). A personalized electricity tariff recommender system based on advanced metering infrastructure and collaborative filtering. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 113(May), 403–410. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.05.042>
- Ouédraogo, S., Faggianelli, G. A., Pigelet, G., Notton, G., & Duchaud, J. L. (2021). Performances of energy management strategies for a Photovoltaic/Battery microgrid considering battery degradation. *Solar Energy*, 230(October), 654–665. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.10.067>
- Poongavanam, E., Kasinathan, P., & Kanagasabai, K. (2023). Optimal Energy Forecasting Using Hybrid Recurrent Neural Networks. *Intelligent Automation and Soft Computing*, 36(1), 249–265. <https://doi.org/10.32604/iasc.2023.030101>
- Qayyum, F., Jamil, H., Jamil, F., & Kim, D. (2022). Predictive Optimization Based Energy Cost Minimization and Energy Sharing Mechanism for Peer-to-Peer Nanogrid Network. *IEEE Access*, 10, 23593–23604. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3153837>

- Sulaima, M. F., Dahlan, N. Y., Yasin, Z. M., Rosli, M. M., Omar, Z., & Hassan, M. Y. (2019). A review of electricity pricing in peninsular Malaysia: Empirical investigation about the appropriateness of Enhanced Time of Use (ETOU) electricity tariff. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 110(May), 348–367. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.075>
- Wu, Y., Liu, Z., Li, B., Liu, J., & Zhang, L. (2022). Energy management strategy and optimal battery capacity for flexible PV-battery system under time-of-use tariff. *Renewable Energy*, 200(September), 558–570. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.09.118>
- Zaki, D. A., & Hamdy, M. (2022). A Review of Electricity Tariffs and Enabling Solutions for Optimal Energy Management. *Energies*, 15(22). <https://doi.org/10.3390/en15228527>
- Zhao, J., Wang, W., & Guo, C. (2023). Hierarchical optimal configuration of multi-energy microgrids system considering energy management in electricity market environment. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 144(August 2022), 108572. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2022.108572>
- Zorita, A. L., Fernández-Temprano, M. A., García-Escudero, L. A., & Duque-Perez, O. (2016). A statistical modeling approach to detect anomalies in energetic efficiency of buildings. *Energy and Buildings*, 110, 377–386. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.005>

6. Bölüm

Polipropilen Lif ve Zemin Stabilizasyonundaki Önemi

Yasemin ASLAN TOPÇUOĞLU¹

Zülfü GÜROCAK²

1 Arş. Gör. Dr. Yasemin Aslan Topçuoğlu; Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü. yaslan@firat.edu.tr ORCID No: 0000-0002-3135-5926

2 Prof. Dr. Zülfü Gürocağ; Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü. zgurocak@firat.edu.tr ORCID No: 0000-0002-1049-8346

ÖZET

Doğal zeminler her zaman mühendislik çalışmalarında kullanıma uygun olmayabilirler. Zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan bir tanesi de donatılendirme yöntemidir. Bu yöntemde çeşitli tür ve özellikte lifler kullanılmaktadır. Liflerin bu amaçla kullanımı güncel bir uygulama olmasına rağmen gelişimi gün geçtikçe artmaktadır. Donatılendirme çalışmalarında tercih edilen ve oldukça önemli bir yer tutan liflerden bir tanesi de polipropilen liftir. Oldukça üstün özelliklere sahip olan polipropilen lifler zemin güçlendirmede kullanılmakta olup zemine eklenen bu lifler zeminin kıvam limitleri, dayanımı, şişme potansiyeli, geçirimsizliği, kompaksiyon parametreleri gibi birçok geoteknik özelliğinin iyileştirilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada polipropilen liflerin ortaya çıkışı, gelişimi, üretimi, özellikleri, kullanım alanları ve özellikle zemin güçlendirmede kullanımı hakkında genel bilgiler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Donatılendirme, güçlendirme, iyileştirme, polipropilen lif, zemin

GİRİŞ

Gelişen teknoloji, artan nüfus ve buna bağlı olarak büyüyen kentleşme, yapıların inşa edileceği yerlere olan ihtiyacı da önemli oranda artırmıştır. Bu yapıların inşa edileceği zeminlerin mühendislik özellikleri çoğu zaman yetersiz kalmakta ve bu sorunun ortadan kaldırılması amacıyla farklı yöntemler uygulanmaktadır. Proje sahasının ya da projenin değiştirilmesi, problemli zeminin projeye uygun özelliklere sahip zemin ile değiştirilmesi, zemin iyileştirilmesi ve/veya güçlendirilmesi bu uygulamalardandır. Proje sahasını değiştirmek her zaman mümkün değildir ve projenin revize edilmesi ise zaman zaman faydalı olabilmekte fakat kullanımı sınırlıdır. Yüzeysel çalışmalarda kullanılan, problemli zeminin kaldırılıp yerine projeye uygun özelliklere sahip zeminin sıkıştırılması yöntemi ise geniş ölçekli projelerde kullanıma uygun değildir. Zeminin taşıma gücünün artırılması, zeminde meydana gelebilecek oturma, şişme ve sıvılaşma potansiyelinin azaltılması olarak tanımlanan zeminin iyileştirilmesi veya güçlendirilmesi ise bu amaçla günümüzde sıklıkla kullanılmaktadır.

Zemine eklenen katkı malzemesinin zeminle etkileşime girmemesinden dolayı herhangi bir kimyasal reaksiyonun gelişmediği donatılarak zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi yöntemi bunlardan bir tanesidir. Donatılma yöntemi, Haussmann (1990) tarafından zeminin, adhezyon ve/veya sürtünme kuvvetleri ile zeminle etkileşime giren ve çekme gerilmelerine karşı koyabilen malzemeler ile güçlendirilmesi olarak tanımlanmakta ve bu yöntemle iyileştirilen zeminler ise donatılı zemin olarak adlandırılmaktadır. Zemine eklenen bitkisel ve hayvansal lifler, metal, cam, bazalt veya sentetik lifler ile zeminin mühendislik özellikleri iyileştirilebilmektedir. Doğal ve yapay olarak iki grupta incelenen liflerden, doğal olanlar keten, bambu, Hindistan cevizi kabuğu, jüt gibi lifli bitkilerden elde edilen bitkisel lifler, yün, kıl ve ipek gibi hayvansal lifler ile asbest ve karbon gibi metalik lifler olmak üzere üç çeşittir.

İnsanlar tarafından üretilen yapay lifler ise, günümüzde çok yaygın kullanım alanına sahip lifler (Aral, 2006) olup, bu lifler cam, polimer, bazalt lifler olmak üzere üç ana grupta incelenmektedir. Yapay lifler ucuz, kolay ulaşılabilir ve çevre dostu olmalarından dolayı inşaat, otomotiv, elektronik gibi sektörde kullanılmaktadır. İnşaat sektöründe yalıtım ve beton dayanımını artırmak amacıyla katkı malzemesi olarak kullanılırken, zemin donatılma amaçlı olarak geoteknik çalışmalarda ise yaygın kullanım alanına sahiptir.

Hayatımız için büyük öneme sahip, büyük moleküller olan polimerler çok farklı kullanım alanları ile karşımıza çıkmaktadır. Fakat doğal polimerlerin dışında gündelik hayatta çok fazla bilinen ve duyulan polimerler plastikler ve

kauçuklardır. Birçok sektörde kullanılan yapay polimerler yapı malzemesi, ev dekorasyon ürünleri, alt yapı malzemeleri gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Son yıllarda polipropilen, polyester ve kopolimer gibi polimerler zemin iyileştirme çalışmalarında kullanılmaya ve araştırılmaya başlanmıştır. Bu yapay polimerler ekonomik, kolay elde edilebilir ve yüksek dayanıma sahip olmalarında dolayı oldukça önemlidir. Ayrıca bunların depolanması ya da geri dönüştürülmesi nedeniyle oluşacak ek maliyetin ve çevreye olan zararların azaltılması noktasında büyük fayda sağlayacaktır.

Bu çalışmada, bir polimer olan polipropilen lifin ortaya çıkışı, gelişimi, üretimi ve zemin güçlendirmede kullanımı hakkında genel bilgiler sunulmuştur.

POLİMERLER

Küçük basit moleküllerin devamlı bir şekilde birbirini takip etmesi sonucu oluşan makro bileşik yapılar polimerler olarak tanımlanmaktadır. Monomer ise polimerleri oluşturan en küçük birimlerdir. Homopolimer, aynı tür monomerlerin birleşmesi sonucunda oluşan polimer zincirine, kopolimer iki farklı tür monomerin birleşmesi sonucu oluşan zincire, terpolimer ise üç farklı türün birleşmesi sonucu oluşturduğu yapıya verilen isimdir. Pencerelede kullanılan PVC (Poly Vinyl Chloride)'den, Teflon (politetrafloroetilen (PTFE))'a kadar polimerler çok çeşitli alanlarda günlük hayatta sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Polimerik malzemelerin bu kadar yaygın olmalarının birçok sebebi bulunmaktadır. Dayanıklı, düşük maliyetli, hafif ve güvenli olmaları bu sebeplerin başında gelmektedir. Bunların dışında her türlü şekillerde üretilebilmeleri, çok farklı alanlarda kullanılabilmeleri, kimyasal etkilere ve atmosferik koşullara dayanıklı olmaları, yalıtkan olup, elektrik ısı ve sesi iletmemeleri de polimerleri önemli kılmaktadır. Polimerler elde edildikleri kaynaklara bağlı olarak doğal polimerler ve yapay polimerler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Polimerler, fiziksel özelliklerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir ve keskin sınırlarla ayrılmayabilir (Tablo 1, Uysal, 2014).

Tablo 1: Polimer Çeşitleri (Uysal, 2014)

POLİMER			
PLASTİKLER		ELASTOMERLER	ELYAF
Termoplastikler	Termosetler		
*Polietilen	*Polyester Reçine	*Doğal Kauçuk	*Poliamid
*Polistiren	*Üre-formaldehit	*Stiren-Bütadien	*Polyester
*Polipropilen	*Fenolformaldehit reçine	*Polibütadien	*Polipropilen
*Poliamid 6	*Epoksi reçineler	*Polikloropren	*Selülöz
		*Butil Kauçuk	*Yün

Isıtıldıklarında sertleşen ve bu halini sonsuza kadar koruyan plastikler termosetlerdir. Çapraz bağ oranı yüksek olup termoplastiklerin tersine ısıtıldıklarında yumuşamaz ve erimezler. Sıcaklığın artırılmaya devam etmesi durumunda ısıl bozunmaya uğrar ve kimyasal olarak parçalanırlar. Zincirlerin birbirlerinden bağımsız olarak hareket etmesi, ana zincirlerin birbirine sağlam bağlarla bağlanmaları sebebiyle mümkün değildir. Çözücülerde çözünmezler ve fenol-formaldehit, üre-formaldehit, melamin-formaldehit polimerleri termosetlere örnek olarak verilebilirler (Crawford, 1987; Kalpakjian, 1989; Basan, 2001; Saçak, 2006)

Isıtıldıklarında yumuşayan, soğutulduklarında ise yeniden sertleşen plastik grubu termoplastiklerdir, tekrar tekrar eritilebilirler ve çözülebilirler Zincir içinde kovalent, zincirler arasında ise hidrojen bağlarına sahiptirler. Sıcaklığa bağlı olarak termoplastik malzemelerin elastik modülü, dayanımı ve sünekliği değişiklik gösterir. Sıcaklığın daha fazla artmasıyla primer bağlar teker teker çözülmeye başlar, molekül zincirleri parçalanır, düşük moleküllü maddeler haline geçer ve madde hasara uğrar. Termoplastikler, yüksek sertlik ve çarpma dayanımı özelliğine de sahiptir (Crawford, 1987; Kalpakjian, 1989; Saçak, 2006).

Elastik özelliğe sahip olan elastomerler segment hareketlerine imkan veren maddeler olup amorf yapıdadırlar. Gerilime maruz kaldıklarında, ilk boyunun 5-10 katı kadar tersinir olarak uzamaktadırlar. Düşük moleküler çekim kuvvetine sahiptir (Baysal, 1994).

Zincirleri arasında çekim kuvvetleri büyük olan çok yüksek kristallik derecesine ve polar gruplara sahip molekülleri bulunan polimerler lif olarak kullanılabilirler. Sentetik lifler orlon, polietilen, polihekzametilen adiopat (nylon 66) ve fiberglas gibi maddelerdir (Baysal, 1994).

Polimerler tekstil, kozmetik, spor malzemeleri, ev dekorasyon ürünleri, su altı tesisat alt yapılarında, çatı ve yer kaplamalarında, boya endüstrisinde ve birçok alanda çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunların dışında son yıllarda atık malzemelere alternatif olarak yüzeysel zemin stabilizasyonu uygulamalarında zeminin taşıma gücünün artırılmasında homopolimer polipropilen, polyester ve kopolimer gibi polimerler geoteknik çalışmalarda kullanılmaya başlamış ve kullanımı hızla gelişmektedir. Zemine farklı oranlarda eklenen bu malzemeler çekme dayanımlarının yüksek olmasından dolayı gerilmeleri üstlenip dağıtmaktadırlar.

POLİPROPİLEN

Termoplastik bir polimer olan polipropilen, tekstil ve yiyecek paketlemesinden otomotiv sanayine kadar oldukça fazla alanda kullanılmaktadır. Monomer propilenin polimer hale getirilmesi ile elde edilen polipropilen kimyasal solventlere (asit ve bazlar) karşı oldukça dirençlidir (URL-1, Şekil 1). Çok sayıda moleküllerden oluşan polimer, birbirine bağlı veya dallı yapıya sahip büyük bir molekül olup birbirine bağlı birçok monomerden oluşmaktadır. Monomer ise büyük moleküllerin temel yapı taşı oluşturur. Monomer ise büyük moleküllerin temel yapı taşı oluşturur. Monomer ise büyük moleküllerin temel yapı taşı oluşturur. Monomer ise büyük moleküllerin temel yapı taşı oluşturur.



Şekil 1: Polipropilen

Polipropilenin Genel Özellikleri

Polipropilen kolay işlenebilen ve maliyet/performans dengesinin cazip olmasından dolayı tekstil, paketleme, otomobil ve ev eşyaları gibi çok farklı alanda kullanılabilen yarı kristalin bir polimerdir (Chen vd., 2007). Beyaz, yarı şeffaf ve katı bir termoplastik olan polipropilen 121 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda uzun süre kullanılabilir. Polipropilen malzemeler 160 °C erime noktasına sahip olmasından dolayı sterilize edilebilmektedir. Sıcak çözgenlerde yumuşamakta olup soğuk organik çözgenlerde ise çözünmezler. Sertliğini birçok bükülmeden sonra dahi korurlar. Isı ve ışığın etkisiyle kolay bozunması nedeniyle antioksidantlarla birlikte kullanılmaları gerekmektedir. Renklendirilmesi zor olmasına rağmen elektriksel direnci iyidir. -9.4 °C'nin altındaki sıcaklıklarda kırılgan olup su absorpsiyonu ve geçirgenliği düşüktür. Sıcaklığın 60 °C'ye kadar olduğu durumlarda asitlere ve bazlara karşı dayanıklı olmakla birlikte mantarlara ve bakterilere karşı da dayanıklılığı yüksektir. Nitrik

asit, klor, sülfürik asit ve diğer kuvvetli oksitleyiciler tarafından etkilenen polipropilen yakılabilir olmasına karşın yanması yavaştır. Isıya karşı dayanımı, uygun bir şekilde modifiye edilerek iyileştirilebilir. Metal kaplanarak, enjeksiyon veya şişirme ile kalıplanarak ve ekstrüde edilerek kullanılabilir (Ezdeşir vd., 1999). Tablo 2’de poliprolinin genel özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 2: Polipropilenin Genel Özellikleri (Ezdeşir vd., 1999)

Özellik	Değer
Özgül ağırlığı (g/cm ³)	0.90-0.91
Akmada gerilme direnci (kg/cm ²) 23°C	300-350
Kopma noktasında uzama (%)	600-700
Bükülme mukavemeti (kg/cm ²) 23°C	7500-8000
Rockwell (R-Scale, 23°C)	90-94
Su absorpsiyon hızı (% ağırlık kazancı)	<0.03
Dielektrik sabiti (x10 ⁶ CS, 10°C)	2.2-2.3
Dielektrik kaybı (x10 ⁶ CS, 18°C)	0.0003-0.001
Voltaj direnci (Kv/mm)	30-32
Spesifik hacim direnci (Ohm-cm)	<10 ¹⁶
Termal iletkenlik (Kcal/cm/cm ² /s/°C)	2.7x10 ⁻⁷
Spesifik ısı (gcal/g °C)	0.46
Termal genleşme katsayısı Mm/mm/ °C	110x106
Deformasyon noktası (°C)	120-130
Yumuşama noktası (°C)	165-172
Alkaliye karşı direnci	Mükemmel
Çözünmeye karşı direnci	Mükemmel

Polipropilenin avantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

- En düşük spesifik ağırlığa sahip olan polimerdir.
- Darbeye karşı oldukça dayanıklıdır.
- Şeklini koruma özelliği iyidir.
- Kimyasallara karşı dayanımı yüksektir.
- Çok az elektrik geçirgenliğine sahiptir.
- Isı geçirgenliği de oldukça düşüktür (Abu Bakar vd., 2007).

Polipropilenin dezavantajları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir.

* Düşük sıcaklıklarda kırılındır.

* Oksidasyona hızlı bir şekilde uğramaktadır (Wang, 1996; Ezdeşir vd., 1999).

POLİPROPİLEN LİF

Doğal olarak bulunabilen ya da insanlar tarafından üretilebilen, bir boyutu diğer boyutundan çok büyük olan, aynı malzemenin daha büyük şekline göre daha yüksek dayanım ve elastisite modülüne sahip olan malzemeler lif/fiber olarak tanımlanmaktadır (Ekincioğlu, 2003). Doğal ve yapay olmak üzere lifler iki çeşittir. Doğal lifler doğada hazır halde bulunan lif türleridir (Aral, 2006). Bunlar düşük yoğunluk, yüksek aşınma dayanımı, kolay işlenebilirlik, ısı ve ses yalıtımlarının iyi, çevre dostu ve ekonomik olması ile karakterize olmaktadır. Nemden etkilenmeleri doğal liflerin en kritik problemlerinden biridir (Bismarck vd., 2006). Doğal lifler bitkisel (bambu, keten, kenevir, sisal, şeker kamışı posası, Hindistan cevizi kabuğu, jüt, selüloz) hayvansal (yün, ipek) ve madensel lifler (asbest, metal lif, karbon lif) olarak üç grupta incelenebilir. Diğer lif gruplarına göre maliyetleri yüksek olsa da, dayanımlarının yüksek, hafif, esnek olmaları ve çevresel etkilere karşı dayanımlı olmaları nedeniyle günümüzde en yaygın kullanıma sahip olan lifler ise yapay liflerdir. Bu lifler bazı katkı maddeleri eklenerek insanoğlu tarafından üretilirler (Aral, 2006). Bu gruptaki en önemli lifler polimer lifler, cam lifler, bazalt liflerdir.

Polimer lifler, tekstil ve petrokimya endüstrisinde üretilmiş akrilik, naylon, aramid, polipropilen ve polietilen olmak üzere farklı türleri bulunan, çekme dayanımları çok yüksek olmakla birlikte aramid hariç elastisite modülleri düşük sentetik ürünlerdir. Çapları mikron seviyesinde olan bu lif grubunda, çap ve uzunluk oranı kalitelerini belirlemektedir. Tekil veya lif hamuru şeklinde bulunabilen polimer lifler özellikle betonda dayanımı ve elastisite modülünü artırmak amacıyla kullanılmaktadır (ACI Committee 544, 2002). Tekstil ürünlerinin yanı sıra inşaat mühendisliği uygulamalarında betona eklenen lif üretiminde de kullanılan polipropilen lifler düşük maliyetli ve kolay işlenebilir olması, dayanımının yüksek, yoğunluğunun düşük ve kimyasal dayanımının çok yüksek olmasından dolayı tercih edilmektedir (Zhu ve Yang, 2006). Ayrıca tokluk özelliklerinin iyi olması ve çatlak oluşumunu engelleyebilme özelliklerinden dolayı da geniş kullanım alanı bulmaktadır (Banthia ve Gupta, 2006). Polipropilen lifler en hafif donatı sistemi olup diğer donatı sistemlerine kıyasla metrekare başına 90 gram ile 200 gram arasında kullanılması sebebiyle ölü donatı ağırlığı vermezler (Karahana, 2006). Bu lifler betonun mekanik, fiziksel ve termal özelliklerine olumlu yönde etki yapmaktadırlar (Madhavi vd., 2014).



Şekil 2: Polipropilen Lif

Polipropilen Lifin Tarihsel Gelişimi

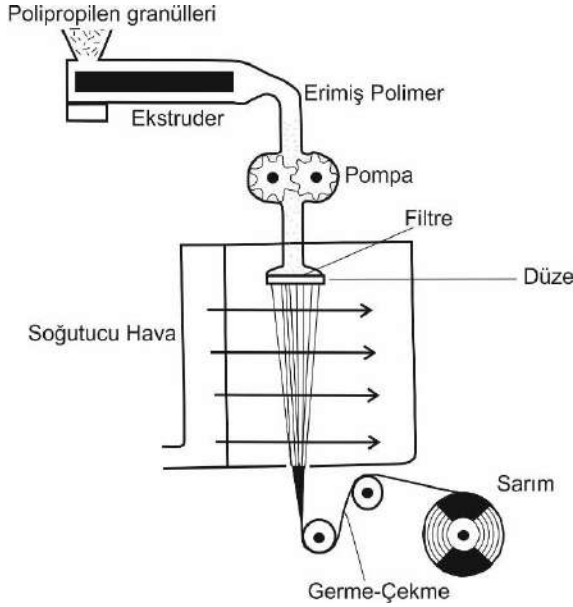
Yirminci yüzyılın başlarında doğal polimer esaslı hammaddelerden ilk kimyasal lif üretimi, gerçekleştirilmiştir. Sentetik esaslı kimyasal liflerin üretimi ise 1930’lu yıllarda mümkün olmuştur. Propilenin polimerizasyonu da bu gelişmelerle birlikte 1930’lu yılların ortalarında ilk defa gerçekleştirilmiştir. Ancak araştırmacılar elde edilen polimer maddenin erime sıcaklığının düşük olması ve lif çekimi için uygun olmaması nedeniyle farklı araştırmalara yönelmişlerdir (Zhu ve Yang, 2006). Karl Ziegler 1953 yılında metal katalizörleri eşliğinde etilenin düşük sıcaklıklarda, normal basınç altında polimerize olmasını sağlayan yöntemi geliştirmiştir. Lif çekimi için kullanılacak polipropilenin polimerizasyon işleminin gerçekleştirilmesi için bu buluş öncü olmuştur. Aynı yıllarda Milan Politeknik Enstitüsü yöneticisi olan Giulio Natta a-olefin ve stirenin polimerizasyonunu “Ziegler Katalizi” olarak adlandırılan Ziegler’in yöntemini kullanarak geliştirmiştir. 1954 yılında bu yöntemle G. Natta laboratuvar ortamında polimer zinciri üzerindeki metil gruplarının aynı doğrultuda yönlendiği izotaktik polipropilenin üretimini gerçekleştirmiştir (Natta, 1954). Bu çalışmaları ile 1963 yılında G. Natta ve K. Ziegler Nobel ödülü almışlar ve bu buluş Ziegler-Natta polimerizasyonu olarak anılmaya başlanmıştır (Koch, 2000). Polipropilen liflerinin endüstriyel olarak üretimi, 1957 yılında İtalyada “Meraklon” ticari adı ile başlamıştır. İlk stapel lifler 1960’lı yıllarda üretilmiştir. Liflerin üretimi patent sorunları ve boyamada karşılaşılan güçlüklerle rağmen 1970’li yıllardan sonra yaygınlaşmıştır.

Polipropilen Lif Üretimi

Termoplastik bir polimer olan polipropilen eritme yöntemi ile filament veya film haline dönüştürülmektedir. Polipropilen lifleri de diğer termoplastik liflerin üretiminde olduğu gibi eriyikten çekim yöntemiyle üretilmektedir. Farklı yöntemler ile polimerin eritilmesi sonucunda tekstil sanayinde kullanılmak üzere monofilament ve multifilament iplikler, stapel lifler, filmler (şeritler) ve spunbond tülbentler elde edilmektedir. Ayrıca klasik yöntemden farklı olarak çok kalın monofilamentlerin üretiminde eriyikten çekim ve su içerisinde katılaştırma yöntemi de kullanılmaktadır (Zhu ve Yang, 2006).

Eriyikten Çekim Yöntemi

Polimer maddenin eritilmesi, düzelerden geçirilerek katılaştırılması ve filamentlerin oluşması ile germe-çekme sonrası filamentlerin bobinlere sarılması işlemleri klasik eriyikten lif çekim yönteminin temelini oluşturmaktadır. Eriyikten lif çekimi ile polipropilen filamentlerin üretiminin şematik gösterimi Şekil 3'de verilmiştir. Polipropilenin eriyikten lif çekimi ekstruderde başlamaktadır. Eriyikten lif çekim yönteminde tek vidalı veya çift vidalı elektrik ısıtmalı ekstruderler polimerin eritilmesi, homojen hale ve belirli bir sıcaklığa getirilmesi için kullanılmaktadır. Tek vidalı ekstruderler polipropilen üretiminde çoğunlukla kullanılmakta ve ekstruderlerin boy/çap oranı en az 24/1 olanlar tercih edilmektedir (Zhu ve Yang, 2006). Sabit basınç altında ekstruderden çıkan eriyiğin düzelere beslenmesi ve eriyiğin erimemiş polimer içermemesi, saf olması ve hava kabarcığı bulundurmaması gerekmektedir. Bu nedenle eriyik haldeki polimer ürünün cinsine göre çeşitli filtrelerden geçirilerek düze paketine iletilmektedir. Düzelerden çıkan eriyik, katılaşarak filament haline geldiği 1-2 m boyundaki ilk soğutma bölgesinden geçerek toplama silindirlerine sarılır. İstenilen numarada liflerin elde edilmesi, amorf ve kristal oryantasyonun gerçekleşmesi için sıcak godet silindirleri vasıtasıyla liflere germe-çekme işlemi uygulanmaktadır. Çekim işleminden sonra filamentlerin dayanımları artar, uzamaları azalır ve kullanım alanına göre uygun kristalin yapıya gelirler (Koch, 2000; Zhu ve Yang, 2006). Liflerin yüzeyine yağlama, anti-statik malzeme uygulanma gibi bitim işlemleri lif üretildikten sonra yapılmakta ve lifler sonraki işlemler ve kullanım için hazır hale getirilmektedir. Eriyikten lif çekiminden sonra monofilament veya multifilament halinde lifler üretilmektedir. Bu aşamadan sonra üretilecek iplik tipine göre çok çeşitli tekstüre işlemleri uygulanarak lifler kullanıma uygun hale getirilirler. Eğer lifler stapel halde kullanılacaklar ise liflere kıvrım (yığma kutusu ile) verme ve kesme işlemlerinin de uygulanması gerekmektedir. Eriyikten çekim yöntemi Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3: Eriyikten Çekim Yöntemi (Koch, 2000)

Film Yarma Metodu

Lif formunun dışında tekstil endüstrisinde polipropilenin film formu da kullanılmaktadır. Film yarma metodu ile üretilen şeritler çoğunlukla dokuma çuval, dokuma jeotekstil vb. amaçlar için kullanılmaktadırlar. Granül haldeki polipropilen polimeri ekstruderde eritilerek sıvı hale getirilmekte ve çoğunlukla 1-4 gr/10dk arası eriyik akış oranına sahip polimerler film üretimi için kullanılmaktadır (Zhu ve Yang, 2006). Şişirme veya yayma yöntemi ile sıvı haldeki polimer maddeden bir film tabakası elde edilmektedir. Her iki yöntem ile elde edilen film tabakalarından iplik üretilecek ise tabakalar kesiciler aracılığıyla ince şeritler olarak kesilmektedir. Germe-çekme işlemi uygulanan şeritler daha sonra bobinlere sarılmaktadır.

Polipropilenin farklı dezavantajlarını ortadan kaldırmak ve/veya liflerin kullanılacağı alanlara uygun olarak ek özellikler kazandırmak için lif çekiminden önce polimer madde farklı yöntemler kullanılmak suretiyle modifiye edilmektedir. Örneğin, polipropilen zor boyanmakta ve renklendirilmesi için ek işlemler gerekmektedir ve bunun içinde polimer madde içine pigment eklemesi yapılabilmektedir. Diğer bir dezavantajı da erime sıcaklığının çok stabil olmaması ve UV ışınları etkisi ile oda sıcaklığında dahi bozunmaya uğrayabilmesidir. Bu tür sorunların ortadan kaldırılması içinde uygun lif özelliklerini koruyabilmek için farklı stabilizatörler polimer maddeye eklenebilmektedir. Lif çekim işlemi sonrasında uygulanan bitim işlemleri ile

liflere çeşitli ilave özellikler kazandırılabilir. Kullanılan bu stabilizörler ve kullanılma amaçları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Antioksidantlar: Polimer granüllerini bozunmadan saklayabilmek ve eriyikten çekim işlemini gerçekleştirebilmek.

Termal Stabilizatörler: Normal kullanım sıcaklıklarında uzun süreli termal dayanıklılık sağlamak.

UV Stabilizatörleri: UV ışınlarına karşı dayanımı artırmak.

Ayrıca liflere kullanımları sırasında liflerin güç tutuşurluk, iletkenlik, UV dayanımı vb. özelliklerini değiştirerek ya da liflere antibakteriyel, manyetiklik vb. ilave özellikler kazandırarak liflerin farklı amaçlar için kullanılmasını sağlayabilmek için polimer madde içerisine metal oksitler, gümüş vb. eklenebilir.

Polipropilen Liflerin Sınıflandırması

Polipropilen lifler %100 homo-polipropilenden F (fibrilize lifleri) ve M (multifilament lifleri) olarak iki tür olarak üretilmektedir. Şap yüzeyinde, ince olmaları sebebiyle gözükmeyen M tipi lifleri özellikle iç mekân şaplarında kullanılmaktadır. Ağır hizmete maruz kalan endüstriyel zeminlerde durabilite ve tokluk özellikleri sebebiyle şap ve betonlar için F tipi polipropilen lifler daha uygundur. Tablo 3’de polipropilen lif tipleri ve teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 3: Polipropilen Lif Tipleri ve Özellikleri (Karahan 2006’dan değiştirilerek alınmıştır).

Tip	Fibrilize	Multifilament	Fibrilize
Polipropilen (%)	100	100	92
Ürün Tipi	Standart F	Standart M	Paint
Yoğunluk (kg/lt)	0.91	0.91	1.00
Kesit	Karesel	Yuvarlak	Karesel
Kalınlık (μ)	36	18	-
Renk	Şeffaf	Şeffaf	Renkli
Görünüm	Görünebilir	Görülmez	Görünebilir
Çekme Dayanımı (N/mm ²)	500	700	500
Young Modülü (N/mm ²)	7116.20	7116.20	7161.20
Uzama (%)	Maksimum 10	Minimum 100	
Uzunluk (mm)	3-6-9-12-15-19-25-31-37-46-51		

Polipropilen Liflerin Etkinliği

Sıva, harç ve beton uygulamalarında çok fazla kullanılan ve insanlık tarihi kadar eski geçmişe sahip olan polipropilen lif bir yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Kullanımının gün geçtikçe artmasıyla polipropilen lifi stabilizasyon çalışmalarında etkin bir şekilde kullanılmakta bu konuda yapılan bilimsel çalışmalar hız kazanmaktadır (Çetinkaya, 2012).

Kimyasal olarak durağan ve alkali ortamlara dayanıklı olan polipropilen lifler her tür portland çimentosu ile birlikte kullanılabilirler. Hidrokarbonlara ve organik çözücülere dayanıklı olmaları sebebiyle benzin istasyonlarında kullanılırlar. Elektriksel ve manyetik alanlardan etkilenmez, ısı geçirgenliği oldukça düşük ve termal uzaması ihmal edilebilir. Su emmelerinin az olmasından dolayı betonun su/çimento oranını etkileyen polipropilen lifler, oksitleyiciler ve asitler ile reaksiyona girmezler, çürümez ve paslanma göstermezler. Betonun geçirgenliğini ve kılcal çatlakları azaltan polipropilenler, sıkıştırma faktörünü ise yükseltmektedirler. Beton yüzeyindeki göllenmeyi ve su geçirimliliğini azaltmakta aynı şekilde plastik rötrelere çatlaklarını da azaltmaktadır. Betonun saçılmasını ve ayrışmasını engelleyen polipropilenler beton yüzeyinde çimento pastası oluşumunu engellemektedirler. Şap betonda mikro çatlakları ve kapileriteyi azaltarak geçirimliliği düşür ve böylece donma çözülme çevrimine dayanım kazandırır. Bu özelliğiyle birçok alanda (otopark, yol, benzin istasyonu, vb.) kullanımı kritik öneme sahiptir. Teras, çatı, dış mekan ve benzeri yapılarda da oldukça yaygın kullanılmaktadır ve bunu da atmosfer koşullarına karşı olan direnciyle sağlamaktadır (Karahan, 2006).

Betonun mekanik dayanımını arttırmada polipropilen lifler, çelik liflere kıyasla etkili değildir fakat betona enerji yutma özelliğini kazandırmakta ve plastik rötrenin azalmasını sağlamaktadır. Güçlü olmayan büzülmelere karşı bu lifler kullanılmaktadır (Dirikgil, 2009). 170°C’de polipropilen liflerin erimesiyle oluşan kanallar vasıtasıyla gazlar dışarı çıkmakta ve boşluk basıncı azalmaktadır. Buna bağlı olarak betonda oluşmuş hasarın derecesi azalmaktadır (Bahadır, 2010).

Polipropilen Lifin Kullanım Alanları

- Tekstil sektörünün bir ürünü olan ve yapay olarak üretilen polipropilen lifler pasif donatı olarak beton üretiminde çok fazla kullanılmaktadır. (Celep, 2010).
- Püskürtme sıva ve betonlarda, bitümlü malzemelerde, şap uygulamalarında, yapısal taşıyıcı betonarme sistemlerinde, su yapılarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Karahan, 2006).

- Ayrıca polipropilen lifler garaj, deniz ve havaalanı yapılarında, su depoları ve endüstriyel zeminlerde de tercih edilmektedir (Tanrıöven, 2009).
- Bordur taşı, saksı, boru ve kiremit imalatında kullanım alanı bulmaktadır (Güngör, 2013).
- Yaygın bir şekilde antibakteriyel beton üretiminde, sismik hareketlere karşı kütle ve diyafram betonlarda, ambar ve depo alanlarında, park, radye temel ve hatıl dolguları üretiminde, koruma şaplarında, dekoratif beton paneli, tavan paneli ve ön cephe panellerinde kullanılmaktadır (Celep, 2010).
- Tamir, sıva ve izolasyon harçlarında, dış etkilere açık olan uygulamalarda ve otoyol bariyerlerinde kullanım alanı vardır (Bahadır, 2010).
- Dış cephe boyalarında, kartonpiyer ve parke taşı uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir (Karahan, 2006).
- Polipropilen lifler yarık ve çatlakları önlemek, suyun aşındırıcı etkisine karşı dayanım göstermek, şevlerde oluşan derin yarık ve kopmalara engel olmak, oturma ve çökmeleri önlemek, yüzey pürüzlülüğünü azaltmak, homojen, boşluksuz bir yapı elde etmek, malzemenin su emmesini önlemek amacıyla su yapılarında kullanılmaktadır (Karahan, 2006).

POLİPROPİLEN LİF KATKISI İLE ZEMİN GÜÇLENDİRME

Polipropilen lifler tekstil, paketlenme gibi birçok kullanım alanının olmasının yanı sıra inşaat sektöründe maliyetinin düşük, kolay elde edilebilir ve kolay işlenebilir olması, dayanımın yüksek, yoğunluğunun düşük ve kimyasal dayanımın oldukça yüksek olmasından dolayı betonda ve zemin güçlendirmede tercih edilmektedirler.

Literatürde Polipropilen Lif Kullanımı

Polipropilen lif kullanımının geoteknik çalışmalarda artmasına bağlı olarak, polipropilen lifin zeminin mühendislik özellikleri üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmaların önemi artmıştır. Zeminin mühendislik özelliklerini iyileştirmek amacıyla yapılan bu çalışmalar sonucunda zeminlerin dayanımı ve taşıma gücü artmakta ve daha az sıkışabilir zeminler oluşturulmaktadır. Zemin tipi, uygun katkı türü ve oranının seçilmesi bu çalışmaların başarılı olması açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla zemin güçlendirmede polipropilen lif kullanımı ile ilgili olarak bugüne kadar yapılmış bilimsel araştırmalar ve bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Freitag (1986), polipropilen iplik lifi, tek katlı naylon ipliği, ve polipropilen olefin tabanlı beton donatı lifinin zemininin dayanımına etkisini araştırmış ve lif

katkısıyla dayanım ve sünekliğin katkısız kil zemine göre artacağını belirlemiştir.

Al Wahab ve El-Kedrah (1995), çalışmalarında polipropilen lifin killi zeminlerin çekme çatlakları ve büzülme/şişmenin azaltılmasında etkinliğini araştırmışlardır. Lif oranının artmasıyla şişme özelliği göstermeyen siltli killi zeminde permeabilitenin de artış gösterdiği ifade edilmiştir.

Ziegler vd., (1998), kısa polimerik lifin kurutma ve ıslanma koşullarına maruz kalan kilin çatlak davranışı üzerindeki etkisini incelediği çalışmalarında killi zemine lif katkısının kuruma çatlama miktarını azalttığını ve çekme dayanımını arttırdığı sonucuna varmışlardır.

Puppala ve Musenda (2000), şişen zeminlerde polipropilen lif katkısının zeminlerin stabilizasyonundaki etkisini araştırdıkları çalışmada %0.0-0.9 aralığında dört değişik lif oranında karışımlar hazırlamış ve laboratuvar deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre lif katkısıyla tek eksenli basınç dayanımının arttığı, hacimsel rötre ve şişme basıncının ise azaldığı tespit edilmiştir.

Iasbik vd., (2002), yaptıkları çalışmada polipropilen lif katkılı killi zeminin geoteknik özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelemişler ve lif oranı ve boyunun etkili olduğunu belirlemiştir. Lif katkısıyla tek eksenli basınç dayanımının arttığını ve rezilyans modülünün önemli oranda azaldığını tespit eden çalışmacılar, yol mühendisliği uygulamalarında lif eklenerek hazırlanan karışımların kullanılmasının faydalı olacağını ifade etmişlerdir.

Cai vd., (2006), tarafından yapılan çalışmada killi zeminlerin mühendislik özelliklerine polipropilen lif ve kireç katkısının etkileri incelenmiştir. Çalışmada üç farklı oranda lif (%0.05, 0.15, 0.25) ve üç farklı oranda kireç (%2, 5, 8) kullanmış ve karışımdaki lif oranının artmasıyla dayanımın ve büzülmenin arttığı, şişme potansiyelinin ise azaldığı belirlenmiştir.

Akbulut vd., (2007), granüle ve killi zeminlerde rasgele dağıtılmış liflerin etkisini araştırmışlar ve killi zeminlerin stabilizasyonunda polietilen, araba lastiği parçaları ve polipropilen lif gibi malzemelerin kullanılabilceğini ileri sürmüşlerdir.

Chauhan vd., (2008), %70 kum ve %30 uçucu kül karışımının tek eksenli basınç deneyi sonuçlarına göre en iyi sonucu verdiğini ve %1 oranında polipropilen lifin bu karışıma eklenmesiyle tek eksenli basınç dayanımının arttığını tespit etmişlerdir.

Sevencan (2009), değişen oranlarda polipropilen lif ve uçucu kül katkısıyla yüksek plastisiteli Ankara kilinin mühendislik özelliklerinde meydana gelen değişimi incelemiştir. İlk aşamada maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su içerikleri belirlenen katkısız ve üç farklı uçucu kül katkılı (%10, 20,

30) Ankara kilinin lifsiz ve lif katkılı karışımları oluşturulmuştur. Kil-lif ve kil-lif-uçucu kül karışımlarında kuru ağırlıkça %0.5 ve %1.0 oranında lif katkısı kullanılmıştır. Lif boyu 6.0 ve 19.0 mm olarak seçilmiş ve iki farklı (M ve F tipi) lifler kullanılmıştır. Kil-uçucu kül karışımlarında uçucu kül oranı arttıkça optimum su içeriğinin azaldığı, maksimum kuru birim hacim ağırlık değerinin ise arttığı, aynı şekilde uçucu kül oranı veya kür süresinin artmasıyla karışımın tek eksenli basınç dayanımının da arttığı belirlenmiştir. Çalışmada tek eksenli basınç dayanımını, lif tipi ve boyunun etkilediği ifade edilmiştir.

Şenol ve Gümüser (2009), uçucu kül ve polipropilen lif katkılarını yüksek plastisiteli kilde kullanılarak zeminin dayanımına olan etkisini incelenmiştir. Araştırmacılar deneylerde %10 ve %15 uçucu kül, 19 mm uzunluğunda fibrilize ve multifilament olarak iki tür polipropilen lifi ağırlıkça %0.5 ve %1 oranlarında ekleyerek karışımlar oluşturmuşlardır. Lif ve uçucu kül katkılı örneklerde kompaksiyon deneyleri yapılarak 1, 7 ve 14 gün kür uygulamasından sonra serbest basınç deneyleri yapılmış ve %20 uçucu kül ve %0.5 fibrilize polipropilen lif katkılı örneklerde 14 günlük kür süresinden sonra en yüksek dayanım değeri belirlenmiştir.

Atton ve Al-Tamimi (2010), kumlu zeminin kayma dayanımı parametlerine iki tip polipropilen lifin etkisini inceledikleri çalışmada lif oranının artmasıyla kumun kayma dayanımının arttığı belirlenmiştir. Ayrıca esnek yassı profilin en-boy oranını (L/D) artırarak içsel sürtünme açısının ve kesme dayanımının arttığını tespit etmişlerdir.

Yılmaz ve Sevensan (2010), çalışmalarında farklı oranlarda polipropilen lif ve uçucu külün Ankara kilinin serbest basınç dayanımında meydana getirdiği değişimi incelemişlerdir. Öncelikle kile değişen oranlarda (kuru ağırlıkça %0, 10, 20, 30) uçucu kül eklenerek oluşturulan karışımlar 7, 14 ve 28 günlük küre tabi tutulmuştur. Daha sonra kil - uçucu kül karışımlarına 19 mm uzunluğunda M ve F tipi iki farklı lif, kilin ağırlığınca %0.5 ve %1 oranlarında eklenmiştir ve lif katkılı örneklerde ise 28 günlük kür uygulanmıştır. Çalışmacılar hazırladıkları bu örneklerde serbest basınç deneyi yapmışlar ve uçucu külün katkı olarak kullanıldığı örneklerde 1 ve 7 günlük kür sonrasında %10'dan fazla uçucu külün dayanıma etkisinin çok az olduğunu belirlemişlerdir. Ancak uçucu kül oranının artmasıyla 14 ve 28 gün kür uygulanan örneklerde serbest basınç dayanımının arttığını tespit etmişlerdir. Lif katkılı örneklerde ise dayanımdaki en fazla artış %10 uçucu kül ve %1 M tipi lifin kullanıldığı örnekte yaklaşık %53 olarak bulunmuştur. Çalışmada uçucu kül ile beraber M tipi lifin kullanıldığı örneklerde %0.5 lif katkısına göre %1 lif katkısının serbest basınç dayanımında daha etkili olduğu ifade edilmiştir.

Çetin (2011), tarafından yapılan çalışmada uçucu kül, kopolimer ve polipropilen lif katkı malzemelerinin kullanımının yüksek plastisiteli kil zeminin dayanımında meydana gelen değişim incelenmiştir. Katkısız kile uçucu kül (ağırlıkça %5, 10, 15), polipropilen lif (ağırlıkça %0.25, 0.50, 0.75, 1.0), kopolimer (ağırlıkça %0.50, 0.75, 1.0, 1.25, 1.50) katkı malzemeleri kullanılarak hazırlanan karışımlara ait optimum su içeriği ve maksimum birim hacim ağırlık değerleri bulunmuştur. Çalışmacı deney sonuçlarına göre kopolimer, uçucu kül ve polipropilen lif katkısının serbest basınç dayanımını artırdığını tespit etmiştir.

Zaimoğlu (2011), uçucu kül, borojips, polipropilen lif ve katkısız çimento katkılarını farklı oranlarda silt zemine ekleyerek serbest basınç dayanımına bu malzemelerin etkisini incelemiştir. Uçucu kül %10-20, borojips %10-20, polipropilen lif %0.15-0.25 ve katkısız çimento ise %1-3 oranlarında zemine eklendikten sonra 28 gün kür uygulanmıştır. Yapılan serbest basınç deneyleri sonucunda en yüksek dayanım değerinin %10 uçucu kül, %10 borojips, %0.25 polipropilen lif ve %0 katkısız çimento kullanılan örnekte meydana geldiği belirlenmiştir.

Çetinkaya (2012), çalışmasında zeminde uçucu kül ve polipropilen lif katkılarının kullanılmasının zeminin geoteknik özelliklerinde oluşturduğu değişimleri incelemiştir. Kil-uçucu kül karışımına farklı oranlarda (%0.5, 1.0, 1.5, 2.0) polipropilen lifi eklenmiş ve optimum su içeriğinde hazırlanan örneklerde serbest basınç ve CBR deneyleri gerçekleştirilmiştir. Araştırmacı yaptığı deneysel çalışma sonuçlarına göre zeminin dayanımını, uçucu kül ve polipropilen lif katkısının artırdığını ve %1.0 polipropilen lif oranının en etkili oran olduğunu belirtmiştir.

Etminan (2012), polipropilen, kopolimer, uçucu kül, ve VHP (virgin homo polimerpolipropilen) lif katkısıyla düşük ve yüksek plastisiteli killerde zeminin taşıma gücünün artırılmasını amaçlamış ve kullanılan tüm malzemelerin zeminin dayanımını artırdığını belirlemiştir. Ayrıca çalışmacı düşük ve yüksek plastisiteli kil zeminlerde dayanımın farklı oranlarda arttığını tespit etmiştir.

Sabat, (2012), pirinç kabuğu ve kireç ile stabilize edilmiş zeminde polipropilen lifin etkisini incelemiştir. Yaptığı çalışmada pirinç kabuğu külü-kireç ile stabilize edilmiş zeminde polipropilen lif yüzdesinin artışıyla maksimum kuru yoğunluğun azaldığını ve optimum su içeriğinin arttığını, %1.5 oranında polipropilen lif katkısına kadar tek eksenli sıkışma dayanımının ve ıslatılmış CBR'nin arttığını ancak polipropilen lif oranının daha fazla artışıyla azaldığını, hidrolik iletkenliğin arttığını ve şişme basıncının azaldığını belirlemiştir. Zemin için optimum oranın: pirinç kabuğu külü: kireç: polipropilen lifin sırasıyla 84.5:10:4:1.5 olduğu tespit edilmiştir.

Salim (2013), siltli bir killi zemine polipropilen lifin eklenmesiyle kıvam limitleri, kayma dayanımı ve sıkışması üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışmada zemin ağırlığının %1 ve %2 oranlarında lif eklenmesi durumunda kayma dayanımında iyileşme meydana geldiği ve lif oranı arttıkça su içeriğinin arttığı belirlenmiştir.

Kazemikhosrowshahi (2014), şişen zeminin, şişme potansiyeline farklı sentetik liflerin ve kimsayal maddenin etkilerini incelemiştir. Şişen zemin olarak sodyum bentonit kullanmış ve bentonitin şişme basıncını azaltmak için kireç, uçucu kül, homopolimer polipropilen ve kopolimer olmak üzere dört katkı malzemesi kullanmıştır. Uçucu kül katkısıyla LL, PL ve PI azalmış, kireç katkısıyla LL, PL ve PI azalmış ve zeminin plastik özelliklerini kaybetmesi ve katılaştırıcı maddenin meydana gelmesiyle zemin daha işlenebilir bir hal almıştır. Homopolimer polipropilen, kopolimer ve kireç katkılı bentonit karışımlarının optimum su içeriklerinde önemli bir değişiklik meydana gelmezken uçucu kül katkılı örneğin su içeriği varyasyonu %8'e yaklaşmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre bentonit-lif karışımlarının önemli ölçüde etkili olduğu ve şişme basıncı değerini %68'e kadar azalttığı ifade edilmiştir.

Soğancı (2004), yaptığı çalışmada şişen zeminlere polipropilen katkısıyla zeminin şişme davranışında meydana gelen değişimi incelemiştir. Farklı oranlarda (%0, 0.5, 0.75, 1) 12 mm uzunluğunda polipropilen lif kil zemine eklendikten sonra yapılan deneysel çalışmalar sonucunda zeminin tek eksenli basınç dayanımının lif oranı arttıkça arttığı ve zeminin daha sünek davranış sergilediği tespit edilmiştir. Ayrıca şişme yüzdesi değerinin de artan lif oranıyla azaldığı ifade edilmiştir.

Balagoudra vd., (2017), zemine farklı oranlarda (%0.25, 0.50, 0.75, 1.0) polipropilen lif (PPF) ve %4 (sabit) oranında kireç ekleyerek yaptıkları stabilizasyon çalışmasında lif ve kireç katkısıyla optimum su içeriğinin azaldığını, %0.75 lif oranından sonra ise arttığını, maksimum kuru yoğunluğun ise %0.75 lif oranına kadar arttığını sonra azaldığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar maksimum kuru yoğunluğun artmasıyla dayanımın arttığını ifade etmişlerdir. Çalışmada sıkışma dayanımının, kesme dayanımının ve CBR değerinin %0.75 lif oranına kadar artış gösterdiği ancak bu değerden sonra ise azalma gösterdiği belirlenmiş ve bundan dolayı zemin stabilizasyonunda kullanılacak optimum kireç oranının %4 ve optimum polipropilen lif oranının ise %0.75 olduğu belirtilmiştir.

Çalık vd., (2019), yüksek plastisiteli kile farklı oranlarda (%0.15, 0.20, 0.25) ve uzunluklardaki (3, 6, 12 mm) polipropilen lifi ekleyerek serbest basınç ve donma-çözülme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Optimum su içeriğinde hazırlanan örnekler üzerinde donma-çözülme çevrimlerinden sonra serbest

basınç deneyi yapan çalışmacılar lif uzunluğunun fazla olmasının yüksek çevrimlerde dayanımı arttırdığını belirlemişlerdir. %0.15 ve %0.20 oranlarında polipropilen liflerinin kullanıldığı örneklerin dayanımının çoğunlukla azaldığı %0.25 polipropilen lif katkılı örneğin ise donma-çözülme dayanımının arttığı ifade edilmiştir.

Das vd., (2019), tarafından yapılan çalışmada kireç, uçucu kül ve polipropilen lif kullanımının zeminin jeoteknik özelliklerini nasıl iyileştirebileceği belirlenmeye çalışılmıştır. Araştırmacılar yaptıkları deneysel çalışmalara göre kireç ve uçucu kül katkısının likit limit değerini düşürürken plastik limit değerini yükselttiğini ve plastisite indisini düşürdüğünü bu nedenle zeminin daha sertleştiğini tespit etmişlerdir. Polipropilen lifin eklenmesinin, polipropilen liflerin yüzeyine su partiküllerinin adsorpsiyonu nedeniyle optimum su içeriğini artırıp, lifin yoğunluğunun zemin parçacıklarından daha düşük olması nedeniyle maksimum kuru yoğunluğu azalttığını belirleyen araştırmacılar kaplama stabilizasyonu için katkı uygulaması, stabilizasyon amacıyla kullanılan tüm yan ürünlere alternatif olabileceğinden, ekonomik ve kaynak sürdürülebilirliğine olumlu katkı olacağını ifade etmişlerdir.

Chhokar ve Sonthwal (2020), polipropilen lifin zeminlerin kayma dayanımı üzerindeki etkilerini incelemişler ve farklı oranlarda (% 0.0, 0.05, 0.15, 0.25) lif katkısıyla zeminin kohezyon ve içsel sürtünme açısının arttığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar genel olarak, lif katkılı zeminin, derin/radye temellerin yerine geçebileceğini, enerjinin yanı sıra maliyeti de azaltabileceğini, özellikle zayıf zeminler üzerindeki mühendislik projelerinde iyi bir zemin iyileştirme tekniği olarak kabul edilebileceğini öne sürmüşlerdir.

Patro ve Senapti (2020), çalışmasında polipropilen lifin yumuşak zeminin çeşitli mekanik davranışları üzerindeki etkisi deneysel olarak incelemiş ve farklı gerilme dayanımına sahip iki farklı polipropilen lif (BAJAJ ve CETEX lifi) kullanmıştır. BAJAJ lifi 6 mm ve 12 mm uzunluğunda ve %0.15, %0.25, %0.50, %0.75, %1 oranlarında kullanılmış ve lif oranının artmasıyla dayanım artmıştır. %0.25 lif içeriğinde zirve noktasına kadar daha sonra azaldığı gözlenmiştir. Benzer şekilde CETEX lifinde (6 mm ve 12 mm uzunlukta) lif yüzdesi %0.25, %0.50, %0.75 ve %1 olarak değişirken burada da dayanımın arttığı ve %0.50 lif oranında pik yaptığı sonra azaldığı belirlenmiştir.

Şahbaz ve Ünsever (2020), düşük plastisiteli kil zeminlerin iyileştirilebilirliğini çimento ve polipropilen lif katkısı kullanarak incelemişlerdir. Zemine farklı oranlarda çimento (%5, 10) farklı oranlarda (%0.5, 1.0, 1.5) polipropilen lif ekleyen araştırmacılar öncelikle karışımlara ait optimum su içerikleri ve kuru birim hacim ağırlığı değerlerini tespit etmişlerdir.

Hazırlanan örneklerde serbest basınç (1, 7, 28 günlük kür), CBR ve şişme deneyi yapılmış ve deneysel çalışma sonuçlarına göre düşük plastisiteli kil zeminlerin iyileştirilmesinde çimento ve polipropilen liflerin birlikte kullanılabilceği çalışmada belirtilmiştir.

Küçük (2021), yaptığı tez çalışmasında kil zeminin drenajsız kayma direnci üzerinde polipropilen lif katkısının etkisini incelemiştir. Değişik boylarda (10, 20, 30, 40, 50 mm) kesilmiş lifler optimum su içeriğindeki zemine farklı oranlarda (kuru ağırlıkça %0.5, 1, 1.5, 2) eklenerek karışımlar hazırlanmıştır. Serbest basınç deneyi sonuçlarına göre polipropilen lifin katkı olarak kullanıldığı kil zeminin drenajsız kayma direncini arttırdığını belirleyen araştırmacı en büyük dayanım artışının, kuru ağırlıkça %2 oranında 30 mm uzunluğunda lif katkısı kullanılarak hazırlanan örnekte meydana geldiğini belirlemiştir. Ayrıca çalışmada lif oranının ve uzunluğunun artmasıyla karışımların homojen olarak elde edilmesinin güçleştiği de vurgulanmıştır.

Orman (2021), tarafından yapılan çalışmada, farklı katkı malzemelerin kullanımının düşük plastisiteli ve yüksek plastisiteli kil zeminlerin dayanım değerlerinde meydana getirdiği değişimi incelenmiştir. Çalışmada doğal zemine farklı oranlarda mermer tozu (%0, 5, 10, 15, 20), yüksek fırın cürufu (%0, 5, 10, 15, 20), polipropilen lif (%0, 0.1, 0.5, 1, 1.5) eklenmesiyle optimum su içeriğinde sıkıştırılarak hazırlanan örneklere 7 ve 28 günlük kür uygulanmıştır. Kür sonrasında yapılan serbest basınç deney sonuçları incelendiğinde bu üç katkı malzemesinin de kil zeminin iyileştirilmesinde olumlu katkıda bulunduğu belirlenmiş ve 28 günlük kürden sonra en yüksek dayanım değerinin bulunduğu ifade edilmiştir.

Al-Kaream vd., (2022), %0.5, %1.0, %1.5 oranlarında polipropilen lif katkılı killi zemin üzerinde yaptıkları çalışmalarında polipropilen lif katkısı ile likit limit, plastik limit ve serbest basınç dayanımının arttığını belirlemişlerdir. %1 polipropilen lif katkısı kullanıldığı durumda zeminin sıkıştırılabilirliğinin önemli ölçüde azaldığını belirleyen çalışmacılar polipropilen lif yüzdesindeki artışla özgül ağırlık ve maksimum kuru birim ağırlığının azaldığını tespit etmişlerdir.

Hamirani ve Kumar (2022), tarafından yapılan çalışmada zemine kuru ağırlıkça %0.5, 1, 1.5 ve %2 oranlarında polipropilen lif eklenmesiyle zeminin mühendislik özelliklerinde meydana gelen değişimler incelemiş ve lif eklenmesiyle maksimum kuru yoğunluğun azaldığı ve optimum su içeriğinin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada 5 mm'lik penetrasyondaki CBR değerinin, ıslatılmamış ve ıslatılmış koşullar altındaki tüm numuneler için 2.5 mm'lik penetrasyondaki CBR değerinden daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Hamza vd., (2022), rastgele dağıtılmış polipropilen lif katkısının killerin mühendislik özellikleri üzerindeki etkinliğini incelemişler ve %0-%0.8 arasında değişen oranlarda polipropilen lif katkıları kullanarak örnekler hazırlamışlardır. Zeminin dayanım parametrelerinde en önemli gelişmenin %0.4 oranında lif katkısıyla elde edildiğini belirlemişlerdir. Ayrıca şişme-konsolidasyon parametrelerinin de lif katkılı örneklerde önemli ölçüde iyileştiği gözlenmiştir.

Rajabi vd., (2023), killi kum zemine polipropilen ve cam liflerinin, farklı oranlarda (%0.2, 0.5, 1 ve 1.5) eklenmesiyle serbest basınç dayanımında meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarına göre her iki lif türü için lif içeriğinin artırılmasıyla serbest basınç dayanımı değerlerinin önemli ölçüde arttığı ve %1.5 lif içeriği için hepsinin maksimum değerlerine ulaştığı belirlenmiştir. Ayrıca, polipropilen liflerinin serbest basınç dayanımı, elastik modülü ve sünekliği arttırmada cam liflere göre daha etkili olduğu ifade edilmiş ve bu durum polipropilen liflerin cam liflere göre daha yüksek çekme ve eğilme dayanımına sahip olmasına bağlanabileceği ileri sürülmüştür.

Uday vd., (2023), yaptıkları çalışmada siyah pamuk zeminin jeoteknik parametreleri üzerinde polipropilen lifin etkilerini incelemişlerdir. Farklı oranlarda (%0, 0.50, 1, 1.50, 2, 2.50, 3) polipropilen lif katkılı örnekler üzerinde yaptıkları deney sonuçlarına göre lif katkısının zeminin jeoteknik parametrelerini iyileştirdiğini ve %2.5 oranında katkının optimum değer olduğunu belirlemişlerdir. %2.5 oranında polipropilen lif katılan örneklerde LL, PL, maksimum kuru yoğunluk, CBR, serbest basınç dayanımı ve kohezyon değerlerinin en yüksek olduğu belirlenmiştir. Şişme indeksinin en düşük değerinin ise yine %2.5 oranında lif katkılı örnekte belirlendiği ifade edilmiştir.

Polipropilen Lif Katkısı ile Zemin Özelliklerinde Meydana Gelen Değişimler

Yapılan birçok çalışmada polipropilen lif katkısıyla dayanımın artacağı ve zeminin mühendislik özelliklerinin olumlu yönde gelişme gösterdiği ifade edilmiştir. Bu çalışmalarda sentetik lif katkısıyla dayanımın artacağı (Freitag, 1986), killi zeminde polimerik lifin kullanılmasıyla çekme dayanımının arttığı (Ziegler vd., 1998), %0.0-0.9 aralığında polipropilen lif katkısının şişen zeminlerde kullanılmasıyla tek eksenli basınç dayanımının arttığı (Puppala ve Musenda 2000), polipropilen lif katkılı killi zeminde lif katkısıyla tek eksenli basınç dayanımının arttırdığı (Iasbik vd., 2002), killi zemine polipropilen lif (%0.05, 0.15, 0.25) ve kireç (%2, 5, 8) katkısıyla karışımındaki lif oranının artmasıyla dayanımın arttığı (Cai vd., 2006), %70 kum ve %30 uçucu kül karışımına %1 oranında polipropilen lif katkısının tek eksenli basınç dayanımını

artırdığı (Chauhan vd., 2008), yüksek plastisiteli kilde %20 uçucu kül ve %0.5 fibrilize polipropilen lif katkılı örneklerde 14 günlük kür süresinden sonra en yüksek dayanımın belirlendiği (Şenol ve Gümüşer 2009), kumlu zeminde polipropilen lifin oranının artmasıyla kumun kayma dayanımının arttığı (Atton ve Al-Tamimi 2010), polipropilen ve uçucu külün katkısıyla kilinin serbest basınç dayanımındaki en fazla artışın %10 uçucu kül ve %1M tipi lifin kullanıldığı örnekte meydana geldiği (Yılmaz ve Sevensan 2010), yüksek plastisiteli kil zemine uçucu kül, kopolimer ve polipropilen lif katkısının serbest basınç dayanımında artışlar meydana getirdiği (Çetin, 2011), zeminde %10 uçucu kül, %10 borojips, %0.25 polipropilen lif ve %0 katkısız çimento eklenerek hazırlanan karışımda en yüksek dayanım değerinin tespit edildiği (Zaimoğlu, 2011), kil zeminin dayanımının, uçucu kül ve polipropilen lif katkısı ile arttığı ve %1.0 polipropilen lif oranının en etkili oran olduğu (Çetinkaya, 2012) belirtilmiştir. Ayrıca uçucu kül, kopolimer, polipropilen ve VHP lif katkısının kil zeminin dayanımını arttırdığını (Etminan, 2012), pirinç kabuğu külü-kireç ile stabilize edilmiş zeminde %1.5 oranında polipropilen lif katkısına kadar tek eksenli sıkışma dayanımının ve ıslatılmış CBR'nin arttığını ancak polipropilen lif oranının daha fazla artışıyla azaldığını (Sabat, 2012), siltli bir killi zemine %1 ve %2 oranlarında lif eklenmesi durumunda kayma dayanımında iyileşme meydana geldiği (Salim, 2013), şişen zeminlere polipropilen lif katkısıyla lif oranı arttıkça tek eksenli basınç dayanımının arttığı (Soğancı, 2014), zemine farklı oranlarda (%0.25, 0.50, 0.75, 1.0) polipropilen lif (PPF) ve %4 (sabit) oranında kireç katkısıyla sıkışma dayanımının, kesme dayanımının ve CBR değerinin %0.75 lif oranına kadar arttığı bu orandan sonra ise azaldığı ve bundan dolayı zemin stabilizasyonunda kullanılacak optimum kireç oranın %4 ve optimum polipropilen lif oranının ise %0.75 olduğu belirlenmiştir (Balagoudra vd., 2017). Yapılan diğer çalışmalarda da yüksek plastisiteli kile %0.15 ve %0.20 oranlarında polipropilen liflerinin kullanıldığı örneklerin dayanımının genellikle azaldığı %0.25 polipropilen lif kullanılan örneğin ise donma çözülme dayanımının arttığı (Çalik vd., 2019), yumuşak zemine eklenen iki farklı polipropilen lif oranının artmasıyla dayanımının arttığı ve belli bir orandan sonra azaldığı (Jyoti ve Senapti, 2020), polipropilen lif katkısının kil zeminin drenajsız kayma direncini arttırdığını en büyük dayanım artışının, kuru ağırlıkça %2 oranında 30 mm uzunluğunda lif katkısı kullanılarak hazırlanan örnekte meydana geldiği (Küçük, 2021), doğal zemine farklı oranlarda mermer tozu, yüksek fırın cürufu, polipropilen lif, eklenmesi ve kür uygulanması ile kil zeminin iyileştirilmesinde olumlu katkıda bulunduğu belirlenmiş ve 28 günlük kürden sonra en yüksek dayanım değerinin bulunduğu (Orman, 2021), %0.5, %1.0, %1.5 oranlarında polipropilen lif katkısı ile serbest

basınç dayanımının arttığı (Al-Kaream vd., 2022) ifade edilmiştir. Ayrıca zeminin dayanım parametrelerinde en önemli gelişmenin %0.4 oranında polipropilen lif katkısıyla elde edildiği (Hamza vd., 2022), lif içeriğinin artırılmasıyla serbest basınç dayanımı değerlerinin önemli ölçüde arttığı ve %1.5 lif içeriği için hepsinin maksimum değerlerine ulaştığı (Rajabi vd., 2023), %2.5 oranında polipropilen lif katılan örneklerde serbest basınç dayanımının maksimum olduğu (Uday, 2023) belirlenmiştir.

Farklı çalışmalarda zeminin şişme özelliklerinin de polipropilen lif katkısıyla değiştiği belirlenmiştir. Şişen zeminlerde %0.0-0.9 aralığında polipropilen lif katkısının hacimsel rötre ve şişme basıncını azalttığı (Puppala ve Musenda, 2000), killi zeminlere polipropilen lif (%0.05, 0.15, 0.25) ve kireç (%2, 5, 8) katkısının şişme potansiyelini azalttığı (Cai vd., 2006), pirinç kabuğu külü-kireç ile stabilize edilmiş zeminde polipropilen lif yüzdesinin artışıyla şişme basıncının azaldığı (Sabat, 2012), şişen zeminlere polipropilen katkısıyla lif oranı arttıkça şişme yüzdesi değerinin azaldığı (Soğancı, 2014), şişen zeminde kireç, uçucu kül, homopolimer polipropilen ve kopolimer kullanılmasıyla şişme basıncı değerinin azaldığı (Kazemikhosrowshahi, 2014) yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. Ayrıca %1 polipropilen lif katkısı kullanıldığı durumda zeminin sıkıştırılabilirliğinin önemli ölçüde azaldığı (Al-Kaream vd., 2022) belirlenmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalarda kumlu zeminde polipropilen lif oranının artmasıyla kumun içsel sürtünme açısının ve kesme dayanımının arttığı (Atton ve Al-Tamimi 2010), farklı oranlarda (% 0.0, 0.05, 0.15, 0.25) polipropilen lifin zemine katılmasıyla zeminin kohezyon ve içsel sürtünme açısının arttığı (Chhokar vd., 2020), %2.5 oranında polipropilen lif katılan örneklerde kohezyon değerinin maksimum olduğu (Uday, 2023) belirlenmiştir.

Polipropilen lifin katkı olarak kullanıldığı farklı çalışmalarda pirinç kabuğu külü-kireç ile stabilize edilmiş zeminde polipropilen lif yüzdesinin artışıyla maksimum kuru yoğunluğun azaldığı ve optimum su içeriğinin arttığı (Sabat, 2012), siltli bir killi zemine %1 ve %2 oranlarında lif eklenmesiyle ve lif oranı arttıkça su içeriğinin arttığı (Salim, 2013), zemine farklı oranlarda (%0.25, 0.50, 0.75, 1.0) polipropilen lif ve %4 (sabit) oranında kireç eklenmesiyle optimum su içeriğinin azaldığı, %0.75 lif oranından sonra ise arttığı, maksimum kuru yoğunluğun ise %0.75 lif oranına kadar arttığı sonra azaldığı belirlenmiştir (Balagoudra vd., 2017). Polipropilen lifin eklenmesinin, polipropilen liflerin yüzeyine su partiküllerinin adsorpsiyonu nedeniyle optimum su içeriğini artırıp, lifin yoğunluğunun zemin partiküllerinden daha düşük olması nedeniyle maksimum kuru yoğunluğu azalttığını (Das vd., 2019), polipropilen lif yüzdesindeki artışla özgül ağırlık ve maksimum kuru birim ağırlığının

azaldığını (Al-Kaream vd., 2022), lif eklenmesiyle maksimum kuru yoğunluğun azaldığını ve optimum su içeriğinin arttığını (Hamirani ve Kumar, 2022) tespit etmiştir.

Zeminin geoteknik özelliklerinin polipropilen lif katkısıyla değiştiği birçok çalışmada açıkça görülmektedir. Bu çalışmalardan bazılarında sentetik lif katkısıyla sünekliğin artacağı (Freitag, 1986), polipropilen lif katkılı killi zeminin permeabilitesinin artacağı (Al Wahab ve El-Kedrah 1995), polimerik lifin killi zeminde kullanılmasıyla kuruma çatlama miktarının azaldığı (Ziegler vd., 1998), polipropilen lif katkılı killi zeminde lif katkısıyla lif boyu ve oranının etkili olduğu ve rezilyans modülünün önemli oranda azaldığı (Iasbik vd., 2002), killi zeminlerde polipropilen lif oranının artmasıyla büzülmenin arttığı (Cai vd., 2006), polipropilen lif katkısıyla hidrolik iletkenliğin arttığı (Sabat, 2012) belirlenmiştir.

SONUÇLAR

Donatılardırma yöntemi zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılan yöntemlerden biridir ve farklı tipteki lif katkılarının kullanımı çok yeni olup gün geçtikçe gelişimini sürdürmektedir. Donatılardırma çalışmalarında oldukça fazla tercih edilen polipropilen lifleri de bunlardan bir tanesidir. Polipropilen liflerin sahip olduğu üstün özelliklerden dolayı zemin stabilizasyonunda kullanımı önem kazanmış katkı olarak zemine eklenen polipropilen lifleri zeminin kıvam limitleri, dayanımı, şişme potansiyeli, geçirimsizliği, kompaksiyon parametreleri gibi birçok geoteknik özelliğinin iyileştirilmesini sağlamıştır.

Bu konuda yapılan çalışmalar incelendiğinde polipropilen lif oranı ve lif uzunluğunun çok önemli iki parametre olduğunu söylemek mümkündür. Bundan dolayı zeminlerde bu liflerin kullanılacağı uygulamalarda optimum polipropilen lif oranı ve uzunluğunun belirlenmesi, çalışmalardan en doğru ve sağlıklı sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.

Polipropilen lif katkısı kullanılarak yapılan çalışmaların zemin dayanımının belirlenmesi üzerinde yoğunlaştığı ve dayanım üzerindeki etkilerinin ortaya konulmaya çalışıldığı literatürde görülmektedir. Bunun dışında zeminin şişme özellikleri, geçirgenliği gibi diğer özelliklerinin de daha fazla çalışmayla belirlenmesi polipropilen lifinin önemini ortaya konması açısından oldukça fayda sağlayacaktır.

REFERANSLAR

- Abu Bakar, MB., Leong YW., Ariffin, A. ve Mohd. Ishak, ZA. (2007). Mechanical, flow and morphological properties of talc- and kaolin-filled polypropylene hybrid composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 104, 434-441.
- ACI Committee 544 (2002). State of the art report on fiber reinforced concrete reported (ACI 544.1R-96 Reapproved 2002). ACI Structural Journal.
- Akbulut, S., Arasan, S. ve Kalkan, E. (2007). Modification of clayey soils using scrap tire rubber and synthetic fibers. *Applied Clay Science*, 38, 23-32.
- Al-Kaream, KWA., Fattah, MY. ve Hameedi, MK. (2022). Compressibility and strength development of soft soil by polypropylene fiber. *International Journal of GEOMATE*, 22(93), 91-97.
- Al Wahab RM. ve El-Kedrah MA. (1995). Using polipropilen fibers to reduce tension cracks and shrink/swell in a compacted clay. *Geotechnical Special Publication*, 46(1), 791-805.
- Aral, M. (2006). Karma lif içeren çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı – bir optimum tasarım. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].
- Attom, Mousa F. ve Adil K. Al- Tamimi (2010). Effect of polypropylene fibers on the shear strength of sandy soil. *International Journal of Geosciences*, 44-50.
- Bahadır, F. (2010). Polipropilen lifli betonların mekanik özellikleri. [Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi].
- Balagoudra, RS., Krishna, V., Yaligar, HS. Jayasurya, T. ve Shwetha, GC. (2017). Soil stabilization using lime and polypropylene fiber material, *International Journal of Engineering Science and Computing*, 7(5).
- Banthia N. ve Gupta R. (2016). Influence of polypropylene fiber geometry on plastic shrinkage cracking in concrete. *Cement and Concrete Research*, 36(7), 1263-1267.
- Basan, S. (2001). *Polimer Kimyası*. 88, Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, 12-16.
- Baysal, B. (1994). *Polimer Kimyası*. 2. Baskı, ODTÜ Basım İşliği, 19.
- Bismarck, A., Baltazar-Y-Jimenez, A. ve Sarikakis, K. (2006). Green composites as Panacea? Socio-economic aspects of green materials. *Environment, Development and Sustainability*, 8, 445-463.
- Cai, Y., Shi, B., Ng, CWW. ve Tang, CS. (2006). Effect of polypropylene fibre and lime admixture on engineering properties of clayey soil. *Engineering Geology*, 87, 230-240.

- Celep, G. (2010). Polipropilen lifli betonların ısıl özellikleri. [Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi].
- Chauhan, MS., Mittal, S. ve Mohanty, B. (2008). Performance evaluation of silty sand subgrade reinforced with fly ash and fibre. *Geotextiles and Geomembranes*, 26, 429-435.
- Chen, H., Wang, M., Lin, Y., Chan, C-M. ve Wu, J. (2007). Morphology and mechanical property of binary and ternary polypropylene nanocomposites with nanoclay and CaCO₃ particles. *Journal of Applied Polymer Science*, 106, 3409-3416.
- Chhokar, S. ve Sonthwal, VK. (2020). Soil stabilization using polypropylene fiber materials. *International Journal of Creative Research Thoughts*, 8(11), 910-913.
- Crawford, RJ. (1987). *Plastics Engineering*. Second edition, Pergamon Press, 3-22, 42-43.
- Çalik, Y., Akbulut, RK., Zaimoğlu, AŞ. ve Yetimoğlu, T. (2019). Polipropilen lif ile rastgele donatılan bir çh kil zemininin donma-çözülme çevrimlerinde serbest basınç dayanımının araştırılması. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2), 911-921.
- Çetin, AY. (2011). Yüksek plastisiteli kil zeminlerin alternatif malzemeler ile yüzeyel zemin stabilizasyonu. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].
- Çetinkaya, M. (2012). Polipropilen liflerin uçucu kül zemin karışımlarında geoteknik özelliklere etkisi. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].
- Das, A., Ganvir, V. ve Baig, A. (2019). Effect of polypropylene fiber on lime, fly ash stabilized black cotton soil. National Conference on Recent Advances in Engineering and Technology Sammantrana 19 Organized by Government College of Engineering, 4(8).
- Dirikgil, T. (2009). Polipropilen lifli betonların yüksek sıcaklık etkisi altında bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin deneysel araştırılması. [Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi].
- Ekincioglu, Ö. (2003). Karma lif içeren çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı: Bir optimum tasarım. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].
- Etminan, E. (2012). Soft soil stabilization using fly ash, polypropylene, copolymer and VHP. [M. Sc. Thesis, ITU]
- Ezdeşir, A., Erbay, E., Taşkıran, İ., Yağcı, MA., Cöbek, M. ve Bilgiç, T. (1999). *Polimerler*. 2. Baskı, Pagev Yayınları, 57-71.

- Freitag, DR. (1986). Soil randomly reinforced with fibers. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 112(8), 823-826.
- Güngör, E. (2013). Karma lifli betonların özelliklerinin deneysel irdelenmesi. [Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi].
- Hamirani, SN. ve Kumar, A. (2022). Effects of polypropylene fibers on soil reinforcement. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 4(12).
- Hamza, M., Ijaz, N., Fang, C. ve Ijaz, Z. (2022). Stabilization of problematic expansive clays using polypropylene fiber reinforcement. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 16(4).
- Hausmann, MR. (1990). *Engineering Principles of Ground Modification*, McGraw-Hill Publishing Company.
- Iasbik, I., De Lima, DC., Carvalho, CAB., Silva, CHC., Minette, E. ve Barbosa, PSA. (2002). Geotechnical characterization of a clayey soil stabilized with polypropylene fiber using unconfined compression and resilient modulus testing data,” in *Resilient Modulus Testing for Pavement Components*, 114-125, ASTM Special Technical Publication (STP 1437), West Conshohocken, PA, USA, 2002.
- Kalpajian, S. (1989). *Manufacturing Engineering and Technology*. First edition, Addison-Wesley Publishing Company, 211-234.
- Karahan, O. (2006). Liflerle güçlendirilmiş uçucu küllü betonların özellikleri. [Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi].
- Kazemikhosrowshahi, S. (2014). Stabilization of expansive soil using copolymer, homopolymer polypropylene, fly ash and lime. [M.Sc. Thesis, Istanbul Technical University].
- Koch, PA. (2000). Polypropylene fiber table second issue. *Chemical Fibers International*, 50, 233-253.
- Küçük, F. (2021). Yüksek performanslı polipropilen fiber katkısının kil zeminin drenajsız kayma direncine etkisinin incelenmesi. [Yüksek Lisans Tez, Sakarya Üniversitesi].
- Madhavi, TC., Raju, LS. ve Mathur, D. (2014). Polypropylene fiber reinforced concrete-a review. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 4(4), 114-118.
- Natta, G. (1954). Italian Patent, 53512.
- Orman, A. (2021). Düşük ve yüksek plastisiteli kil zeminlerde yüksek fırın cürufu, mermer tozu ve polipropilen fiberin zemin iyileştirilmesine katkısının incelenmesi. [Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi].

- Patro, KBJ ve Senapti, S. (2020). Stabilization of clayey soil by using polypropylene fibre. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 7(8).
- Puppala, AJ. Musenda, C. (2000). Transportation Research Record, n 1736, 134-140.
- Rajabi, AM., Ghorashi, SMS. ve Yeganeh, MM. (2023). The effect of polypropylene and glass fibers on strength and failure behavior of clayey sand soil. *Arabian Journal of Geosciences*, 16(6).
- Sabat, AK. (2012). Effect of polypropylene fiber on engineering properties of rice husk ash- lime stabilised expansive soil, *EJGE*, 17.
- Saçak, M. (2006). *Polimer Kimyası*. 3. Baskı, Gazi Kitabevi, 33-35.
- Salim, HD (2013). Influence of polypropylene fibers on the soil stabilization. *Eng. Tech. Journal*, 31A(20).
- Sevencan Ü. (2009). Polipropilen fiber ve uçucu kül katkılı ankara kilinin geoteknik özelliklerinin araştırılması. [Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi].
- Soğancı, AS. (2004). Tekrarlı donma ve çözülmenin kireç ile stabilize edilmiş zeminlerin mukavemet ve permeabilitesine etkisi. [Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi].
- Şahbaz, İ. ve Ünsever, YS. (2020). Çimento ve polipropilen lif kullanarak düşük plastisiteli kil zeminlerin iyileştirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(3).
- Şenol, A. ve Gümüşer, C. (2009). Uçucu kül ve polipropilen elyafların zayıf zeminlerin kıvam limitleri, kompaksiyon ve serbest basınç dayanımına etkisi. 3. *Geoteknik Sempozyumu*. Çukurova Üniversitesi, 627-637.
- Tanriöven, F. (2009). Yüksek sıcaklık etkilerindeki karma lifli betonların mekanik özelliklerinin incelenmesi. [Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi].
- Uday, RA., Kiran, D., Arun Kumar, GS., Prakash, KG. ve Maddodi, BS. (2023). Effect of polypropylene macro fiber on geotechnical characteristics of black cotton soil: an experimental investigation and correlation analysis. *Eng. Sci.*, 21, 775.
- URL-1 <https://tr.wikipedia.org/wiki/Polipropilen>
- Uysal, N. (2014). Polimerler ile stabilize edilmiş kumların kayma mukavemetinin laboratuvar deneyleri ile belirlenmesi. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].
- Wang, Z. (1996). Toughening and reinforcing of polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science*, 60, 2239-2243.

- Yılmaz, Y. ve Sevensan, Ü. (2010). Polipropilen fiber ve uçucu kül katkılı Ankara kilinin bazı geoteknik özelliklerinin araştırılması. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onüçüncü Ulusal Kongresi*, 133-142.
- Zaimoğlu, AŞ. (2011). Engineering properties of sand stabilised with borogypsum. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Geotechnical Engineering*, 277-282.
- Zhu, M-F. ve Yang, HH. (2006). *Polypropylene Fibers*. Handbook of Fiber Chemistry 3rd Edition. Lewin Press, London.139.
- Ziegler, S., Leshchinsky, D., Ling HI. ve Perry, EB. (1988). Effect of short polymeric fibers on crack development in clays. *Japanese Geotechnical Society*, 38(1), 247-253.

7. Bölüm

Nano Yapılarda Yerel Olmayan Elastisite Teorisi Uygulamaları

Mustafa Oğuz NALBANT¹
Ayla TEKİN²

¹ Öğr. Gör. Dr.; Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü. mustafa.nalbant@cbu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-9311-2241

² Dr. Öğr. Üyesi; Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü. ayla.tekin@cbu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-2547-0872

ÖZET

Günümüz teknolojisinde meydana gelen hızlı değişimler, insanın maddenin çok küçük boyutlarında başarıya ulaşmasıyla birlikte, küçük ölçekli malzeme ve sistemlerin teknolojisi olan nano yapılar insan yaşamında köklü değişikliklere neden olan faydalar vaat etmiştir. Boyutları 1 ila 100 nanometre arasında değişen tüm nesne ve organizmalara nano ölçek denir. Nano boyutta malzemelerin sahip oldukları özelliklerin, daha büyük parçacıkların sahip olduğu özelliklerden farklı olması ve nano boyuta yaklaştıkça birçok farklı ve yeni özellikler kazandıklarının keşfedilmesi, nano yapı malzemeleri hemen her alanda kullanılabilir hale getirmiştir. Nano yapı malzemelerin normal boyutlardaki malzemelerden farklı davranmasına iki ana faktör neden olmuştur: yüzey etkileri ve kuantum etkileri. Bu iki faktör, malzemelerin kimyasal reaktivitesini, mekanik, optik, elektriksel, manyetik özelliklerini vb. ve genel olarak tüm fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkiler.

Nano, disiplinler arası bilim olup tıp, kimya, biyoloji, fizik, malzeme bilimi ve mühendislik gibi diğer tüm bilim alanlarında kullanılabilir. Özellikle son yarım yüzyılda, klasik olmayan sürekli ortam mekaniği çalışmaları ve bunun nano yapıların modellenmesine entegrasyonu önemli ölçüde arttı.

Bu çalışmada, Eringen'in yerel olmayan elastisite teorisi ve varyasyonları ile yapılmış çeşitli mekanik yapı analiz uygulamaları sunulmuştur. Sonuç olarak ise Eringen'in yerel olmayan elastisite teorisinin nano çubuklar, nano kirişler, nano plakalar, nano çerçeveler, nano tüpler ve nano kabukların analizinde başarılı şekilde uygulanabildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yerel Olmayan Elastisite, Nano Çubuklar, Nano Kirişler, Nano Plakalar, Nano Çerçeveler, Nano Tüpler, Nano Kabuklar

GİRİŞ

Sistemleri nano ölçekte incelemek oldukça önemlidir. Nano yapıların doğru bir şekilde uygulanması, karşılık gelen yapıların genel davranışının tam olarak bilinmesine ve anlaşılmasına bağlıdır (Shishesaz et al., 2017). Yukarıda listelenen uygulamalar için gerçekçi ve güvenilir deneyler yapmak veya aslına uygun simülasyonlar gerçekleştirmek genellikle maliyetli ve zaman alıcıdır. Bu nedenle, bu nano yapıları temsil eden güvenilir, azaltılmış dereceli modeller geliştirmek ilgi çekicidir. Bunu yapmak için klasik olmayan sürekli ortamlar mekaniği dikkate alınır.

Klasik sürekli ortamlar mekaniğinde, dökme malzeme ölçeksizdir. Ölçeksiz modellerde, uzun mesafeli atomlar arası etkileşimler gibi nano ölçekte mevcut olan belirli olayları hesaba katmak mümkün değildir. Örneğin, klasik sürekli ortamlar mekaniğinde, yığın halindeki, makro ölçekli bir malzemedeki parçacıklar, yalnızca ötelenmeye tabi bir noktasal kütle olarak temsil edilir. Bununla birlikte, nano ölçekli sistemlerde klasik sürekli ortamlar mekaniği kullanıldığında, yapının statik ve dinamik tepkilerinin ve davranışlarının yanlış temsillerinin ortaya çıktığı gösterilmiştir. Bu, nano ölçekte iç ve dış yapılar arasındaki oranın bire yaklaşmasına bağlıdır. Bu nedenle, bir nano yapıdaki parçacıklar, çevrilebilen, dönebilen ve deforme olabilen nano hacimlerle daha iyi temsil edilir. Şu anda, nano ölçekli yapılarda içsel fenomeni yakalayan birkaç teori mevcuttur (Ceballes & Abdelkefi, 2021).

Bu teoriler Cosserat teorisini (“Théorie Des Corps Déformables,” 1909) mikro yapı teorisi (Mindlin, 1964), ikinci gerinim gradyan teorisi (Mindlin, 1965), birinci gerinim gradyan teorisi (Mindlin & Eshel, 1968), Eringen'in yerel olmayan teorisi ve klasik (Mindlin & Tiersten, 1962) ve değiştirilmiş çift stres teorisi (F. Yang et al., 2002).

Bu teorilerin en kapsayıcısı, dönmelere, deformasyonlara ve ötelemelere tabi olan nano hacim ögesi temsillerini kullanır. Mikro yapı teorisi (Mindlin, 1964) gibi teoriler, geometriyi ve ek serbestlik derecelerini dâhil ederek, optik ve akustik dağılımlardan belirlenen 16'ya kadar ek parametre gerektirir. Bu ek parametreler ve serbestlik dereceleri, bu teorilerin dinamik sistemlere uygulanmasını zorlaştırır. Neyse ki, Eringen tarafından Eringen'in yerel olmayan elastisite teorisi üretildi (Eringen, 1983). Yerel olmayan teori, nano yapılar için elastisite alanında en yaygın kullanılan teoridir. Çoğu araştırmacı, ilişkileri basitleştirmek için bu teorinin diferansiyel modunu kullanır. Ancak son araştırmalar, bu teorinin önemli sonuçlar elde edilebilen integral modu kullanılarak yapıldı.

ERİNGEN'İN YEREL OLMAYAN ELASTİSİTE TEORİSİ

Hem integral hem de diferansiyel formlarda var olan Eringen'in yerel olmayan elastisite teorisi, parçacıkları yalnızca ötelenmeye tabi nokta kütleler olarak varsayar (Eringen, & Wegner, 2003; Eringen, 1983). Ek olarak, bir parçacığın yaşadığı stres, ortamdaki diğer tüm parçacıkların geriliminden etkilenir, yani komşu bir etki vardır. Bu etki, parçacıklar arasındaki mesafe arttıkça azalır ve tek bir azalan zayıflama veya çekirdek işlevi ve tek bir yerel olmayan parametre tarafından yakalanır.

Nano-kirişin malzemesinin, yerel olmayan bir elastisite teorisine uyan doğrusal olmayan bir elastik malzeme olduğu varsayılmaktadır. Eringen kavramlarına göre (Eringen, 1983), yerel olmayan elastisiteye uyan malzemeler için kurucu denklemler şu şekilde ifade edilebilir,

$$\sigma_{ij}^n(x) = \iiint_{(V)} a(|x' - x|, \tau) \sigma_{ij}^c(x') dV \quad (1)$$

Denklem (1)'de σ_{ij}^n , yerel olmayan elastisitede gerilim tensörünü ifade eder, σ_{ij}^c klasik (hooke) gerilim tensörü ve V hacmi ifade etmektedir. Burada a , $x' \in V$ 'deki gerilim durumunun etkisini $x \in V$ 'deki gerilim-şekil değiştirme durumunu ifade ettiği kabul edilen çekirdek (kernel function) fonksiyonudur ve τ fiziksel sabittir (Eringen, & Wegner, 2003).

Çekirdek fonksiyonunun farklı formları denklem (1) 'deki $a(x)$ yerel olmayan elastisitenin farklı yaklaşık modellerini tanımlar. $a(x)$ 'nin Green'in doğrusal diferansiyel operatör L fonksiyonu olduğunu varsayalım. Bu durumda,

$$L([x' - x]) = \delta([x' - x]) \quad (2)$$

Burada δ Dirac'ın δ -fonksiyonudur. (Eringen, & Wegner, 2003; Lu, 2007) fonksiyonun (2) ile gösterildiği gibi diferansiyel operatörün L alınarak elde edildiği iki boyutlu basit bir çekirdek fonksiyon olduğuna dikkat çekmişlerdir (Lellep & Lenbaum, 2018).

$$L(a) = (1 - (e_0 a)^2 \nabla^2) a(x) \quad (3)$$

Burada ∇ Laplace operatörüdür. Denklem (3)'te e_0 fiziksel bir sabittir. a nanomalzemelerin kafes yapısında tekrar eden iki atom arası uzaklık

parametresidir (latis boyutudur). Eringen e_0a ifadesini küçük ölçek parametresi olarak adlandırmış ve değerini $e_0a < 2$ nanometre ölçülerinde alınmasını önermiştir (Eringen, 1983). Denklem (1)-(3) 'e göre, yerel olmayan elastisitenin kurucu denklemi şu şekilde ifade edilebilir,

$$(1 - e_0a \nabla^2) \sigma_{ij}^n = \sigma_{ij}^c \quad (4)$$

Son yıllarda araştırmacılar, Eringen'in yerel olmayan elastisite teorisinin kullanımında, özellikle de diferansiyel formunda eksiklikler keşfettiler. Eringen tarafından sunulan diferansiyel form kısmen, Green'in fonksiyon özelliklerini kullanarak integral formun basitleştirilmesinden elde edilir. Bu model yalnızca sonsuz etki alanı için geçerlidir. Bu nedenle, gerçek konularda, konuya bir dizi ek kısıtlama dâhil edilmelidir. Bu kısıtlamalar yapısal kısıtlamalar olarak bilinir. Çoğu durumda, bu kısıtlamalar problemin fiziği ile çelişir ve bazen yanlış çözümlere yol açar. Bu nedenle, bu sorunu çözmek için, diferansiyel durumunda, problemin fiziği ile uyumlu sınır koşullarına sahip olan ve uygun tepkiler sağlayabilen çeşitli varyasyonlar üretilmiştir (Shariati et al., 2021). Bu çalışmada, Eringen'in yerel olmayan elastisite teorisi ve varyasyonları ile yapılmış çeşitli mekanik yapı analiz uygulamaları sunulmuştur.

NANO MEKANİK YAPILARIN ANALİZİNDE YEREL OLMAYAN ELASTISİTE UYGULAMALARI

Nano-Çubuklar

Nano çubuklar, nano ölçekteki cihaz ve makinelerde yaygın olarak kullanılan yapı elemanlarıdır. Nano boyuttaki cihaz ve makinaların geliştirilebilmesi için nano çubukların mekanik davranışının bilinmesi gerekmektedir. Nano çubukların mekanik davranışı konusunda yapılan çalışmalarda, klasik (yerel) sürekli ortam mekaniği uygulamalarında atomlar arasında bulunan kafes boşluklarının yapının bütünlüğünü bozması ve sürekli ortam olarak modellenmesine engel teşkil etmesi nedeniyle yerel olmayan sürekli ortam mekaniği kullanılmaktadır.

(Shakhilavi et al., 2022), yapmış oldukları çalışmada, Von Kármán'ın geometrik doğrusal olmama durumunu hesaba katan, yerel olmayan elastisite ve aksel kiriş teorilerine dayanan doğrusal olmayan bir nano çubuk modeli önermiştir. Tasarlanan yapıda mükemmel olmayan bir nano çubuk, doğrusal olmayan elastik bir ortamla çevrilidir ve termal ve enine manyetik yükler açısından aksel sıkıştırmaya veya çeşitli alanlara maruz bırakılmıştır. Termal

ve manyetik yükler göz önüne alındığında aksenal sıkıştırma altındaki nano çubuğun sınır şartları sabit-sabit olarak seçilmiştir. Nano çubuğun hareket denklemleri, Hamilton prensibi vasıtasıyla türetilmiştir. Çift doğrusal olmayan boyutsuz diferansiyel denklemler, üretilen varyasyonel yöntem kullanılarak çözülmüştür. Sonuçların doğruluğunu değerlendirmek için bu yöntemin sonuçları sonlu elemanlar yönteminden elde edilen değerlerle karşılaştırmıştır. Düşük ve yüksek sıcaklıkların, yerel olmayan parametrelerin, enine alanın manyetik kuvvetinin, titreşimlerin genliğinin ve nano çubuklar için doğrusal ve doğrusal olmayan elastik malzemelerin etkilerini araştırmak için sayısal sonuçlar sağlanmıştır.

(Civalek et al., 2022) çalışmalarında, burulma, aksenal elastik sınır koşullarına sahip gözenekli nano çubukların serbest burulma ve aksenal titreşimlerini, Eringen'in yerel olmayan elastisite teorisi aracılığıyla sunmuştur. Bu teorinin, nano-boyutlu yapılarla uğraşmaktan dolayı diferansiyel formülasyondaki küçük boyut etkisini hesaba kattığını vurgulamışlardır. Yazarlar, rijit olmayan (deforme olabilen) sınır koşullarına sahip gözenekli nano yapıların titreşim analizine ilişkin çalışma yapmıştır. Bu çalışma kapsamında tüm bu etkilerin bir çerçevede incelenmesine imkân veren bir model oluşturmuştur. Bu amaçla, iki burulma ve aksenal yay gözenekli nano çubuğa her iki uçta ayrı ayrı bağlanmıştır. Mevcut model, deforme olabilen ve deforme olmayan (rijit) sınır koşulları arasındaki boşluğu doldurmakta olduğunu vurgulamışlardır. Stoke dönüşümü ve Fourier sinüs serisi kullanılarak burulma ve aksenal katsayıları içeren bir özdeğer problemi oluşturulmuşlardır. Bu çalışmada ilk kez deforme olabilen ve sert sınır koşullarına maruz kalan gözenekli nano çubukların burulma ve aksenal titreşim frekansları için genel bir özdeğer algoritması oluşturmaya çalışmışlardır. Ayrıca, gözeneklilik indeksi, aksenal ve burulma kısıtlamaları gibi bazı parametrelerin serbest titreşim frekansları üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve bazı sonuçlar çıkarmışlardır.

Nano/mikro ölçekli mekanik elemanlardaki olası yapısal hasarların nano/mikro-elektro-mekanik sistem (NEMS/MEMS) organizasyonlarının çalışma performansını ve mekanik davranışını nasıl etkilediği dikkat çekici bir mühendislik problemidir. NEMS/MEMS organizasyonlarında tek boyutlu ve sürekli sistemler olarak modellenebilen çeşitli nano/mikro ölçekli mekanik elemanlar bulunmaktadır (Numanoğlu & Civalek, 2022).

(Numanoğlu & Civalek, 2022) yaptıkları çalışmada, literatürde ilk kez yerel olmayan sonlu eleman formülasyonu kullanarak nano ölçekli tek çatlaklı aksenal çubukların serbest titreşim analizini incelemişlerdir. Yazarlar, ilk olarak, nano çubukların yerel olmayan titreşiminin diferansiyel denklemi tek bir çatlak için sunmuştur. Daha sonra, çatlak durumu için geliştirilmiş yerel

olmayan bir sonlu eleman formülasyonu önermişlerdir. Çalışmanın sonuç kısmında, kırık nano çubukların yerel ve yerel olmayan boyutsuz frekans parametreleri literatürdeki bazı çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca nano çubukların boyutsuz frekansları yerel olmayan parametre, mod numarası, çatlak şiddeti ve çatlak yeri gibi farklı parametrelere göre çeşitli tablo ve grafiklerle sunulmuştur. Sayısal sonuçların ayrıntılı tartışmaları verilmiş ve bu tartışmalardan çıkarılan sonuçlar özetlenmiştir.

Klasik teorilerin aksine, Eringen'in yerel olmayan elastisite teorisinde, elastik izotropik bir malzeme için fiziksel ortamdaki süreksizlikler dikkate alınır. Yerel olmayan elastisite teorisine göre, bir noktadaki gerilme sadece aynı noktadaki gerinime bağlı olmakla kalmaz, aynı zamanda tüm cismin gerinim alanına da bağlıdır. Fiziksel ortamın süreksizliğini dikkate alan, yerel olmayan gerinim gradyan teorisi adı verilen başka bir yaklaşım daha vardır. Bu teoriye göre, bir noktadaki stres, tüm vücuttaki gerinime ve daha yüksek dereceli gerinim gradyanına dayanır (Alizadeh Hamidi et al., 2020).

(Alizadeh Hamidi et al., 2020) yaptıkları araştırmada, yerel olmayan gerinim gradyan teorisine dayalı dairesel olmayan enine kesitli nano çubuğun serbest burulma titreşimi incelenmiştir. Çalışmada dikdörtgen kesit seçilmiştir. Dairesel olmayan nano çubuğun burulma titreşiminin yönetici kısmi denklemi, Hamilton prensibi kullanılarak türetilmiştir. Bir Galerkin yöntemi kullanılarak ve serideki dikdörtgen şekil fonksiyonu dikkate alınarak dairesel olmayan nano çubuğun doğal frekansı elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, nano çubuğun boyutsuz doğal frekansının, dikdörtgen şekil fonksiyonunun sayısının artırılmasıyla yakınsadığını gösterilmiştir. Ayrıca, farklı boyutsuz yerel olmayan parametre ve boyutsuz malzeme uzunluk ölçeği parametresi için dairesel olmayan nano çubuğun boyutsuz doğal frekansı incelenmiştir. Çalışmanın sonucu olarak, hem yerel olmayan parametrenin hem de malzeme uzunluğu ölçeği parametresinin, nano çubuğun burulma sertliğinde yumuşamaya ve burulma sertliğinde sertleşmeye neden olan boyutsuz doğal frekans üzerindeki etkileri de gösterilmiştir.

Nano Kirişler

Kiriş, tek boyutlu sürekli sistemin basit bir modelidir (Truesdell, 1984). Kiriş tipi yapılar, modern inşaat, makine ve uzay mühendisliğinin birçok dalında yaygın olarak kullanılmaktadır. Nano malzemelerden imal edilen ve nanometre boyutunda olan yapısal kirişler, nano kirişler olarak adlandırılır. Son zamanlarda, nano elektromekanik sistemler için nano yapı bileşenleri (Harik, 2014) yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Nano kirişlerin titreşim özellikleri nano elektromekanik uygulamaları için kullanılabilir (C. Ke et al., 2005; C. H.

Ke et al., 2005; Pugno et al., 2005). Bu nedenlerle nano kırışlerin dinamiklerinin anlaşılması önemlidir.

(Mohammadi et al., 2023) yaptıkları çalışmada, çok katmanlı dönen piezoelektrik nano kırışlerin titreşim davranışı üzerindeki Coriolis etkileri incelenmiştir. Yönetici denklemler, yerel olmayan süreklilik ve yüzey esnekliği teorileri kullanılarak elde edilmiştir. Eksenel ve enine yönetici denklemlerine Coriolis etkileri eklenmiştir. Çok katmanlı piezoelektrik nano kırışlerin titreşim frekanslarını elde etmek için diferansiyel kareleme yönteminden (DKY) faydalanılmıştır. Sayısal sonuçlar ile mevcut literatürde sunulan sonuçlar arasında iyi bir iliğişim elde edilmiştir. Farklı sınır koşullarının etkileri ve çok katmanlı piezoelektrik nano kırışlerin titreşim davranışındaki termal değişim incelenmiştir. Mevcut çalışmada, Coriolis etkilerinin çok katmanlı piezoelektrik nano kırışlerin titreşim davranışını güçlü bir şekilde etkilediği gösterilmiştir. Sayısal sonuçlar, esnek sınır koşulları altındaki Coriolis etkilerinin, katı sınır koşullarından daha önemli olduğunu göstermektedir. Bu çalışma sonuçlarının nanosensörler, biyosensörler, atomik kuvvet mikroskopları, nanoelektromekanik sistemler ve mikroelektromekanik sistemler (NEMS/MEMS) cihazları tasarlamak ve üretmek için kullanılabileceği belirtilmiştir.

(Eltaher et al., 2023) yayınladıkları makalede, ilk kez farklı sınır koşullarına sahip boyuta bağlı bir sürekli model ile delikli viskoelastik nano yapıyı ince/kalın nano kırışin dinamik titreşim tepkisini keşfetmek için gelişmiş bir matematiksel formüle edilmiş model ve iyi tanımlanmış kapalı form çözümleri sunulmuştur. İnce ve kalın kinematik varsayımlar, sırasıyla Euler-Bernoulli ve Timoshenko teorileri tarafından sunulmaktadır. Perforasyonun, eşit boşluk ve delik geometrisine sahip simetrik bir dizide düzenlendiği varsayılmıştır. Yerel olmayan Eringen modelinin diferansiyel formu kullanılarak nano ölçekli boyut modele dâhil edilmiştir. Yönetici denklemler ve bunlarla ilişkili sınır koşulları, Hamilton prensibi kullanılarak geliştirilmiştir. Kelvin/Voigt viskoelastik yapı ilişkisi, nano yapının viskoelastik ve enerji dağılımını dikkate almak için kullanılmıştır. Kapalı formlardaki analitik çözümler, önceki saygın çalışmalarla türetilmiş ve doğrulanmıştır. Sayısal ve parametrik analizler, viskoelastik parametrelerin, yerel olmayan yumuşama katsayısının, destekleme koşullarının ve doldurma/boşluk oranının titreşim tepkisi üzerindeki etkisini gösterilmiştir. Geliştirilen model ve çözümler delikli viskoelastik nano kırış ve delikli viskoelastik NEMS yapılarının analiz ve tasarımında basit bir şekilde kullanılabileceği vurgulanmıştır.

(Shafiei et al., 2020)'nin yazılarında, döner konik eksenel fonksiyonel kademeli (AFG) Timoshenko nano kırışin titreşim analizi, yerel olmayan teoriye dayalı bir termal ortamda araştırılmıştır. Ana hareket denklemleri ve

ilgili sınır koşulları, kirişlerin birinci dereceden kayma deformasyonu teorisine dayanan Hamilton prensibi aracılığıyla elde edilmiştir. Çözüm yöntemi, genelleştirilmiş diferansiyel kareleme elemanı yöntemi kullanılarak ele alınmıştır. Sonuçların doğruluğu, diğer referanslarda bildirilen diğer sonuçlarla doğrulanmıştır. AFG indeksi, enine kesit değişim hızı, açılmal hız, boyut etkisi ve sınır koşulları gibi çeşitli parametrelerin doğal frekanslar üzerindeki etkisi kapsamlı bir şekilde tartışılmıştır. Sonuçlar, artan açılmal hız ile boyutsuz frekansın arttığını ve boyut etkisi parametresine bağlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca sıfır açılmal hızda, artan AFG indeksi ile görülebilir, frekanslar azalır, ancak sıfır olmayan açılmal hızda AFG indeksi, frekans üzerinde karmaşık davranış gösterdiği vurgulanmıştır.

(Hosseini et al., 2021) yaptıkları çalışmada, termal bir ortamda hareketli bir yük altında fonksiyonel derecelendirilmiş (FD) nano kirişlerin dinamik tepkisi incelenmiştir. Boyut etkisi dikkate alınarak, yerel olmayan Euler-Bernoulli kiriş teorisi, bir FD nanokirişi modellemek için kullanılmıştır. Hamilton ilkesi uygulanarak, yönetici hareket denklemleri ve sınır koşulları türetilmiştir. Laplace dönüşüm yöntemi kullanılarak analitik bir çözüm elde edilmiştir. Sunulan sonuçlar, literatürde bulunan sonuçlarla karşılaştırılarak doğrulanmış ve bu karşılaştırma, aralarında iyi bir uyum olduğunu göstermiştir. Yerel olmayan parametrenin, malzeme dağılım indeksinin, hareketli yükün hızının ve sıcaklık değişimlerinin FD nano kirişin tepkisi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar, yerel olmayan parametre ve sıcaklık değişikliklerinin artmasının, FD nano kirişinin dinamik sapsmasını artırmaya yol açtığı gösterilmiştir.

(Shaht & Abdelkefi, 2017) tarafından yapılan çalışma, Eringen'in yerel olmayan teorisinin, Si, Au ve Pt gibi bazı malzemelerin aynı anda hem uzunlamasına hem de enine (kesme) akustik dağılım eğrilerine uymadığını ortaya çıkardı. Bu nedenle, Eringen'in teorisinin uygulanabilirliğini genişletmek için yerel olmayan teorisinin iki yerel olmayan parametrelili genel bir biçimini geliştirdiler. Ayrıca, yerel olmayan elastik modellerin sadece artan nano ölçekli parametre ile sertliği yumuşatmayı açıklayabildiği gözlenirken, sertlik geliştirme etkisi gradyan esnekliği (veya modifiye çift gerilme teorileri) ve deneysel gözlemler kullanılarak iyi bir şekilde incelenmiştir. Yerel olmayan gerilme teorisine veya gerinim gradyan teorisine dayalı olarak nano/mikro yapıların statik ve dinamik problemini modellemek için birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırma çalışmalarından, yerel olmayan gerilim teorisi ve gerinim gradyanı teorisinin neden olduğu uzunluk ölçeklerinin, nano ölçekteki malzemelerin ve yapıların tamamen farklı iki fiziksel özelliği olduğu açıkça görülebilir. Her iki uzunluk ölçeğini tek bir teoride birleştirme ihtiyacı

nedeniyle, (Lim et al., 2015) yerel olmayan gerinim gradyan teorisi (NSGT) adlı yeni bir yaklaşım ve teori sundu.

(Zeng et al., 2020) çalışmalarında NSGT, yalnızca gradyan olmayan yerel olmayan elastik gerilimi değil, aynı zamanda küçük ölçekli yapılarda hem sertleşme hem de yumuşama etkilerinden faydalanmasını sağlayan yüksek dereceli gerinim gradyanlarının yerel olmama durumunu da açıklamıştır. Bu çalışmada, NSGT'ye dayalı olarak, fleksoelektrik dikkate alınarak bir piezoelektrik sandviç nano kirişin titreşim davranışı için analitik bir model geliştirilmiştir. Sandviç nano kirişi, iki piezoelektrik levha ve piezoelektrik olmayan bir çekirdekten oluşur. Sandviç kirişin titreşiminin yönetici denklemi Hamilton prensibi ile elde edilmiştir. Nano kirişin doğal titreşim frekansı, basit mesnetli sınır, sabit-sabit mesnetli sınır, sabit-ankastre sınır ve sabit-basit mesnetli sınır için hesaplanmıştır. Geometrik boyutların, uzunluk ölçeği parametrelerinin, yerel olmayan parametrelerin, piezoelektrik sabitlerinin yanı sıra fleksoelektrik sabitlerinin etkileri tartışılmıştır. Sonuçlar, hem fleksoelektrik hem de piezoelektrik sabitlerinin nano kiriş titreşim frekansını arttırdığını göstermiştir. Yerel olmayan gerilim, doğal titreşim frekansını azaltırken, gerinim gradyanı doğal titreşim frekansını arttırdığı görülmüştür. NSGT'ye dayalı doğal titreşim frekansı, yerel olmayan parametrenin uzunluk ölçeği parametre oranına bağlı olarak artırılabilir veya azaltılabilir olduğu vurgulanmıştır.

(Hao-nan et al., 2021) çalışmalarında, yerel olmayan elastisite teorisi ve Timoshenko kiriş modeline dayalı olarak, dönen fonksiyonel derecelendirilmiş bir piezoelektrik nano kirişin titreşimlerini araştırmıştır. İlk olarak, dinamik hareket denklemleri ve sınır koşulları, Hamilton ilkesi yardımıyla üretilmiştir. Ardından, hareket denklemleri ve sınır koşulları, diferansiyel kareleme yöntemiyle ayrıştırılmıştır. Akabinde detaylı sayısal hesaplamalar yapıldıktan sonra nano kirişlerin titreşim özellikleri analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, dönme hızı, yerel olmayan parametre, fonksiyonel gradyan indeksi, uzunluk-yükseklik geometri oranı ve dış gerilim gibi çeşitli parametrelerin farklı sınır koşulları altında titreşim özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Son olarak, sayısal sonuçlar, bu parametrelerin doğal frekanslar ve modal şekiller üzerinde ihmal edilemez etkilere sahip olduğu vurgulanmıştır.

(Ebrahimi & Daman, 2017) makalelerinde, ilk kez yerel olmayan elastisite teorisi aracılığıyla gözenek dağılımını dikkate alarak, farklı termal yüklere maruz kaldığı varsayılan kavisli fonksiyonel derecelendirilmiş (FD) yerel olmayan kirişin serbest titreşimi için analitik bir çözüm yöntemi önermektedir. Eğimli FD kirişinin malzeme özelliklerinin sıcaklığa bağlı olduğu varsayılmıştır. Gözenekli FD kavisli kirişin termo-mekanik özelliklerinin kirişin kalınlık yönüne göre değiştiği ve sıcaklığa bağlı olduğu varsayılmıştır. Kalınlık

yönü boyunca gözeneklerin değişimi mekanik ve fiziksel özellikleri etkilediğinden, gözeneklilik kavisli FD yapılarının mekanik tepkisinde önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir. Güç yasasının kuralı, eşit dağılıma göre gözenekli yapının etkisini dikkate alacak şekilde değiştirilmiştir. Sıcaklık alanı altındaki kavisli FD gözenekli nano kirişin yönetici denklemleri, Timoshenko kiriş teorisine dayanan enerji yöntemiyle türetilmiştir. Analitik bir Navier çözüm prosedürü, basit-basit desteklenen sınır koşuluyla termal yüklemeler için varsayılan gözenekli FD kavisli nano kirişlerin doğal frekanslarını elde etmek için kullanılmıştır. Daha basit durumlar için sonuçlar, literatürdeki bilinen verilerle doğrulanmıştır. Eğimli FD gözenekli nano kirişlerin yerel olmama durumu, gözeneklilik hacim fraksiyonları, sıcaklık yükselme türü, gradyan indeksi, açılma açısı ve en-boy oranı gibi çeşitli parametrelerin doğal frekans üzerindeki etkileri başarılı bir şekilde tartışılmıştır. Bu parametrelerin, gözenekli FD kavisli nano kirişin dinamik davranışı üzerinde anahtar rol oynadığı sonucuna varılmıştır. Sunulan sayısal sonuçlar, gözeneklilik fazları ile eğri FD nano kirişin gelecekteki analizleri için kıyaslama noktası olarak hizmet edebileceği vurgulanmıştır.

(Khaniki, 2018) çalışmasında Eringen'in yerel olmayan elastik teorisinin diferansiyel formunun, farklı sınır koşullarına sahip küçük ölçekli yapıların analizinde bazı yanlışlıklar var olduğunu vurgulamıştır. Bu nedenle, Eringen'in iki fazlı yerel/yerel olmayan integral modelinin, teorinin güvenilir iyi oluşturulmuş bir biçimi olduğunu, literatürde boyuta bağlı etkilerin modellenmesinde büyük ilgi gördüğünü söylemiştir. Bu çalışmasında, Eringen'in iki fazlı yerel/yerel olmayan integral modeli çerçevesinde çift katmanlı nano kiriş sistemlerinin (DNBS) titreşim davranışı üzerine kapsamlı bir çalışma sunmuştur. Çalışma kapsamında DNBS'nin titreşim davranışı, faz içi titreşim, faz dışı titreşim ve alt tabakanın sabitlenmesi ve kirişlerin bir ortam üzerinde analiz edilmesiyle üç farklı durum için formüle edilmiştir. Yönetim denklemleri, farklı sınır koşulları için, özellikle de Eringen'in yerel olmayan teorisinin diferansiyel formunun modellenemediği konsol DNBS modeli için sunulmuştur. Eringen'in iki fazlı modelindeki yerel olmayan terimlerin ve elastik bağlaşım teriminin bu tür yapıların dinamik davranışı üzerindeki etkisini göstermek için kapsamlı bir parametrik çalışma yapılmıştır. Bu parametrelerin, farklı sınır koşulları ile daha doğru ve güvenilir dinamik modellere yol açabilecek doğal frekans terimleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceği gösterilmiştir.

(Eltaher & Mohamed, 2020) yazdıkları araştırma makalesinde, bir nano-rezonatörler olarak nano yapıları delikli kiriş elemanlarının serbest titreşim ve rezonans frekanslarını araştırmak için kapsamlı bir model sunulmuştur. Düzenli

bir kare delikli kirişin nano ölçekli boyut bağımlılığı, Eringen kurucu denkleminin yerel olmayan bir diferansiyel formu kullanılarak ele alınır. Delikli kiriş yapılarının eşdeğer kütle, atalet, eğilme ve kayma rijitlikleri geliştirilmiştir. Hem Timoshenko hem de Euler-Bernoulli 'nin kinematik yer değiştirme varsayımlarının sırasıyla kalın ve ince kirişleri dikkate aldığı varsayılarak bu model, kesmenin delikli nano kirişlerin doğal frekansları üzerindeki etkisini göz önünde bulundurmaya imkân sağlamıştır. Yerel ve yerel olmayan elastik kirişler için hareket denklemleri türetilmiştir. Daha sonra, yerel olmayan ve perforasyon parametrelerinin bir fonksiyonu olarak frekans denklemlerinin analitik çözümleri çıkarılmıştır. Önerilen model, önceki çalışmalarla doğrulanmıştır. Uzun menzilli atomik etkileşimin, delik delme boyutunun, delik sırası sayısının ve sınır koşullarının delikli nano kirişlerin temel frekansları üzerindeki etkisini göstermek için parametrik çalışmalar yapılmıştır. Önerilen modelin, nano elektromekanik sistemler NEMS'de kullanılan nano kiriş rezonatörlerin tasarımını ve üretimini destekleyebileceği vurgulanmıştır.

Nano Plakalar

Nanoteknoloji, nano ölçekte işlevsel olarak sınıflandırılmış malzemeler ve mühendislik yapıları oluşturabilir, bu yapılardan biri de üstün mekanik, kimyasal ve elektronik özellikleri nedeniyle katı hal fiziği, malzeme bilimi ve nano-elektronik bilim camiasının ilgisini çeken nano boyutlu plakalardır. Nano-plakanın mekanik davranışının anlaşılması, büyük potansiyel mühendislik uygulamaları nedeniyle bu tür yapıların geliştirilmesinde esastır. Bu yapıların boyutları çok küçük olduğunda mekanik özelliklerde önemli bir boyut etkisi olduğunu kanıtlamıştır. Bu yüzden, boyut etkisi, mikro, nanoyapıların statik ve dinamik tepkisi üzerinde önemli bir role sahiptir ve göz ardı edilemez (Belkorissat et al., 2015).

(Barretta, Faghidian, ve Marotti de Sciarra 2019) çalışmalarında farklı sınır ve yükleme koşullarına sahip dairesel ve dairesel nano-plakaların eğilme davranışı yerel olmayan gerilim kaynaklı ve gerinim gradyan modellerine dayalı olarak incelenmiştir. Ayrıca klasik levha hipotezinden de faydalanılmıştır. Bu analiz, çığır açan nano elektromekanik sistemlerinin plaka benzeri bileşenlerinin tasarlanması ve optimize edilmesinde yararlı olabileceği savunulmuştur. Sonuçlar, basit mesnetli sınır koşulları ve üniform sınır çiftleri olan levha haricinde, yerelden elde edilen sapmaya kıyasla hem gerilme kaynaklı hem de gerinim gradyanlı modeller için yerel olmayan parametrenin artmasıyla belirli bir yük için levhanın sapsız azaldığını göstermektedir. Ayrıca, söz konusu sınır ve yükleme koşulları için, gerinim gradyan modeline göre plakanın sapsız, yerel modelin sapsızına eşitken, gerilme kaynaklı modelde, yerel

olmayan parametre arttıkça sapma azaldığı gösterilmiştir. Bu nedenle, sınırlarda bir eğilme çifti bulunan basit mesnetli sınır koşulu için gerinim gradyan modelinin boyut etkisini simüle edemediği ve bu nedenle uygun bir model olmadığı belirtilmiştir.

(Fattahi et al., 2019) araştırmalarında, yerel olmayan elastikiyet ve Reddy plant teorisini Pasternak temeli olarak adlandırılan iki parametrelilik elastik ortam üzerinde duran fonksiyonel olarak derecelendirilmiş (FD) nano plakaların titreşim tepkisini incelemek için kullanılmıştır. Yerel olmayan yüksek dereceli teorisinin, hem ölçeğin etkilerini hem de enine kayma deformasyonunun etkisini açıklaması, kısa nano plakalar söz konusu olduğunda önemli hale geldiği belirtilmiştir. FD nano plakanın özelliklerinin kalınlık boyunca bir güç yasasını takip ettiği ve bu modelde Poisson oranının sabit olduğu varsayılmıştır. Hem Winkler tipi hem de Pasternak tipi temel modelleri, nano plakanın çevreleyen elastik ortam ile etkileşimini simüle etmek için kullanılır. Hamilton prensibi kullanılarak, boyuta bağlı diferansiyel hareket denklemleri ve karşılık gelen sınır koşulları türetilmiştir. Modeli ayırıklaştırmak ve çeşitli sınır koşulları için sayısal çözümler elde etmek için bir diferansiyel kareleme yaklaşımı kullanılmıştır. Model, sonuçları yayınlanan diğer sonuçlarla karşılaştırarak doğrulanmıştır.

(Pham et al., 2021) yazdığı makalede, bir yardımcı petek çekirdekli sandviç nano plakaların serbest titreşim analizi için bir sonlu elemanlar yöntemi (FEM) önerilmiştir. Önerilen yöntem, kayma düzeltme faktörlerine ihtiyaç duymadan hem kayma deformasyonunu hem de gerilme etkilerini açıklayan üçüncü dereceden bir kayma deformasyonu teorisi (TSDT) ve yerel olmayan teoriye dayanmaktadır. Boyuta bağlı etki, yerel olmayan elastisite teorisi kullanılarak çözülmüştür. Negatif Poisson oranına sahip yardımcı sandviç nano plaka, ultra hafif özellikler ve yüksek mukavemet elde etmek için uygulanmaktadır. Önerilen yöntemle elde edilen sayısal sonuçlar, doğruluğunu ve güvenilirliğini göstermek için yayınlanmış diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca, sayısal örneklerde yerel olmayan faktörün, geometrik parametrelerin ve malzeme özelliklerinin (özellikle yardımcı petek parametrelerinin) sandviç nano plakaların serbest titreşim davranışı üzerindeki etkisi de incelenmiştir.

Nano Çerçeveler

Nanobilim ve nanoteknolojide çerçeve benzeri yapılar, atomik kuvvet mikroskopları, rezonatörler, jiroskoplar, aktüatörler ve sensörler gibi geniş bir yelpazede yeni uygulamalar bulmuştur (Limkatanyu et al., 2022).

(Russillo et al., 2021) araştırmalarında, yerel olmayan stres güdümlü modeli ve sonlu elemanlar yöntemini kullanarak nano çerçevenin boyut parametresine

bağlı dinamik tepkileri değerlendirilmiştir. Frekansları ve doğal modları hesaplamak için Wittrick-William'ın algoritmasını uygulanmış ve bu iki boyutlu formülasyonu üç boyutlu yapılara genelleştirilebileceği iddia edilmiştir. Önerdikleri yöntem, dinamikleri tam olarak dinamik rijitlik matrisi yöntemiyle ilişkili olan iki düğümlü yerel olmayan bir elemanın ilk örneğinin sunumudur. Bu, çerçevenin herhangi bir iç ağ olmaksızın tek, kesin bir eleman tarafından modellenebileceği anlamına geldiği belirtilmiştir. Stres güdümlü yaklaşım, alternatif yerel olmayan formülasyonların teorik kusurlarının üstesinden gelen boyut etkilerinin tutarlı bir yerel olmayan tanımı sunulmuştur. Son olarak, Wittrick-Williams algoritmasının kullanılması, tüm doğal frekansların tam olarak hesaplanmasını sağlamıştır. Bu yöntemin, yerel olmayan mekaniğin genel bir çerçevesinde nano çerçeveler üzerindeki boyut etkilerini araştırmak için etkili ve sağlam bir araç sağladığı vurgulanmıştır.

(Limkatanyu et al., 2022) yayınladıkları çalışmada, nano boyutlu çerçeve benzeri yapıların boyuta bağlı analizleri için yeni bir elastisite tabanlı yerel olmayan çerçeve elemanı önerilmiştir. Malzeme küçük ölçekli etkisi, tutarlı bir şekilde gerilim güdümlü yerel olmayan integral model tarafından temsil edildiği ve eleman denklemi, esnekliğe dayalı sonlu eleman formülasyonu çerçevesinde oluşturulduğu vurgulanmıştır. Hem gerilim güdümlü yerel olmayan integral modelin hem de elastisite tabanlı sonlu eleman formülasyonunun avantajları, önerilen yerel olmayan çerçeve elemanını "tutarlı" ve "kesin" kıldığı belirtilmiştir. Bu nedenle, "üye başına bir öge" modelleme yaklaşımı uygulanması önerilmiştir. Değiştirilmiş Tonti diyagramı, eleman formülasyonunun genel görünümünü göstermek ve formülasyon adımını özetlemek için kullanılmıştır. Öge durumu belirleme süreci ve yer değiştirme kurtarma prosedürü de tartışılmıştır. Önerilen yerel olmayan çerçeve elemanının doğruluğunu, özelliklerini ve uygulamalarını göstermek için üç sayısal örnek kullanılmıştır. İlk örnek, modelin Eringen'in yerel olmayan çerçeve modeline ve basitleştirilmiş gerilim-gradyan çerçeve modeline özgü "sabit kuvvet" paradoksal tepkilerini ortadan kaldırma kabiliyetini gösterir. İkincisi, bir destekli-konsol nano kirişin küresel ve yerel tepkileri üzerindeki küçük ölçekli malzemenin özünü sunar ve karakterize eder. Üçüncüsü, yardımcı bir meta malzemenin gerilme tepkisi üzerindeki malzemenin küçük ölçekli etkisini araştırmıştır. Tüm analiz sonuçları, gerilim kaynaklı yerel olmayan integral modelle ilişkili malzeme yerel olmama durumunun sürekli olarak daha sert bir sistem tepkisi verdiğini göstermiştir.

Nano Tüpler

Nano tüpler veya diğer nano yapılar kullanılarak üretilen nano teknolojik cihazların mekanik kısıtlamaları altındaki mekanik davranışları, anahtar konulardan biridir. Bu konudaki araştırmalar deneysel ve teorik olarak yapılmıştır. Moleküler dinamik simülasyonu gibi deneysel yöntemler ve atomistik modelleme, çok yüksek hesaplama hacmi ve uzmanlık bilgisi gerektirdiğinden, bu tür yapıların mekanik özelliklerinin deneylerle belirlenmesi çok sınırlıdır. Bu nedenle araştırmacılar yüksek mertebeden sürekli ortamlar mekaniği gibi teorik çalışmalara ağırlık vermişlerdir. Başka bir deyişle, mekanik problemin çözümünde boyut etkisini dikkate alan boyut bağımlı formülasyonlar üzerinde teorik çalışmalar yapılmıştır (Civalek et al., 2020).

(Taati et al., 2022) yapmış oldukları çalışmada, birinci dereceden kayma deformasyonu (FSD) modeli ve yerel olmayan elastisite teorisine dayanarak, fonksiyonel dereceli karbon nano tüp takviyeli kompozit (FD-CNTRC) kirişlerin doğrusal olmayan titreşim davranışı üzerindeki kayma ve küçük ölçeğin eşzamanlı etkileri ilk kez araştırılmıştır. Bu amaçla, Von Kármán'ın geometrik doğrusal olmama durumu ile birlikte bükülme ve esnemenin yönetici denklemleri, enine sapma açısından bir dördüncü dereceden kısmi diferansiyel denkleme ayrıştırılmıştır. Farklı sınır koşullarına sahip FD-CNTRC kirişlerinin kavramsal tasarım ve optimizasyon algoritmalarında kullanılacak doğrusal olmayan doğal frekansın kapalı form çözümü, Galerkin'in hibrit yöntemi ve pertürbasyon tekniği kullanılarak geliştirilmiştir. İlk olarak, ayrıştırılmış denklem Galerkin yöntemi uygulanarak zamana göre doğrusal olmayan sıradan bir denkleme indirgenir. Daha sonra, bu doğrusal olmayan adi diferansiyel denklemi, analitik olarak çözülebilen bir dizi doğrusal denkleme değiştirmek için çok ölçekli pertürbasyon tekniği kullanılır. Son olarak, literatürdeki mevcut sonuçlarla karşılaştırmak ve ayrıca CNT dağılımının, sınır koşullarının ve yerel olmayan parametrelerin frekans oranı üzerindeki etkilerini incelemek için sayısal sonuçlar sunulmuştur. Yerel olmayan parametre arttığında CNT dağılımının etkisinin daha önemli hale geldiği belirtilmiştir. Ayrıca, klasik ve yerel olmayan elastisite teorilerinden elde edilen sonuçlar arasındaki fark, titreşimin genliğinin arttığı görülmüştür. Bu nedenle, büyük deformasyona sahip FD-CNTRC kirişlerin doğrusal olmayan titreşim davranışını tahmin etmek için klasik elastisite teorisinin yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır.

(Feng et al., 2022) yaptıkları çalışmada büyük ölçüde geliştirilmiş hassasiyete sahip nano mekanik kütle sensörlerinin üretimi için hassas olan karbon nano tüpleri (CNT'ler) ele alınmıştır. Bu yazıda, tek duvarlı CNT tabanlı kütle sensörlerinin aksel titreşim davranışı, yerel olmayan elastisite teorisi ve Euler-Bernoulli giriş teorisi ile incelenmiştir. Sistemin titreşimi yöneten

denklemleri, Hamilton prensibinden türetilmiş ve titreşim özelliklerini tanımlayan frekans denklemleri ve tepkilerin ilişkileri kurulmuştur. Açık fiziksel parametrelerle doğal frekansların ifadelerini elde etmek için yaklaşık bir analitik yöntem ve temel frekansı hesaplamak için basit bir ifade sağlanmıştır. Ayrıca, teorik analizle birleştirilmiş ve gerçek çalışma koşulları altında sensörün sönümleme ortamı dikkate alınarak, çeşitli fiziksel faktörlerin kütle sensörlerinin titreşim davranışları üzerindeki etkisini karşılaştırmak ve tartışmak için LAMMPS moleküler dinamik simülasyonları uygulanmıştır. Veriler, uca bağlı kütledeki artışın ve yerel olmayan parametrelerin ayarlanmasının, kütle sensörlerinin hassasiyetini etkili bir şekilde artırabileceğini ortaya koyulmuştur.

(Civalek et al., 2020) araştırmaları kapsamında, elastik bir matris üzerinde yatan gömülü karbon ve silis karbür nano tüplerin serbest titreşim analizleri, Eringen'in yerel olmayan elastisite teorisine dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu nano tüpler nano kiriş ve nano çubuk olarak modellenmiştir. Elastik matris, kiriş ve çubuk modelleri için sırasıyla Winkler-Pasternak elastik temel ve eksenel elastik ortam olarak kabul edilmiştir. Kiriş ve çubuğun titreşim formülasyonları, Hamilton prensibi kullanılarak türetilmiştir. Elde edilen hareket denklemleri, değişkenlerin ayrılması yöntemi ve çeşitli sınır koşulları için sonlu elemanlar tabanlı Hermite polinomları ile çözülmüştür. Sınır koşullarının, sistem modellemenin ve uzunluk, kesit boyutları, elastik matris, mod numarası ve yerel olmayan parametreler gibi yapısal boyutların bu nano yapıların doğal frekansları üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Ayrıca, boyuta bağlı sonlu eleman formülasyonunun mevcudiyeti, elastik bir matris üzerine oturan nano kirişlerin/çubukların titreşim probleminde araştırılmıştır.

(Ouakad et al., 2020) çalışmalarında, malzeme özelliklerinin, yerel olmayan parametrelerin ve Lorentz ve elektrik kuvvetlerinin termal yükler altında bir hibrit karbon/bor-nitrür hetero-nano tüpün bükülme ve titreşim davranışları üzerindeki etkisini değerlendirilmiştir. Ayrıca, bu çalışmada nano tüpün doğrusal olmayan geometrisindeki Euler-Bernoulli kiriş modeli, Green-Lagrange küçük gerinimleri ve ortalama dönüşleri kullanılmıştır. Sıkıştırılmış karbon/bor-nitrür nano-tüpün bölümleri için doğrusal olmayan hareket denklemleri de D'Alembert ilkesi ve yerel olmayan gerilim güdümlü model kullanılarak çıkarılmıştır. Denklemlerin çözümleri de Galerkin modal açılım yöntemi kullanılarak çıkarılmış ve sonuçların doğrulanması ve parametrik inceleme genel olarak sunulmuştur. Sonuçlar, sıcaklık değişiminin, yerel olmayan parametrelerin, karbon ve bor nitrür bileşenlerinin uzunluk oranının ve doğru akım ve alternatif akım voltajlarının hibrit nano tüpün ana frekans ve maksimum sapması üzerindeki etkisini gösterdiği belirtilmiştir. Bildirilen

sonuçlara göre, tüm bu parametreler kompozit nano tüpün dinamiklerini etkileyebildiği ancak, her bir parametrenin etkisi diğer parametrenin etkisi ile aynı olmadığı vurgulanmıştır.

Nano Kabuklar

Nano kabuklar, ince bir altın kabukla çevrili bir dielektrik çekirdekten oluşan, optik olarak ayarlanabilir nano parçacıkların yeni bir sınıfıdır. Kabuk kalınlığının ve çekirdek yarıçapının nispi boyutlarına bağlı olarak, nano kabuklar, ışığın dokudan maksimum penetrasyonunu sağlayan bir dalga boyu bölgesi olan yakın kızılötesi dâhil olmak üzere geniş bir spektral aralıkta ışığı dağıtmak ve/veya absorbe etmek üzere tasarlanabilir. Nano kabukların hem dalga boyuna bağlı saçılımını hem de absorpsiyonunu kontrol etme yeteneği, tek bir nano parçacıkta hem tanısal hem de terapötik yetenekler sağlayan nano kabuklar tasarlama fırsatı sunar (Loo et al., 2005).

(X. Yang et al., 2021) yaptıkları çalışmada, yerel olmayan gerinim gradyan modelini kullanarak, hidrostatik basınçlar altında fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerden yapılmış bir mikro kabuğun boyuta bağlı doğrusal olmayan burkulmasını ve burkulma sonrası davranışlarını araştırdı. Bu çalışmada, boyut etkisini modellemek için iki yerel olmayan gerinim gradyanlı ve gerinim güdümlü model ile yerel olmayan bir gerinim gradyan modelinin bir kombinasyonu uygulanmıştır. Ayrıca, yönetici diferansiyel denklemler türetildikten sonra ve sınır tabakası teorisi uygulanarak, hidrostatik basınçlar altında mikro kabuğun kararlılık yollarını elde etmek için pertürbasyon yöntemine dayalı kabuk burkulması ve çözüm prosedürü kullanılmıştır. Gerilme güdümlü modelde boyut parametresini artırmanın etkisinin, kritik hidrostatik basınçta bir azalmaya ve FDM mikro kabuklarının kritik kısılmasına yol açtığı, gerinim gradyan modelinin boyut parametresi için bu artışın ise bir sonuçla sonuçlandığı belirtilmiştir. Bu parametrelerin artması Ayrıca, gerinim gradyanının uzunluk ölçeği parametresinin hidrostatik basınçlar altında mikro kabuğun doğrusal olmayan kararsızlık özellikleri üzerindeki etkisinin gerinim tahrikli modelinkinden biraz daha büyük olduğu sonucuna varılabildiği belirtilmiştir. Bu araştırma ile ilgili en önemli noktalar, gerilim güdümlü modelin kullanılması ve stres güdümlü modelin kullanılmaması olarak belirtilmiş ancak başlıkta stres güdümlü modelin kullanıldığı belirtilmiştir.

(Heidari et al., 2021) yapmış oldukları çalışmada, seramik/metal karışımından yapılmış, bazı karbon-nano tüp takviyeli (CNTRC) yamalarla güçlendirilmiş silindirik mikro/nano kabukların kayma deformasyonu teorisine ve yerel olmayan elastisite teorisine dayalı serbest titreşim analizini incelemiştir. Genişletilmiş karışım kuralı ve güç yasası modeli, sırasıyla

kompozit yamaların ve seramik/metal çekirdeğin etkili özelliklerini bulmak için kullanıldığı belirtilmiştir. Çalışmanın amacı, ekli CNTRC yamalarının özelliklerinin serbest titreşim tepkileri üzerindeki etkisini araştırmak olarak belirlenmiş olup sonuç olarak kompozit yamaların sayısı ve açısı ile hacim oranları gibi bazı önemli parametrelerin ve bazı geometrik parametrelerin serbest titreşim tepkileri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

SONUÇ

Bu çalışmada, nano mekanik yapıların analizinde kullanılan yerel olmayan elastisite uygulamalarına ait çeşitli uygulamalar farklı nano yapılar için sunulmuştur. Nanomekanik ve yerel olmayan esneklik alanındaki çalışmaların listesi çok geniştir, bazıları bu derlemede ele alınmıştır. Çalışmalarına derlemede yer verilemeyen yazarlardan özür dileriz. Eringen'in yerel olmayan elastisite teorisi ile ilgili incelenen çalışmalardan aşağıda listelenen bazı sonuçlar elde edilmiştir.

- Eringen'in yerel olmayan elastisite teorisinin nano çubuklar, nano kirişler, nano plakalar, nano çerçeveler, nano tüpler ve nano kabukların analizinde başarılı şekilde uygulanabilmektedir.
- Klasik olmayan sürekli ortamlar mekaniğindeki mevcut teoriler kapsamlıdır ve dikkate alınan elemanların dönme, deformasyon ve yer değiştirme kombinasyonlarını hesaba katar. Uygun teori, malzeme yapısına ve doğal malzeme özelliklerine göre seçilmelidir.
- Eringen'in yerel olmayan teorisinin, hem boyuna hem de kayma (enine) akustik dalgaları için neredeyse aynı yerel olmayan kalıntıya sahip malzemeler için dağılım eğrilerine uyabileceği ortaya çıktı. Öte yandan, Eringen'in yerel olmayan teorisi, boyuna ve kayma akustiği için farklı yerel olmayan davranışları yansıtan malzemelerin dağılımlarına etkili bir şekilde uyamaz (Shaht & Abdelkefi, 2017).
- Nano ölçekli CNT'lerin boyuta bağlı mekanik özelliklerini yöneten elastik stres yerel olmama ve yerel olmayan gerinim gradyanlarını hesaba katmak için yeni uzunluk ölçekleri tanımlandı. Yaygın yerel olmayan gerinim modelinden farklı olarak, bu yeni model, yerel olmayan gerinim gradyanlarının mevcudiyeti ile çok büyük dalga uzunlukları için rijitlik geliştirme etkisini tahmin etmektedir (Lim et al., 2015).
- Eksenel simetrik halka şeklindeki nano-plakaların boyuta bağlı elastostatik tepkileri, strese dayalı yerel olmayan integral bir elastikiyet metodolojisi ile incelendi. Eksenel simetrik elastik nano-plakalar için önerilen integral modelin, elastik radyal eğrilikleri içeren kurucu sınır

koşullarıyla donatılmış bir diferansiyel yerel olmayan probleme eşdeğer olduğu gösterilmiştir. Nano-plakaların ilgili elastostatik problemi bu nedenle basit bir analitik yaklaşımla kolayca çözülebilir. Çözüm prosedürü, keyfi eksenel simetrik yükleme sistemlerine ve kinematik sınır koşullarına maruz kalan 2B nano yapılara uygulanabildiği gösterildi (Barretta et al., 2019).

Doğrusal olmayan kararsızlık özelliklerinde hem yerel olmayan elastisite hem de gerinim gradyan boyutu elastisite teorisinin, daha düşük malzeme özelliğinde gradyan indeksi değerine sahip mikro kabuklar için biraz daha önemli olduğu bulundu (X. Yang et al., 2021).

KAYNAKÇA

- Alizadeh Hamidi, B., Khosravi, F., Hosseini, S. A., & Hassannejad, R. (2020). Closed form solution for dynamic analysis of rectangular nanorod based on nonlocal strain gradient. *Waves in Random and Complex Media*. <https://doi.org/10.1080/17455030.2020.1843737>
- Barretta, R., Faghidian, S. A., & Marotti de Sciarra, F. (2019). Stress-driven nonlocal integral elasticity for axisymmetric nano-plates. *International Journal of Engineering Science*. <https://doi.org/10.1016/j.ijengsci.2019.01.003>
- Belkorissat, I., Houari, M. S. A., Tounsi, A., Bedia, E. A. A., & Mahmoud, S. R. (2015). On vibration properties of functionally graded nano-plate using a new nonlocal refined four variable model. *Steel and Composite Structures*. <https://doi.org/10.12989/scs.2015.18.4.1063>
- Ceballes, S., & Abdelkefi, A. (2021). Observations on the general nonlocal theory applied to axially loaded nanobeams. *Microsystem Technologies*, 27(3), 739–761. <https://doi.org/10.1007/s00542-020-05010-5>
- Civalek, Ö., Uzun, B., & Yayli, M. Ö. (2022). Torsional vibrations of functionally graded restrained nanotubes. *European Physical Journal Plus*. <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-021-02309-8>
- Civalek, Ö., Uzun, B., Yayli, M. Ö., & Akgöz, B. (2020). Size-dependent transverse and longitudinal vibrations of embedded carbon and silica carbide nanotubes by nonlocal finite element method. *European Physical Journal Plus*. <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-020-00385-w>
- Ebrahimi, F., & Daman, M. (2017). Dynamic characteristics of curved inhomogeneous nonlocal porous beams in thermal environment. *Structural Engineering and Mechanics*. <https://doi.org/10.12989/sem.2017.64.1.121>
- Eltaher, M. A., & Mohamed, N. A. (2020). Vibration of nonlocal perforated nanobeams with general boundary conditions. *Smart Structures and Systems*. <https://doi.org/10.12989/sss.2020.25.4.501>
- Eltaher, M. A., Shanab, R. A., & Mohamed, N. A. (2023). Analytical solution of free vibration of viscoelastic perforated nanobeam. *Archive of Applied Mechanics*, 93(1), 221–243. <https://doi.org/10.1007/s00419-022-02184-4>
- Eringen, A., & Wegner, J. (2003). Nonlocal Continuum Field Theories. *Applied Mechanics Reviews*. <https://doi.org/10.1115/1.1553434>
- Eringen, A. C. (1983). On differential equations of nonlocal elasticity and solutions of screw dislocation and surface waves. *Journal of Applied Physics*. <https://doi.org/10.1063/1.332803>
- Fattahi, A. M., Safaei, B., & Moaddab, E. (2019). The application of nonlocal elasticity to determine vibrational behavior of FG nanoplates. *Steel and*

Composite Structures. <https://doi.org/10.12989/scs.2019.32.2.281>

- Feng, J., Yu, H., Ma, S., Hao, S., & Wu, R. (2022). Axial vibration characteristics of carbon nanotube-based mass sensors containing nanoparticles using nonlocal elasticity theory. In *Physica B: Condensed Matter*. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2022.413804>
- Hao-nan, L., Cheng, L., Ji-ping, S., & Lin-quan, Y. (2021). Vibration Analysis of Rotating Functionally Graded Piezoelectric Nanobeams Based on the Nonlocal Elasticity Theory. *Journal of Vibration Engineering and Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s42417-021-00288-9>
- Harik, V. (2014). Trends in nanoscale mechanics: Mechanics of carbon Nanotubes, Graphene, Nanocomposites and molecular dynamics. In *Trends in Nanoscale Mechanics: Mechanics of Carbon Nanotubes, Graphene, Nanocomposites and Molecular Dynamics*. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9263-9>
- Heidari, Y., Arefi, M., & Irani-Rahaghi, M. (2021). Free vibration analysis of cylindrical Micro/Nano-Shell reinforced with CNTRC patches. *International Journal of Applied Mechanics*. <https://doi.org/10.1142/S175882512150040X>
- Hosseini, S. A., Rahmani, O., & Bayat, S. (2021). Thermal effect on forced vibration analysis of FG nanobeam subjected to moving load by Laplace transform method. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*. <https://doi.org/10.1080/15397734.2021.1943671>
- Ke, C., Espinosa, H. D., & Pugno, N. (2005). Numerical analysis of nanotube based NEMS devices - Part II: Role of finite kinematics, stretching and charge concentrations. *Journal of Applied Mechanics, Transactions ASME*. <https://doi.org/10.1115/1.1985435>
- Ke, C. H., Pugno, N., Peng, B., & Espinosa, H. D. (2005). Experiments and modeling of carbon nanotube-based NEMS devices. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. <https://doi.org/10.1016/j.jmps.2005.01.007>
- Khaniki, H. B. (2018). On vibrations of nanobeam systems. *International Journal of Engineering Science*. <https://doi.org/10.1016/j.ijengsci.2017.12.010>
- Lellep, J., & Lenbaum, A. (2018). Free vibrations of stepped nano-beams. *International Journal of Computational Methods and Experimental Measurements*. <https://doi.org/10.2495/CMEM-V6-N4-716-725>
- Lim, C. W., Zhang, G., & Reddy, J. N. (2015). A higher-order nonlocal elasticity and strain gradient theory and its applications in wave propagation. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*.

- <https://doi.org/10.1016/j.jmps.2015.02.001>
- Limkatanyu, S., Sae-Long, W., Sedighi, H. M., Rungamornrat, J., Sukontasukkul, P., Zhang, H., & Chindaprasirt, P. (2022). Flexibility-based stress-driven nonlocal frame element: formulation and applications. *Engineering with Computers*. <https://doi.org/10.1007/s00366-021-01576-4>
- Loo, C., Lowery, A., Halas, N., West, J., & Drezek, R. (2005). Immunotargeted nanoshells for integrated cancer imaging and therapy. *Nano Letters*. <https://doi.org/10.1021/nl050127s>
- Lu, P. (2007). Dynamic analysis of axially prestressed micro/nanobeam structures based on nonlocal beam theory. *Journal of Applied Physics*. <https://doi.org/10.1063/1.2717140>
- Mindlin, R. D. (1964). Micro-structure in linear elasticity. *Archive for Rational Mechanics and Analysis*. <https://doi.org/10.1007/BF00248490>
- Mindlin, R. D. (1965). Second gradient of strain and surface-tension in linear elasticity. *International Journal of Solids and Structures*. [https://doi.org/10.1016/0020-7683\(65\)90006-5](https://doi.org/10.1016/0020-7683(65)90006-5)
- Mindlin, R. D., & Eshel, N. N. (1968). On first strain-gradient theories in linear elasticity. *International Journal of Solids and Structures*. [https://doi.org/10.1016/0020-7683\(68\)90036-X](https://doi.org/10.1016/0020-7683(68)90036-X)
- Mindlin, R. D., & Tiersten, H. F. (1962). Effects of couple-stresses in linear elasticity. *Archive for Rational Mechanics and Analysis*. <https://doi.org/10.1007/BF00253946>
- Mohammadi, M., Farajpour, A., & Rastgoo, A. (2023). Coriolis effects on the thermo-mechanical vibration analysis of the rotating multilayer piezoelectric nanobeam. *Acta Mechanica*, 234(2), 751–774. <https://doi.org/10.1007/s00707-022-03430-0>
- Numanoğlu, H. M., & Civalek, Ö. (2022). Novel size-dependent finite element formulation for modal analysis of cracked nanorods. *Materials Today Communications*, 31, 103545. <https://doi.org/10.1016/J.MTCOMM.2022.103545>
- Ouakad, H. M., Valipour, A., Kamil Żur, K., Sedighi, H. M., & Reddy, J. N. (2020). On the nonlinear vibration and static deflection problems of actuated hybrid nanotubes based on the stress-driven nonlocal integral elasticity. *Mechanics of Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2020.103532>
- Pham, Q. H., Nguyen, P. C., Tran, T. T., & Nguyen-Thoi, T. (2021). Free vibration analysis of nanoplates with auxetic honeycomb core using a new third-order finite element method and nonlocal elasticity theory. *Engineering with Computers*. <https://doi.org/10.1007/s00366-021-01531-3>

- Pugno, N., Ke, C. H., & Espinosa, H. D. (2005). Analysis of doubly clamped nanotube devices in the finite deformation regime. *Journal of Applied Mechanics, Transactions ASME*. <https://doi.org/10.1115/1.1875452>
- Russillo, A. F., Failla, G., Alotta, G., Marotti de Sciarra, F., & Barretta, R. (2021). On the dynamics of nano-frames. *International Journal of Engineering Science*. <https://doi.org/10.1016/j.ijengsci.2020.103433>
- Shaat, M., & Abdelkefi, A. (2017). New insights on the applicability of Eringen's nonlocal theory. *International Journal of Mechanical Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2016.12.013>
- Shafiei, N., Hamisi, M., & Ghadiri, M. (2020). Vibration analysis of rotary tapered axially functionally graded timoshenko nanobeam in thermal environment. *Journal of Solid Mechanics*. <https://doi.org/10.22034/jsm.2019.563759.1273>
- Shakhlavi, S. J., Hosseini-Hashemi, S., & Nazemnezhad, R. (2022). Thermal stress effects on size-dependent nonlinear axial vibrations of nanorods exposed to magnetic fields surrounded by nonlinear elastic medium. *Journal of Thermal Stresses*. <https://doi.org/10.1080/01495739.2021.2003275>
- Shariati, M., Shishehsaz, M., Sahbafar, H., Pourabdy, M., & Hosseini, M. (2021). A review on stress-driven nonlocal elasticity theory. *Journal of Computational Applied Mechanics*, 52(3), 535–552. <https://doi.org/10.22059/JCAMECH.2021.331410.653>
- Shishesaz, M., Hosseini, M., Naderan Tahan, K., & Hadi, A. (2017). Analysis of functionally graded nanodisks under thermoelastic loading based on the strain gradient theory. *Acta Mechanica*. <https://doi.org/10.1007/s00707-017-1939-8>
- Taati, E., Borjalilou, V., Fallah, and, F., & Ahmadian, M. T. (2022). On size-dependent nonlinear free vibration of carbon nanotube-reinforced beams based on the nonlocal elasticity theory: Perturbation technique. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*. <https://doi.org/10.1080/15397734.2020.1772087>
- Théorie des Corps déformables. (1909). *Nature*. <https://doi.org/10.1038/081067a0>
- Truesdell, C. (1984). Timoshenko's History of Strength of Materials (1953). In *An Idiot's Fugitive Essays on Science*. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-8185-3_30
- Yang, F., Chong, A. C. M., Lam, D. C. C., & Tong, P. (2002). Couple stress based strain gradient theory for elasticity. *International Journal of Solids and Structures*. [https://doi.org/10.1016/S0020-7683\(02\)00152-X](https://doi.org/10.1016/S0020-7683(02)00152-X)

- Yang, X., Sahmani, S., & Safaei, B. (2021). Postbuckling analysis of hydrostatic pressurized FGM microsized shells including strain gradient and stress-driven nonlocal effects. *Engineering with Computers*. <https://doi.org/10.1007/s00366-019-00901-2>
- Zeng, S., Wang, K., Wang, B., & Wu, J. (2020). Vibration analysis of piezoelectric sandwich nanobeam with flexoelectricity based on nonlocal strain gradient theory. *Applied Mathematics and Mechanics*. <https://doi.org/10.1007/s10483-020-2620-8>

8. Bölüm

Covid-19 Sürecinde Endüstriyel Mutfaklarda Hijyen

Zehra YILDIZ¹
Öznur ÖZGEL²

¹ Prof. Dr.: Tarsus Üniversitesi, Müh. Fakültesi, Mühendislik Temel Bilimleri Bölümü,
zyildiz@tarsus.edu.tr ORCID No: 0000-0003-1304-4857

² Gıda Y. Müh.: Tarsus Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği
ORCID No: 0000-0002-1907-5358

ÖZET

Yemek yapılan ya da yemek servisi sunan işyeri mutfaklarında hijyen için gerekli önlemler alınmadığı takdirde önemli sağlık sorunları yaşanabilmektedir. Bu sebeple endüstriyel mutfaklarda kurulumdan itibaren hijyen koşullarına tamamen uyumak çok önemlidir. Hijyenik olmayan mutfak, müşteri kaybı ile beraber ekonomik kayba ve en önemlisi insan sağlığını tehlikeye sokmaktadır. Bu çalışmada mutfak hijyenini etkileyen risk etmenleri ve bu risklerin önlenmesi için alınması gereken önlemler ile endüstriyel mutfaklarda pandemi koşullarında sağlanması gereken hijyen şartları ve alınması gereken önlemler belirlenmiştir. Yiyeceklerin yetersiz pişirilmesi veya ısıtılması, yetersiz pişirilen yemeğin buzdolabı dışında bekletilmesi, çapraz bulaşma, çiğ gıda tüketimi, Covid-19 taşıyıcısının yemek hazırlaması, mutfak alet-ekipmanı ile tezgahların temiz olmaması, ambalajsız ürün kullanımı, temiz olmayan ürünlerin ve suyun kullanılması Covid-19'un bulaşmasına veya yayılmasına sebep olmaktadır. Bu sebepleri ortadan kaldırmak için pandemi dönemine tarımsal üretim, hasat sonrası, işletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında çalışanların sağlık durumuna göre virüslü personelin ev izolasyonu, el hijyeni, yüzeylerin dezenfeksiyonu, çalışma ortamlarının temiz tutulması, yemek hazırlama ile yemek dağıtımında hijyen ve sosyal mesafenin sağlanması gerektiği belirlenmiştir. Pandemi sürecinde besin zincirinin son aşamaları olan gıda dağıtımında ve tüketiminde daha fazla insanla etkileşim olduğundan özellikle gıda güvenlik önlemleri bu aşamalarda daha önemli olmaktadır. Özellikle endüstriyel mutfaklarda pandemi sürecinde, görevli personelin ve mutfaktaki gıdaların hijyeninin daha önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hijyen, Mutfak hijyeni, Pandemi, Covid-19, İş sağlığı ve güvenliği, Gıda güvenliği

Jel Kodu: I19

GİRİŞ

Gerek hazır yemek sektöründe gerekse de yemekhanelerde yer alan endüstriyel mutfaklar gıda ürünlerinin depolandığı, mutfak ekipmanlarının bulunduğu, yemeklerin hazırlandığı, pişirme işleminin yapıldığı, bulaşıkların yıkandığı ve yerleştirildiği işyerlerinin küçük bir bölümünü oluşturmaktadır. İş yükü ve insan yükü fazla olan bu mutfaklarda insan sağlığı ve gıda güvenliğini tehdit eden risklerin olasılığı ile şiddeti fazladır (Çelik, 2015; Parlak, 2020). Mutfak, pişmiş veya çiğ gıda ürünlerinde var olabilecek bakteri, virüs, mantar gibi mikroorganizmalardan dolayı özellikle biyolojik risk etkenlerini içeren bir bölümdür. Mutfakta çalışan personelin hijyeni, mutfakta kullanılan araç-gereçler, tezgahlar, mutfakta kullanılan gıdalar, temizlik bezleri, personel kıyafetleri ve hasta personel risk kaynağıdır. Personel hijyeni ile besin hijyeni için gıda prosesindeki tüm aşamalarda gerekli önlemler alındığında mutfak hijyeni kaynaklı risk etmenleri önlenmiş olur. Mutfak hijyeni için satın almadan mutfağın teknik ve fiziki özelliklerine, gıda ürününün işlenmesinden depolanmasına, personel hijyeninden alet-ekipman hijyenine kadar mutfak ile ilgili her şeyin hijyen kontrolü ve izlenebilirliği sağlanması hem hizmeti veren hem de hizmeti alanın sağlığı açısından çok önemlidir (Özgel ve Yıldız, 2020)..

Mutfak hijyenine uygun üretim profesyonel bir mutfağın en önemli göstergedir (Sert, 2006; Tayar, 2013). Mutfak hijyen sağlanmadığı durumda işletmelerde, gıda zehirlenmeleri yaşanabilir. Amerika, İngiltere ve Hollanda da gıda kaynaklı hastalıkların %70'inden fazlasının yemek veya servis hizmeti sektörlerinde meydana geldiği görülmüştür (Ergül ve Sarı, 2015). Türkiye'de ise zehirlenmelerin %2-21'nin gıda zehirlenmesi olduğu belirlenmiştir (Terzi vd., 2018). Gıda kaynaklı bu tür durumlar hijyenik olmayan gıda üretimi nedeniyle olup, gıda mevzuatı ile insan sağlığı güvence altına alınmıştır. Türkiye'de gıda güvenliği ile ilgili ilk yasa 1930 yılında yayımlanmış 1580 Sayılı Belediye Yasası olup, daha sonra bu yasanın yerine Tarım ve Köy işleri Bakanlığı tarafından 5179 Sayılı Gıdaların Üretimi, Tüketimi ve Denetlenmesine Dair Kanunu çıkarılmıştır. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'nca 2010 tarihinde 5996 Sayılı Kanun çıkarılan yasa ile tarladan sofraya, çiftlikten çatala gıda güvenliği sistemi uygulanmaya başlanmıştır. Türkiye'de, Tehlike Analizleri ve Kritik Kontrol Noktaları (HACCP) gerekliliği 1998 de "Gıdaların Üretimi Tüketimi ve Denetlenmesine Dair Yönetmelik" ile belirtilmiştir. 2002 den itibaren HACCP uygulamaları önce et, süt ve su ürünleri işletmelerinde daha sonra diğer gıda üreten işletmeler de aşamalı olarak uygulamak zorunda kalmıştır (Tanır, 2015). Özellikle günümüzde pandemi sürecinde her alanda hijyen koşullarına uyum gösterme gerekliliği bir zorunluluk olmuştur (Dikmen, 2020). Mutfak hijyeni için insan ve insanın dokunduğu her şeyin hijyen kontrolünün sağlanması, Covid

19'un yayılmasını önlemede çok önemlidir. Mutfaklarda hazırlık aşamasından başlayarak pandemiye uygun şekilde planlama ve uygun üretim yapılmalıdır. Ürün tedariki, yemeklerin depolanması, üretilmesi, paketlenmesi, taşınması ve teslim edilmesi, sağlıklı çalışmayı sağlamanın yanı sıra tüm mutfak personeli için hijyen sağlanmalıdır. Pandemi sürecinde yemek sektörü daha çok telefonla ya da online siparişle hizmete devam etmiştir. Her aşamada hem teslimatları gerçekleştiren çalışanlar hem de teslimatları alan müşteriler gıda güvenlik önlemleri, sosyal mesafe ve hijyen önlemleri sürdürülmesine devam etmiştir. Kişisel hijyen, gıda hijyeni ve iş hijyeni kurallarının uygulanması, gıda zincirinde Covid-19 virüsünün bulaşmasını engellenmek için hayati öneme sahiptir. Bu çalışmada, mutfak hijyenine uygun mutfaklarda bulunması gereken özellikler, mutfak hijyenini etkileyen risk etmenleri ve risklerin minimize edilmesi ya da ortadan kaldırılması için alınacak önlemler ve pandemi sürecinde mutfak hijyen koşulları incelenmiştir.

Mutfak Hijyenini Etkileyen Risk Etmenleri ve Önlemleri

Mutfaklarda görev yapan personel, kullanılan alet-ekipman, gıda, yemek hazırlama, servis ve dağıtım gibi tüm aşamalarda insan sağlığını tehdit eden birçok risk etmeni bulunmaktadır. Mutfak çalışanlarının ve yemek hizmetinden yararlanan kişilerin sağlığını olumsuz etkileyecek durumların önüne geçmek için mutfak hijyen kurallarına tamamen uymak önemlidir (Üzücü, 2015; Çetin ve Şahin, 2017). Mutfak hijyeni, gıda hijyeni ve personel hijyenini içerir. Gıdalar, uygun şekilde temizlenmediği, işlenmediği ve saklanmadığı sürece en önemli risk etmenidir. Gıdalarda biyolojik riskler (bakteri, virüs, küf, mantar vb.), kimyasal riskler (ağır metaller, gıda katkı maddeleri, zirai ilaçlar vb.) ve fiziksel riskler (toz, cam, metal, taş vb.) insan sağlığını tehdit etmektedir. Bakteriler, virüsler, küfler ve parazitler gıda zehirlenmelerine neden olur. Süt ve süt ürünlerinin tüketilmesi insanlarda Brusellozis hastalığına sebep olur. Yumurta kabuğunda bulunabilen *Salmonella* bağırsak enfeksiyonlarına ve *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli* ve *Yersinia enterocolitica* gibi bakteriler ile patojen mikroorganizmalar tifo gibi hastalıklara neden olabilmektedir. Patojen mikroorganizmalar çoğalıp toksin salgılayarak bu gıdaları tüketenlerin sindirim sistemi ile sinir sisteminin bozulmasına ve gıda zehirlenmesine neden olur. Gıda zehirlenmeleri toksin türüne ve miktarına bağlı olarak mide bulantısı, kusma, diyare, yüksek ateş, kramp, gebe kadınlarda düşük, akut böbrek yetmezliği hatta ölüme yol açabilir. Gıda üretimi, muhafazası ve tüketiminde kurallara uyulmadığı takdirde hastalıklara dahası ölümlere neden olabilmektedir. Gıda güvenliği, fiziksel, kimyasal ve biyolojik risklerin ortadan kaldırılması ya da zararın en aza indirilmesi için alınması gerekli önlemlerle sağlanır. Gıda tüketiminden

kaynaklanan hastalıklardan korunmak için gıda satın alımı, hazırlama, pişirme ve depolama süreçlerinde iyi hijyen uygulamalarına tam uyum gereklidir. Mutfak hijyeni, gıdaların muhafaza edildiği, depolandığı, temizlendiği ve hazırlandığı alanlar ve mutfakta çalışan personelin temizliği ile ilgilidir. Mutfak hijyeni sağlıklı beslenme açısından önemlidir ve daha çok gıda hazırlayan kişi ya da kişilerin hijyeni özellikle el hijyeni ile ilgilidir. Mutfaklarda kişisel hijyen, çevre hijyeni, mutfak ekipmanlarının temizliği, tezgah, lavabo gibi yüzeylerin, süngerlerin ve bezlerin temizliği de önemlidir (Ergin ve Güzel, 2018).

Temiz olmayan kapların kullanılması, depoların temiz tutulmaması, kirli su ile gıdaların ve kapların yıkanması, mutfak tezgahları veya ekipmanlarının hijyenik olmaması, kirli temizlik bezleri, sinek ve kemirgen gibi zararlıların gıdalla teması, hasta hayvanlardan sağlanan gıdalar ve kirli eller gıda hijyenini olumsuz etkilemektedir (Akbulut, 2010; Çekal, 2013; Özkaya ve Cömert, 2008). Ayrıca, mutfak çalışanlarının kişisel hijyenlerini sağlaması çok önemlidir çalışanın elleri ve tırnakları mikroorganizmaları vücuda taşıyan en önemli risk etkenidir (Bıyıklı, 2011). Sık ve etkili el yıkama ve kurulama ile mutfaklardaki çapraz kontaminasyonlar engellenebilir (Ergin ve Güzel, 2018).

Mutfaklar, amaca uygun malzeme ve ekipmanlar kullanılarak düzenli aralıklarla sık sık planlı olarak dezenfekte edilmelidir. Mutfak tasarımı, inşaatı ve büyüklüğü iyi planlanmalı, havalandırması iyi yapılmalı, yeterince aydınlatılmalı, tahta yüzey yerine sentetik, mermer veya krom-çelik yüzey tercih edilmeli, duvar ve zeminler aralarında çatlak bulunmayacak şekilde kaygan yüzeylerden veya seramikten yapılmalıdır. Mutfak hijyeni için yıkama, malzeme saklama, üretim, depolama ve personel bölümü gibi teknik özellikler önemlidir. Mutfak havalandırma iyi yapılmalı ve yeterli ışıklandırma olmalıdır. Mutfakta, bulaşık ve sebze-meyve yıkama için iki yıkama bölümü olmalıdır. Mutfak yıkama bölümünde, hazne ve tezgâhlar yeterli sayı ile büyüklükte olmalıdır. Mutfak tezgahları, alet ve ekipmanlar önce uygun deterjanla yıkandıktan sonra bol suyla durulanıp, temiz kuru bir bezle kurulmalıdır. Büyük tencere tava gibi yer kaplayan gereçler ile tabak kaşık gibi daha küçük gereçler aynı yerlerde yıkanmamalıdır. Tabak, kaşık ve bardaklar için endüstriyel bulaşık makineleri tercih edilmelidir. Yıkamada kullanılan suyun temizliğinden emin olunmadığı durumlarda mutlaka su arıtıcı kullanılmalıdır. Suyun belirli aralıklarla gıda ile temasa uygunluk kriterleri açısından test ettirilmesi de riskin önlenmesi açısından önemlidir (Çekal, 2013).

Mutfağın her üretim bölümünde farklı renkte temizlik bezleri tercih edilmeli ve temizlik bezleri makinede yıkandıktan sonra kurutulmalıdır. Yerler deterjanlı ve dezenfektanlı suyla temizlenmelidir. Temizliğin makinelerle yapılmasına özen gösterilmelidir. Mutfaklarda çalışanların göreceği uygun yerlere temizlik

prosedürünü gösteren basit ve anlaşılır posterler asılmalıdır (Çekal, 2013; Budak, 2015).

Mutfak ortamına karton ambalajlar sokulmamalıdır. Mutfakta plastik kasalar kullanılıyorsa her kullanımdan sonra kasalar yıkanmalıdır. Kasalar yerde sürüklenerek taşınmamalıdır.

Besin hijyeni için belirli güvenilir kaynaklardan taze ve temiz gıda ürünleri satın alınmalıdır. Hemen tüketilmeyecek veya tüketimden sonra kalan ürünler uygun koşullarda depolanmalıdır. Mutfakta ürünler gruplandırılıp ayrı bölmelerde temiz ve düzenli bir şekilde depolanmalıdır. Gıdaları sağlıklı bir şekilde muhafaza etmek için uygun ve yeterli sayıda dondurucu ile soğuk oda olması gerekir (Akın ve Gültekin, 2015). Gıda ürünlerinin mal kabulünde ürünler, etiket bilgilerine, son tüketim tarihlerine ve saklanma koşullarına göre sınıflandırılmalıdır. Depolarda sıcaklık ve nem takip edilmelidir. Gıda ve temizlik malzemeleri için kullanılan depolar ayrı ve birbirinden uzak olmalıdır. Et, sebze ve tatlı bölümleri ayrı olmalıdır. Süt ve süt ürünleri, taze sebze-meyve ve kurutulmuş ürünler için depolar ayrı olmalıdır. Gıdalar zeminle ve duvarlarla asla temas etmemelidir. İhtiyaçtan fazla ürünler depolarda tutulmalı, depolar temiz ve düzenli olmalıdır. Sebze-meyve ve dondurulmuş ürünler kasalara konup, raflara yerleştirilerek muhafaza edilmelidir. Etler depolanırken karkaslar birbirine değmeyecek şekilde bütün olarak asılmalı, parça etler üstleri kapalı bir şekilde çelik kaplarda muhafaza edilmelidir. Depolarda haşere ve kemirici zararlılarının oluşumunu engelleyici önlemler alınmalıdır (Köksal vd., 2016). Mutfak girişinde ve üretim alanında sinek tutucular, kapanlar olmalı ve belirli aralıklarla ilaçlanmalıdır.

Üretim bölümünde yemek hazırlama ve pişirme için çelik veya krom malzeme ve ekipmanlar kullanılmalıdır. Ürün hazırlama tezgâhlarının yanında veya yakınında musluk olmalıdır. Üretim bölümü içerisinde dezenfektanlı solüsyonlar belirli uzaklıklarda duvara monte edilmelidir. Üretim bölümünde sadece temizlikten sorumlu bir personel kirli alet ve ekipmanları toplayıp, yıkama alanlarını temizlemelidir. Üretim bittikten sonra üretim alanı, tezgahlar ve ekipmanlar uygun temizlik malzemeleriyle dezenfekte edilmelidir.

Gerekli miktarda yemek hazırlanmalıdır. Yemekler, servis edileceği zamana yakın pişirilmelidir. Yemekler, mümkün olduğunca kısa sürede ve yüksek ısıda pişirilmelidir. Hammaddelerin içerisinde bulunduğu kapların ağzı kapatılarak uygun sıcaklıkta muhafaza edilmelidir. Çiğ ve pişmiş ürünler ayrı yerlerde muhafaza edilmelidir. Pişmiş sıcak yemekler, oda sıcaklığında 4 saatten fazla bekletilmemelidir. Pişmiş yemekler sıcak olarak servis edilecekse, tüketime dek 70°C sıcaklıkta benmari bekletme ünitelerinde tutulmalıdır. Soğuk servis edilecek yemekler ise soğutucularla hızlıca soğutulup, servise kadar

buzdolabında bekletilmelidir (Budak, 2015). Dondurulmuş besinlerin çözüldürme işlemi buzdolabında yapılmalıdır. Mutfaktaki duman ve kokunun giderilmesi için uygun ve yeterli havalandırma sistemi olmalıdır (Akbulut, 2010). Havalandırma sistemleri kolay temizlenebilmeli, periyodik olarak temizliği ve bakımı yapılmalıdır. Mutfak aydınlatması yeterli olmalıdır (Üzücü, 2015).

Ortamda yiyecek ve çöp kalıntısı bırakılmamalıdır. Çöp kovaları pedallı olmalı, kapakları sürekli kapalı tutulmalı ve üretim-depolama alanına uzak olmalıdır. Gıda maddelerinin sevkiyatı ve çöplerin atılması aynı zamanda yapılmamalıdır (Özgel, 2019).

Üretimde görevli personel, temiz ve sadece üretim alanı için özel iş giysileri kullanılmalıdır. Üretim personeli, kişisel hijyenini sağlamalı; el temizliğine ve bone, eldiven kullanımına dikkat etmelidir. Personel bölümünde her personele ait ayrı dolap olmalıdır. Kişisel temizlik ve bakım düzenli yapılmalıdır (Sarioğlan ve Şahin, 2008). Personel tuvaletleri ve lavabolar, çalışan sayısına uygun yeterlilikte olmalıdır. Erkek personel saç sakal bıyık tıraşını düzenli yapmalı veya maske takmalıdır. Tırnaklar, kısa ve temiz olmalıdır. Üretim alanında takı ve toka kullanılmamalıdır. Araç-gereçler, çöp, para ve çiğ besinlere el temasından sonra el hijyeni sağlanmalıdır (Çoşkun, 2015). El yıkama ve kurulama işlemi bulaşma açısından riskli olduğu için kir tutmayan lavabo, sabunluk ve kurutucular kullanılmalı ve kullanımda minimum temas gerektirmelidir. Personel sadece mutfakta giymesi gereken önlük ve uniformaları giymelidir. Mutfak kıyafetleri günlük yıkanmalı, bone, eldiven kullanılmalı ve sık sık yenilenmelidir (Demirel, 2009).

Gıda bulaşmalarının önlenmesi için mutfak personeli ile birlikte sevkiyatta görevli şoförlere kadar yemek dağıtım hizmetinde yer alan tüm personele belirli aralıklarla hijyen eğitimi verilmelidir. Eğitimlerden sonrada personel, mutfak hijyeni uygulamaları konusunda denetlenmeli ve hijyen uygulamaları alışkanlık haline getirilmelidir (Kınacı ve Çetiner, 2013; Kaya ve İlhan, 2018). Yemek firmalarında hijyen ve iş güvenliği ile ilgili uyarı levhaları ve bilgilendirme yazıları personelin göreceği şekilde asılmalıdır (Işık, 2007). Yemek firmalarında, iş yeri hekimi, iş hijyeni uzmanı veya en azından İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) uzmanlarının gıda mühendisleri ile birlikte çalışması personelin sağlığı ve güvenliği açısından önemlidir.

COVID-19 Pandemisine Uygun Mutfak Hijyeni Önlemleri

COVID-19, Çin'in Wuhan kentinde 2019'un sonunda sebebi belli olmayan bir pnömoni salgını olarak ortaya çıkmış ve bir ay içerisinde Çin de daha sonra dünya çapında bir salgına dönüşmüştür. Koronavirüsün gıda ya da gıda ambalajı yoluyla bulaşmadığını fakat hijyen uygulamalarının her türlü hastalıklardan

korunmakta önemli olduğunu bildirmiştir. Koronavirüsünün gıda aracılığıyla veya gıda tüketimi yoluyla bulaştığına dair bir kanıt olmadığını belirtmiştir (Oğur vd., 2020).

Covid-19 salgın hastalığı ile mücadele etme ve kamu sağlığını korumak için 31139 sayılı 29/05/2020 tarihli Mükerrer Resmi Gazete’de “Covid19 Kapsamında Kamu Kurum ve Kuruluşlarında Normalleşme ve Alınacak Tedbirler” konulu 2020/8 sayılı genelge yayınlanarak yürürlüğe sokulmuştur. Kamu ve özel sektör kuruluşları iş yerlerinde uygulanması gereken önlemleri “Covid-19 Salgın Yönetimi ve Çalışma Rehberi” kapsamında almıştır (Sağlık bakanlığı, 2020).

İnsan hayatının devamlılığı için, gıda sektörü ve özellikle yiyecek-içecek sektörü her koşulda devam eden bir sektördür. Gıda güvenliği koronavirüs salgını sürecinde dünyada etkilenen gıda sistemlerinin dört ayağından biridir. Temasın yüksek olduğu restoran, lokanta, kafe pastane, börekçi, tatlıcı ve içerisinde yeme-içme hizmeti sunan işletmelerde Covid-19 salgını önlemek için çeşitli kısıtlama ve tedbirler alınması özellikle sosyal mesafe kuralı bu işletmeleri olumsuz etkilemiştir. COVID-19 salgınının ciddiyeti arttıkça, müşteri talepleri önemli oranda düşmüş hatta durma noktasına gelmiş ve sektörel anlamda ciddi kayıplar yaşanmıştır (Can ve Çolakoğlu, 2021). Salgın başlangıcında iş yeri yemekhaneleri kapatılmış, restoranlarda sadece paket servis sistemlerine izin verilmiştir. ABD'deki restoranların yaklaşık % 60'ı maddi nedenlerle kapanmış, İngiltere'deki küçük çaplı yiyecek içecek işletmelerinin % 43'ü geçici olarak kapatılmış ve personelin % 40'ı işten çıkarılmıştır. Ülkemizde yiyecek içecek sektörü, COVID-19'un başlangıcından itibaren kapanan iş yeri ve çalışan sayısında en fazla düşüşün yaşandığı üçüncü sektör olmuştur (Yeşilyurt ve Kurnaz, 2021).

Covid-19 pandemisinin gıdalar aracılığıyla bulaşmasının sebepleri, yiyeceklerin yetersiz pişirilmesi veya ikinci kez ısıtılan yemeklerin yetersiz ısıtılması, çapraz bulaşma, gıdaların çiğ tüketilmesi, yetersiz pişirilen yemeğin oda sıcaklığında fazla bekletilmesi, Covid-19 taşıyıcısının yemek hazırlaması, mutfak alet-ekipmanı, tezgahının hijyenik olmaması, ambalajsız ürünlerin kullanılması, hijyenik olmayan yerlerden alınan ürünlerin kullanılması ve yemek hazırlamada kullanılan suyun temiz olmamasıdır (Oğur vd., 2020).

Pandemi sırasında gıda sektörü için tarladan sofraya gıda tedarik zincirinin her aşaması için gerekli güvenlik önlemleri yedi madde ana başlıkta tablo 1 de önerilmiştir. Bu önlemler, çalışanların tıbbi durumuna göre virüslü kişinin ev izolasyonu, el hijyeni, yüzeylerin dezenfeksiyonu, iş hijyeni, yemek hazırlama, dağıtım da hijyen ve son olarak sosyal mesafenin sağlanmasıdır (Rizou vd., 2021).

Tablo 1: Pandemi sürecinde gıda sektöründeki güvenlik önlemleri

Sağlıklı Kal	El Hijyeni	Yüzey Dezenfeksiyonu	İş hijyeni	Hazırlık	Dağıtım	Sosyal Mesafe
Hasta isen evde kal Ateş, öksürük, zor nefes alma gibi şikayetlerin varsa doktora başvurun Öksürük en veya hapsiririken ağzınızı kapa	En az 20 sn su ve sabunla sık sık ellerini yıka Yıkanmamış ellerinle gözüne, bununa ve ağzına dokunma %60 alkol içerikli dezenfektan kullan	Uygun ürünler ile (%62-71 etanol) dokunulan yüzey temizle Dezenfektanlar etiketin üzerindeki kullanma talimatına göre kullanılmalı Koruyucu önlemler alınmalı	Tuvaletler, lavaboların dezenfeksiyonu yapılmalı Uzaktan çalışma, esnek çalışma veya kademeli çalışma planlanmalı Kapı, pencere açarak havalandırma sağlanmalı Maske takılmalı	Pişmiş ürünlerden çiğ ürünlerin ayrılması Tüketim öncesi meyve ve sebzelerin yıkanmalı Uygun sıcaklıkta pişirme (>70°C)	Temassız dağıtımı tercih et Sıcaklık kontrolü yap Konteynır temiz ve hijyenik olmalı Maske takılmalı	En az 2 m insanlarla arana mesafe koy Gruplar halinde bulunma Kalabalıktan uzak kal

Öncelikle, en önemli temas ve bulaşma kaynağı olan personelin sağlık kontrolü düzenli yapılmalı ve Covid-19 salgını hakkında eğitim verilmelidir. Personel iki tam doz aktif veya üç doz inaktif aşı olmalı ya da aşı yapılmadığı durumda haftada iki kez covid-19 için PCR testi yaptırmalıdır. Personelin birlikte yaşadığı kişilerin Covid-19 açısından izlenebilirliği için düzenli bilgi alınmalıdır. Ayrıca fiyasyon uygulaması yayılmanın önlenmesi ve korunması adına önemlidir. İşyeri girişlerinde termal kamera bulunmalı ve temassız ateş ölçümü yapılmalıdır. İşçilere maske, eldiven gibi koruyucu donanımların temin edilmeli, ellerin sık sık yıkanması için temizlik ve dezenfeksiyon ürünleri eksiksiz temin edilmeli ve kolay ulaşılabilir olmalıdır. Çalışma vardiyalarında aynı personelin çalıştırılmasına özen gösterilmelidir. Personelin kullandığı soyunma ve dinlenme alanları gibi ortak alanlarda sosyal mesafeye dikkat edilerek düzenlenmeli ve bu

alanların dezenfekte edilmelidir. Dışarıdan gelen kişilerin tesise teması kontrol edilmeli, gerekli önlemler alınmalıdır (Ongan vd., 2020).

Mutfak personeli ve personelin irtibatta buldukları kişilerin sağlık kontrolleri düzenli yapmalı ve kayıt altında tutmalıdır. Gıda sektöründe çalışan personellerin kişisel hijyenine dikkat etmesi bu dönemde zaruridir. Personelin eğitimine özen gösterilmeli görsel, yazılı ve hatta pratik uygulamalara dayalı etkin bilgi aktarımlarında bulunulmalı, konunun ciddiyeti ve önemi belirtilmelidir. Personelin hijyen uygulamalarını yerine getirmesi, işyeri hijyeni ve dezenfeksiyonu işlemlerinin denetimi, kontrolü ve planlaması yapılmalıdır. Gıda kaynaklı hastalıkların %19'u kişisel hijyen yetersizliğinden özellikle el hijyeninin sağlanamamasından kaynaklandığını belirlenmiştir (Demirci ve Ersoy, 2011). Vürüsler, çoğalmak için herhangi bir konakçı insan ya da hayvana gereksinim duyduğu için ambalaj/poşete dokunduktan sonra eller başka yerlere, alet-ekipmanlara özellikle ağız, burun ve göze temas etmemelidir (Oğur vd., 2020). Yemek hazırlanmaya başlanmadan önce eller, en az 20 sn su ve sabunla sık sık yıkamalı ve en az %60 alkol içeren bir dezenfektan kullanılmalıdır (Demirci ve Ersoy, 2011).

SARS-CoV-2'nin suyla ve fekal yolla bulaştığıyla ilgili yeterli bir kanıt henüz olmadığından hem musluk suyu hem de şişe suyuna filtrasyon ve dezenfeksiyon uygulanarak Covid-19 virüs etkisiz hale getirilebilir. Yemek hazırlamada kullanılan alet-ekipman hijyenine dikkat edilmeli, meyve-sebzelerin temiz suyla ya da temizliğinden emin olunmadığında suya uygun miktarda dezenfektan veya doğal sirke eklenerek yeterli sürede yıkanmalı, yemekler yeterli sıcaklık ve sürede pişirilmelidir. Çiğ ürünlerden ve hazırlanan yemeklerden olabilecek bulaşmaları önlenmek için bone, maske, eldiven gibi kişisel koruyucu ekipman kullanılmalıdır. Ürün ambalajlarının dış yüzeyi deterjanlı, mümkünse dezenfektanlı bez ile silinip yerleştirilmeli, buzdolabında ve mutfakta çiğ ve pişmiş ürünler temas etmemelidir. Yemeye hazır gıda ürünlerinden oluşabilecek riski ortadan kaldırmak için yiyecekler en az 72 °C sıcaklıkta pişirilmelidir (Oğur vd., 2020).

Personel yemek sunarken yemeklere temas etmemelidir. Yemek büfe yüzeyleri sık sık temizlenmeli ve dezenfekte edilmelidir. Tuz, şeker, kürdan gibi tek kullanımlık paketlerle verilmeli, çatal-kaşık ve bıçakların servise kağıt cepli paketler şeklinde verilmeli veya tek kullanımlık olmalıdır. Kahve makinaları ve otomatlar tercihen kullanılmamalıdır. Kahve makinaları ve otomatlar sıklıkla temizlenmeli ve dezenfekte edilmelidir. Su sebilleri kaldırılarak kapalı ambalajda su kullanılmalıdır. Bulaşık yıkama donanımı düzgün çalışmalı, uygun çalışma koşullarında ve uygun doz da dezenfekte edici kimyasallar kullanılmalıdır. Mutfak ekipmanlarının bulunduğu ortam kolayca temizlenebilir ve dezenfekte






edilebilir olmalıdır. Üretim, hazırlık, servis ve siparişlerde ortak kullanılan ekipman, makine ve kiosklar gibi cihazların kullanılan düğme, buton ya da ekranları düzenli olarak klorlu ya da %70 alkol içeren dezenfektanlarla temizlenmeli, temizlenemeyecek yüzeylerde streç film gibi koruyucu bir malzeme ile kaplanmalı ve düzenli olarak değiştirilmelidir. COVID-19 boyunca, kritik öneme sahip ekipmanlar listelenip, bu ekipmanların bakım ve onarım sıklıkla yapılmalıdır. Bu ekipmanların kişisel koruyucu donanımların mümkünse yedekleri bulundurulmalıdır. Gıdalar ile doğrudan temas eden makineler, ekipmanlar ve aletler temizlenebilir, dezenfekte edilebilir olmalıdır. Gıdaya uygun, korozyona dirençli ve toksik olmayan malzemedan yapılan makineler, ekipmanlar ve aletler kullanılmalıdır. Makineler, ekipmanlar ve aletler, kendisi ile çevresinin temizliğine imkân verecek şekilde yerleştirilmelidir. Depoların bakım koşulları uygun olmalı, bulaşmalara neden olabilecek hasarlar giderilmelidir. Pişirme ve soğutma cihazlarının kalibrasyonu ve kontrolleri düzenli aralıklarla yapılmalı ve kayıda alınmalıdır. Temiz hava sirkülasyonu için yeterli ve uygun havalandırma sistemi olmalıdır. Yemek hizmeti veren firmaların ayrıca yüklenici firmadan Hijyen, Enfeksiyon Önleme ve Kontrol İçin Eylem Planı istenmelidir. Yemek hizmetinde TS EN ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi belgesi olan kuruluşlar tercih edilmelidir. İlgili tüm alanlar temiz ve düzenli tutulmalıdır. Fiziki mesafe kurallarına uygun olarak yemek salonlarında oturma düzeni tasarlanmalıdır. Kişiler arasında en az 1 m (tercihen 2 m) olacak şekilde oturma düzeni sağlanmalıdır. Masalar, bir sandalyenin arkasından diğer sandalyenin arkasına kadar olan uzaklığın minimum 1 m olmalıdır. Kişiler, minimum 1 m uzaklıktan birbirlerine bakacakları şekilde oturmalıdır. Tercihen her gün aynı masada oturum sağlanmalıdır (Sağlık bakanlığı, 2020).

Pandemi sürecinde gıda sektöründe belirlenen tablo 1 deki yedi güvenlik önlemi, tarımsal üretim, hasat sonrası, işlem, dağıtım ve tüketim olmak üzere beş aşamanın tümünde kritik olarak gereklidir. Gıda dağıtım ve tüketimi besin zincirinin son aşamalarında daha fazla insan (potansiyel enfeksiyon kaynakları) dahil olduğundan bu aşamalarda daha önemlidir (Rizou vd., 2021; Fretas ve Stedefeldt, 2020).

Pandemi sürecinde gıda sektöründe tarladan sofraya kadar olan aşamalarda dikkate edilmesi gereken gıda tedarik zinciri kritik güvenlik önlemleri ise tablo 2 de verilmiştir. Tablo 1 de yedi farklı renkle verilen önlemlere karşılık gelecek şekilde renklendirilerek pandemi sürecinde gıda tedarik aşamalarındaki güvenlik önlemleri tablo 2 de verilmiştir. Gıda sektöründeki ilk aşama olan tarımsal üretimde tarım ürünü ve çiftçi etkileşimde olup, tarlada çalışanların sağlığına virüsü taşıyorsa evde kalmalı, belirtiler varsa doktora başvurmalı, belirtiler yoksa

da öksürük ya da hapşırma sırasında ağzını kapatmalıdır. Hasat sonrası bu önlemlere ilaveten temas yüzeylerinin de dezenfeksiyonu yapılmalıdır. Gıda işleme basamağında iş ortamı da devreye girdiğinden iş hijyenine önem verilmelidir. Gıda ürünlerinin dağıtım aşamasında personel virüs taşıya dahi belirti vermeyebileceği düşünülerek kişisel hijyene dikkat etmeli, el ve yüzey dezenfeksiyonu yapılmalı, kapıya asma gibi temassız dağıtım tercih edilmeli, vücut ısısı kontrol edilmeli, maske takılmalı, dağıtım konteynirlerinin temiz ve hijyenik olduğu garantiye alınmalıdır. Gıda tüketiminde, yukarıda sayılan tüm önlemlere ilaveten çiğ ve pişmiş ürünler ayrı depolanmalı, kesme tahtaları ayrılmalı, meyve ve sebzeler tüketilmeden önce yıkanmalı, 70°C üzerinde pişirme yapılmalı, lokanta veya resturantlarda sosyal mesafe en az 2 m olacak şekilde ayarlanmalı, kalabalık ortamlara girilmemelidir (Rizou vd., 2021).

Tablo 2: Pandemi sürecinde tarladan sofraya gıda tedarik zinciri kritik güvenlik önlemleri

	Tarımsal üretim
	Hasat sonrası
	İşlem
	Dağıtım
	Tüketim

Pandemiden önce de mutfak hijyen koşullarının sağlanması ve tüketiciye zarar (gıda zehirlenmeleri gibi) vermeyecek şekilde ürün sunmak amacıyla süregelen Tarım ve Orman Bakanlığı'nın hijyen uygulamaları mevcuttu. Fakat pandemiyle birlikte hijyen uygulamalarına Sağlık Bakanlığı daha da yoğun hijyen uygulamaları ve denetimleri yapmıştır. Genellikle gıda güvenliği eğitimine dahil olmayan çalışanlar hijyen ve sanitasyon, ilgili ayarlamalar ve güvenli uygulamalar hakkında bilgi edinmiştir. Gerekli davranış değişikliği gerçekleşmiştir.

SONUÇ

COVID-19 pandemisi ile dünyadaki hiçbir ülkenin küresel bir salgına hazır olmadığı görülmüştür. Pandemiye hazırlıksız yakalanmak, önlemleri almakta geç kalınması ve önlemlerin yeterli olmaması sebepleriyle salgının hızı artmış yayılmasının kontrol altına alınması uzun sürmüştür. Birçok insan ölmüş ya da yaşam kalitesi düşmüş olmakla beraber dünya ölçeğinde ekonomik krize sebep olmuştur. Bu nedenlerle mutfak hijyeni pandemiyle birlikte daha da önem kazanarak yeni düzenlemelere ihtiyaç duyulmuştur. Bu süreçte endüstriyel ve işyeri mutfaklarının mevcut hijyen uygulamalarının yasal çerçevede güçlendirip, kurallara uygun planlama ve üretim yapılması sağlanmalıdır. Mutfak hijyeni ile ilgili tüketicilerin güvenilir ve sağlıklı ürünlere ulaşmaları için gerekli yasal düzenlemeler pandemi dönemini de kapsayacak şekilde hazırlanmalı, uygulanmalı ve takip edilmelidir. Ayrıca alınacak önlemler ihtiyaca göre güncellenip, düzenlemelerin uygulanabilmesi için ciddi yaptırımlar ve daha sık denetimler uygulanmalıdır.

REFERANSLAR

- Akbulut, P. (2010). Yalova ilinde faaliyet gösteren hazır yemek üretim yerlerinde çalışan personelin hijyen bilgi düzeyi ile üretilen yemeklerin mikrobiyolojik kalitesi arasındaki ilişkinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ
- Akın, G., Gültekin, T. (2015). Günümüz restoran tasarımında kriterler. 21. Ulusal Ergonomi Kongresi Özel Sayısı, 3:251-258
- Bıyıklı, A. E. (2011). Hastane mutfaklarında çalışan aşçıların gıda güvenliği bilgi ve uygulamalarının belirlenmesi: Konya il merkezi örneği. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya. 2011.
- Budak, İ. (2015). Otel işletmeleri mutfak planlamasına ilişkin sistematik bir süreç analizi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir
- Can Ü., Çolakoğlu, Ü. (2021). Mutfak şeflerinin perspektifinden pandemi süreci ve etkileri. *Turizm Ekonomi ve İşletme Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 45-57.
- Coşkun, S. (2015). Besin Zehirlenmeleri. Bilkent Üniversitesi
- Çekal, N. (2013). Yiyecek ve içecek işletmelerinde mutfak tasarımında dikkat edilmesi gereken faktörler. *NWSA-Social Sciences*, 8(1):62-66.
- Çelik, D. (2015). İş Hijyeni. ATA-AOF e-PDF
- Çetin, S.A., Şahin, B. (2017). Gıda güvenliğinde risk faktörleri ve hijyenin önemi. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 5(2):310-321
- Demirci, A., Ersoy, A.F. (2011). Gıda reyonunda çalışan personelin kişisel hijyen kurallarına dikkat etme durumları. *Vocational Education*, 62:66-74.
- Demirel, S. (2009). Hazır yemek üretimi yapan işletmelerde çalışanların hijyen bilgi düzeylerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ
- Dikmen, A. U., Kına, M. H., Özkan, S., İlhan, M. N. (2020). COVID-19 Epidemiyolojisi: pandemiden ne öğrendik, *J Biotechnol and Strategic Health Res.*, 1:29-36
- Ergin, S. Ö., Güzel, A. (2018). Kadınların gıda ve mutfak hijyeni ile ilgili bilgi, tutum ve davranışlarının değerlendirilmesi". *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 7(3), 11-22.
- Ergül, Ş., Sarı, H. (2015). Tüketime sunulan çeşitli hazır yemek ürünlerinin mikrobiyolojik kalitesinin belirlenmesi, *Türk Hijyen Derneği Biyoloji Dergisi*, 72:3, 199-208
- Freitas, R.S.G., Stedefeldt E. (2020). COVID-19 pandemic underlines the need to build resilience in commercial restaurants' food safety, *Food Research International*, 136:109472.

- Işık, N. (2007). Muğla'daki birinci sınıf tatil köylerinde çalışan mutfak personelinin aldıkları hizmet içi eğitimi ve mutfak hijyen durumunun değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya
- Kaya, S. Y., İlhan, S., (2018). Toplu yemek, hazır yemek sektöründe yaşanan problemler ve çözüm önerileri, Güncel Turizm Araştırma Dergisi, 2(1): 553-581
- Kınacı, B., Çetiner, H. (2013). Gaziantep'te dört ve beş yıldızlı otellerin restoranlarında çalışan personelin kişisel hijyen uygulamaları üzerine bir alan araştırması. Journal of Tourism and Gastronomy Studies
- Köksal, Ş., Soysal, A., Ergör, G., Kaner, G. (2016). İzmir'de sağlık kurumlarına yemek üretim ve dağıtım hizmeti veren bir firmada çalışanların gıda hijyeni ile ilgili bilgi ve davranışları. Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, 73(2)139
- Oğur, S., Hayta, Ş., & Durmaz Bekmezci, H. (2020). Covid-19 salgını sürecinde gıda güvenliği riskleri ve önlemleri. İçinde: KA Koçak (Edt.), Covid-19 küresel salgının siyasi, sosyal ve ekonomik yansımaları, 91-100.
- Ongan, D., Bozdağ, N.S., Ayer, Ç. (2020). COVID-19 salgını sürecinde besin tedariki ve güvencesizliği, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 52: 215-220
- Özgel, Ö. (2019). Mersin ilinde bulunan hazır yemek firmalarının mutfak hijyeni koşullarının değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin
- Özgel, Ö., Yıldız, Z. (2020). Mersinde bulunan hazır yemek firmalarının mutfak hijyeni koşullarının değerlendirilmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 19:778-785.
- Özkaya, D. F, Cömert, M. (2008). Gıda zehirlenmelerinde etken faktörler. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 65: 3, 149-158. 2008.
- Parlak, T. (2020). Gıda ürünleri üretiminde hijyen kavramına farklı bir bakış. Ohs Academy 32:73-101
- Rizou, M., Ioannis, M., Galanakis, Turki, M.S., Aldawoud, Charis, M., Galanakis (2021) Safety of foods, food supply chain and environment within the COVID-19 pandemic, Trends in Food Science & Technology, 102:293–299
- Sağlık Bakanlığı (2020). COVID-19 salgın yönetimi ve çalışma rehberi
- Sarioğlan, M., Şahin, S. (2008). Turistik amaçlı endüstriyel mutfaklarda tehlike analizi ve kritik kontrol noktaları, HACCP yönetim sistemlerinin önemine ilişkin kavramsal bir inceleme, Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Dergisi, 1:70-86

- Sert, T. Ş. (2006). Edirne il merkezindeki hastanelerde mutfak personel hijyeninin belirlenmesi üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne
- Tanır, F. (2015). Çukurova Üniversitesi Gıda Çalışanları Hijyen Rehberi. ÇİSAM
- Tayar, M. (2013). Sağlıklı mutfak ilkeleri, Uluslararası 2. Helal ve Sağlıklı Gıda Kongresi, Konya
- Terzı, Ö., Özdemir, Ş., Selçuk, M. Y. (2018) Bir hastane yemekhanesinde yaşanan gıda zehirlenmesinin incelenmesi, Turk Hij Den Biyol Derg, 752: 277 - 286
- Üzücü, A. (2015). Toplu beslenme hizmeti veren kurumlarda besin ve personel hijyeni bilgi düzeyi ve davranışları üzerine bir araştırma, Kayseri il örneği. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya
- Yeşilyurt, B., Kurnaz, A. (2021). Koronavirüs (Covid-19) Pandemi Sürecinde Restoran Sektöründe Yeni Bir Uygulama: Bulut Mutfaklar, Turizm Ve Araştırma Dergisi, 10:2

9. Bölüm

Erzurum İli Tarihi Muratpaşa Cami'sinin Sismik Değerlendirmesi

Suat Gökhan ÖZKAYA¹
Muhammed Alperen ÖZDEMİR²

1 Dr. Öğr. Üyesi; Ardahan Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu İnşaat Teknolojileri Bölümü.
suatgokhanozkaya@ardahan.edu.tr ORCID No: 0000-0002-7540-1250

2 2Dr. Öğr. Üyesi; Iğdır Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü
m.alperen.ozdemir@igdir.edu.tr ORCID No:

ÖZET

Türkiye'nin Kahramanmaraş ilinde 6 Şubat 2023 tarihinde yerel saate göre 04.17 ve 13.24 saatlerinde depremler meydana gelmiştir. Ne yazık ki on binlerce insanımız vefat etmiştir. Meydana gelen depremlerde Kahramanmaraş ve çevresinde bulunan birçok il etkilenmiştir. Depremin şiddeti çevre illerde giderek azalmakla birlikte, büyük bir alanda hissedilmiştir. Bu illerden birisi de Kahramanmaraş'ın kuzeydoğusunda yer alan Erzurum ilidir. Doğu Anadolu fay hattı üzerinde yer alan Erzurum ilinde de yaşanan depremler hissedilmiş olup, yapılarda herhangi bir hasar veya yıkım olmamış ve can kaybı da yaşanmamıştır. Depremin şiddetli hissedildiği illerde binlerce yapı hasar almış ya da tamamen yıkılmıştır. Hasar alan ya da yıkılan yapılardan bazıları da ibadethane olarak kullanılmaya devam eden tarihi yığma camilerdir. Tarihi açıdan önemli bir yere sahip olan camiler duvar, kubbe, minare ve taşıyıcı sütunlardan oluşmaktadır. Deprem bölgesinde yer alan camilerdeki hasar tipleri genel olarak kubbe göçmesi, taşıyıcı duvarların hasar alması ve minarelerde meydana gelen hasarlar şeklindedir. Bu çalışmada Türkiye'nin doğusunda bulunan birçok medeniyete ev sahipliği yapmış Erzurum ilinde yer alan tarihi Murat Paşa Camii ele alınmıştır. Sonlu elemanlar programıyla modellenen Murat Paşa camisinin Maraş-Pazarcık EQ-MW 7.7 NS depremi etkisi altındaki davranışları değerlendirilmiştir.

Keywords: Deprem, Yığma, Cami, ANSYS

GİRİŞ

Tarih boyunca medeniyetlerin en önemli simgelerini oluşturan öğelerin başında yığma yapılar gelmektedir. Toplumların mimari, mühendislik gibi alanlardaki gelişimlerini gösteren en önemli unsurlar yığma yapılarıdır. Yığma yapıların oluşumu incelendiğinde inşasında kullanılan taş, kerpiç, ahşap gibi malzemelerin yakın yerlerden temin edilmesi toplumların mühendislik ve mimari alanlarda ki becerilerini yansıtmaktadır. Yapılan yığma yapılar toplumların amaç ve ihtiyaçlarını karşılamak için inşa edilmiştir. Bir toplumun zenginliğini ve gücünü gösterebilmesi için görkemli yapılar inşa etmişlerdir. Mısırdaki Piramitler buna örnek olarak gösterilebilir. Toplumunu oluşturan bireylerin dini hassasiyetlerinin karşılanabilmesi için ise cami, kilise, tapınak gibi yapılar inşa edilmiştir. Türk toplumunun ise dini simgesini oluşturan camiler, Türkiye de yaşayan medeniyetlerin özelliklerinin geçmişten günümüze kadar gelebilmesine yardımcı olmuştur. Geçmişten günümüze kadar ayakta kalmayı başarabilen camilerin deprem gibi doğal afetlerin dinamik etkileri altındaki davranışlarının ve performanslarının belirlenmesi gerekmektedir.

Türkiye konum olarak deprem bölgesindedir. 6 Şubat 2023 tarihinde Türkiye'nin Kahramanmaraş ilinde yerel saate göre 04.17'de Pazarcık merkezli 7,7 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Diğer ülkelerden de hissedilen deprem 4. Seviye bir deprem olarak kayıtlara geçmiştir. 1939'da meydana gelen Erzincan depreminden sonra Türkiye'de meydana gelen en büyük depremdir. İlk depremin ardından birçok artçı depremler meydana gelmiştir. 6 Şubat yerel saate göre 13.24'te Maraş Elbistan merkezli 7,6 büyüklüğünde ikinci bir deprem daha meydana gelmiştir. Yaşanan depremlerde on binlerce insanımız hayatını kaybetmiştir. Yüz binlerce yapı ise ya ağır hasar almış ya da yıkılmıştır. Depremin etkilediği illerde çok sayıda yığma yapı hasar almış ya da yıkılmıştır. Yığma yapılara örnek olarak günümüze kadar ulaşmış ve ibadethane olarak kullanılmaya devam eden camiler de deprem ağır hasar almış ya da yıkılmıştır. Depremlerde hem Maraş ilinde hem de depremden etkilenen diğer illerde hasar alan ya da yıkılan camiler Şekil 1'de verilmiştir.



Malatya ili Yeni camii



Hatay ili Habibi Neccar Camii



Kahramanmaraş ili Şeyh Camii





Kahramanmaraş ili Ulu Camii



Adyaman ili Ulu Camii



Gaziantep ili Şirvani Camii



Gaziantep ili Karagöz Camii



Gaziantep ili Kurtuluş Camii



Kahramanmaraş ili Çarşı Atık Camii

Şekil 1: Maraş Depreminden Etkilenen Tarihi Yığma Cami Örnekleri

Depremler konum olarak Anadolu, Afrika ve Arabistan levhaları arasında meydana gelmiştir. Bu depremden etkilenen şehirler arasında Türkiye'nin doğusunda yer alan Erzurum ili de bulunmaktadır. Erzurum ili Doğu Anadolu fay hattı üzerinde yer almaktadır. Birçok medeniyete ev sahipliği yapmış olmasından dolayı pek çok tarihi yapı bulunmaktadır. Bu çalışma ile bu tarihi yapılardan biri olan Muratpaşa Camisinin deprem performansı incelenmiştir.

LİTERATÜR TARAMASI

Yığma yapıların deprem davranışlarının belirlenmesine yönelik pek çok çalışma yapılmıştır. Koseoglu G.C. ve Canbay E. (2015) ele aldıkları çalışmada tarihi Cenabı Ahmet Paşa camisini çalışmışlardır. Oluşturdukları sonlu eleman modeli ile yapının çevresel yükler altındaki davranışlarını belirlemeye çalışmışlardır. Oluşan çatlakların sebeplerinin belirlenmesi ve onarım için birtakım öneriler sunulmuştur. Cakir F. (2021) çalışmasında tarihi Kaya Çelebi Cami ele alınmıştır. Çalışma kapsamında önerilen basitleştirilmiş yöntem ile caminin 2011 yılında meydana gelen Van depremindeki performansı belirlenmeye çalışılmıştır. Kazaz, I., ve Kocaman, I. (2018) çalışmalarında Erzurum Lala Paşa Cami'nin statik ve dinamik yükler altındaki davranışlarını incelemişlerdir. 1992 Erzincan deprem kaydı kullanılarak elde ettikleri yanal yük taşıma kapasitesinin tahmin edilmesinde deprem yönetmeliği ve literatürde önerilen yöntemlerin yeterliliği irdelenmiştir. Seker, B. S. (2017) çalışmasında Alaca Minare Mescidinin üç boyutlu elemanlarla oluşturduğu model ile deprem performansını incelemiştir. Hasara uğraması muhtemel bölgelerin uygun teknikler ile yenilenmesinin gerektiğini önermiştir. Usta, P. ve Bozdağ, O. (2021) çalışmalarında, tarihi Basdurak Camisi'nin deprem performansını, üç boyutlu oluşturdukları model ile zaman tanım alanında gerçekleştirdiği dinamik analizler ile belirlemeye çalışmışlardır. Kocaman, I. ve Kazaz, I. (2024) çalışmalarında, Konya Karapınar Sultan Selim Caminin deprem performansını, üç boyutlu oluşturduğu model ile zaman tanım alanında gerçekleştirdiği dinamik analizler ile belirlemeye çalışmışlardır. Farklı deprem kaydı kullanılarak gerçekleştirilen analizlerden elde ettikleri deplasman değerleri ile, deplasmana dayalı performans limit değerleri belirlenip literatür ile karşılaştırılmıştır. Calık I., Bayraktar A., Turker T., Karadeniz H., (2014) ise Trabzon ilinde bulunan Küçük Fatih Cami'nin hasar almış ve sonrasında restore edilen tonozunun dinamik karakteristiklerini belirlemeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Tonozon dinamik karakteristikleri çevresel titreşim testleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Turk, A. M. (2019) çalışmasında İstanbul'da yer alan tarihi bir caminin minaresinin deprem performansını incelemiştir. Karakus, F. (2021) ise Ankara'da bulunan Cenabı Ahmet Paşa Türbesi'nin olası bir deprem senaryosundaki yapısal

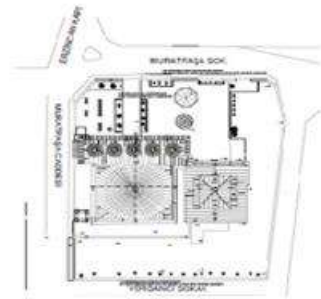
davranışının belirlenmesi ve depreme karşı dayanımının sonlu elemanlar yöntemini kullanarak belirlenmesine yönelik bir çalışma yapmıştır. Aslan, A., & Sahin, A. (2016) çalışmalarında Mimar Sinan tarafından yapılan tarihi Süleymaniye Camisinin deprem performansını oluşturdukları 3 boyutlu yapısal modeli ile farklı deprem etkileri kullanarak incelemiştir. Son olarak ise Mutlu, Ö. ve Sahin, A. (2016) çalışmalarında Bursa Ulu Caminin doğu minaresini sonlu elemanlar modeli kullanarak deprem performansını incelemiştir.

MATERYAL VE METOD

Erzurum Murat Paşa Camisi

Murat Paşa Camisi Erzurum şehir merkezinde, Murat Paşa mahallesinde yer almaktadır. Caminin yapım kitabesi mevcuttur. Yapı Osmanlılar tarafından yaptırılmış olup Vakıflar Genel Müdürlüğü'nün himayesindedir. Kitabeden yapının Osmanlı hükümdarlarından II. Selim'in saltanatında olduğu dönemlerde, Kuyucu Murat Paşa tarafından 981/1573 yılında yaptırılmış olduğu anlaşılmaktadır. Erzurum'da ki Osmanlı dönemine ait camilerin genel özellikleri tek kubbeli dikdörtgen bir hacim, üç veya beş kubbeli son cemaat yerinden meydana gelmektedir. Murat Paşa camisi de benzer özellikleri taşımakla birlikte diğer Osmanlı yapısı olan Erzurum Lala Paşa Camisi'nde olduğu gibi beş kubbeli son cemaat yeri ve ana kubbenin örtüldüğü kare bir plana sahiptir. (Aydın (2014)). Caminin ibadet mekânında, köşelerde tromplara oturan 6 sütunun taşıdığı merkezi ana kubbe örtmektedir. Son cemaat bölümünde ise kemerleri ayakta tutan 6 adet yuvarlak sütun mevcuttur. Kubbe kasağında ise 12 adet pencere boşluğu yer almaktadır.

Cami ve minare düzgün kesme taşlardan inşa edilmiştir. Doğu ve batı cephelerinde sivri kemer alınlıklı camlar olup iki cephede de pencerelerin üzerinde birer tane yuvarlak pencere mevcuttur. Güney cephede üst tarafta iki adet yuvarlak pencere olup kuzey cephede ise sivri altta sivri kemerli iki adet pencere bulunmaktadır.



Şekil 2: Muratpaşa Cami Görünüş ve Lokasyonu

Erzurum bölgesinde tarihi süreç içerisinde farklı dönemlerde yapılan yığma yapılar yapıldığı dönem itibarıyla benzer malzeme, yapım tekniği ve işçilik göstermektedirler. Bu tarihi binalar için malzeme seçimi büyük ölçüde yerel kaynaklara bağlıydı. Bu nedenle kumtaşı, kireçtaşı, bazalt ve tuğla bol miktarda tedarik edilmeleri, dayanıklılıkları ve kolay işlenebilmeleri nedeniyle yaygın olarak kullanılıyordu. Yığma yapıların yapısal davranışını anlamak bu yapılarda kullanılan yapım tekniği ve malzemeler hakkında bilgi sahibi olmayı gerektirmektedir. Erzurum Rölöve ve Anıtlar Dairesi Başkanlığı ve Erzurum Vakıflar Bölge Müdürlüğünde çalışma konusu olan tarihi eserde kullanılan yapı malzemelerinin mühendislik özelliklerine ait herhangi bir veriye ulaşılmamıştır. Tarihi eser özelliği gösteren ve bu çalışmaya konu olan Murat Paşa Camiinden örnekler alınarak yapı malzemelerinin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi mevcut durumda mümkün olmamaktadır. Erzurum Lala Paşa Camisinin Çakır vd. (2014) tarafından deneysel ve sonlu elemanlar analizi yöntemleri kullanılarak sismik değerlendirmesini yaptığı çalışmada kullandıkları malzeme özellikleri; yakın tarihlerde inşa edilmesi, benzer yapım teknikleri ve malzemeler kullanılması nedeniyle bu çalışmaya konu olan Erzurum Murat Paşa Camisinin sismik değerlendirilmesinde de kullanılmıştır. Malzeme değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Malzeme Özellikleri

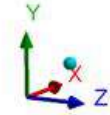
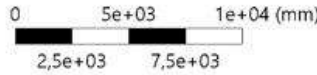
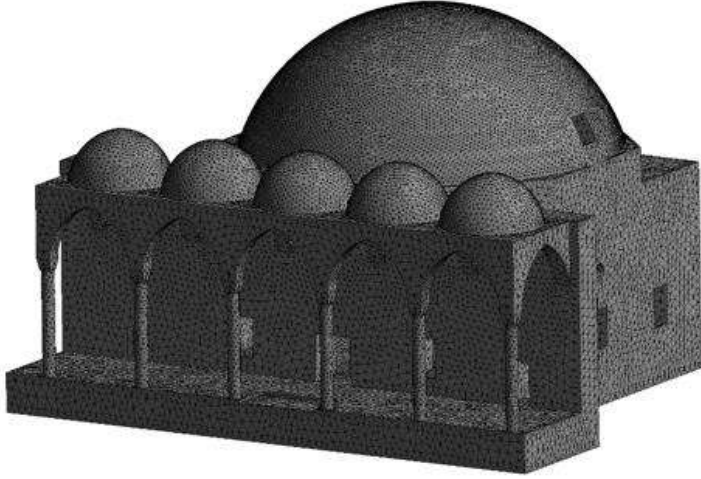
Yapı Bileşenleri	Elastisite Modülü (N/mm ²)	Poisson Oranı	Ortalama Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Ortalama Çekme Dayanımı (N/mm ²)
Duvarlar, Fil Ayakları, Kemerler	10.18E+9	0.17	50.92	7.55
Kubbeler	3.49E+9	0.15	17.49	2.69

Sonlu Eleman Modeli ve Analiz

Sayısal Model

Geleneksel mühendislik yöntemleri kullanılarak tarihi yapıların sismik davranışının belirlenmesi, her biri farklı özelliklerde olan yapı elemanları ve malzemelere sahip karmaşık bileşimi nedeniyle zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Sonuç olarak, yığma yapıların sismik davranışını değerlendirmek için sonlu eleman analizleri (FEA) tercih edilen bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Son zamanlarda, sonlu elemanlar yöntemi, tarihi yapıların statik ve dinamik davranışını tahmin etme aracı olarak önemli bir popülerlik kazanmıştır. Bu çalışma kapsamında, bir camiyi analiz etmek için üç boyutlu sonlu elemanlar modeli geliştirilmiştir. 20 düğümlü ve her düğüm noktasında üç serbestlik

derecesine sahip SOLID186 elemanı kullanılarak oluşturulan model ANSYS Workbench sonlu elemanlar analizi programı kullanılarak analiz edilmiştir. Oluşturulan üç boyutlu model, 66124 düğüm ve 37785 elemandan oluşmaktadır (Şekil 3). Sayısal modelin amaçları doğrultusunda, caminin ana yapısından bağımsız olduğu düşünüldüğünden minare oluşturulan modele eklenmemiştir.



Şekil 3: Sayısal Model

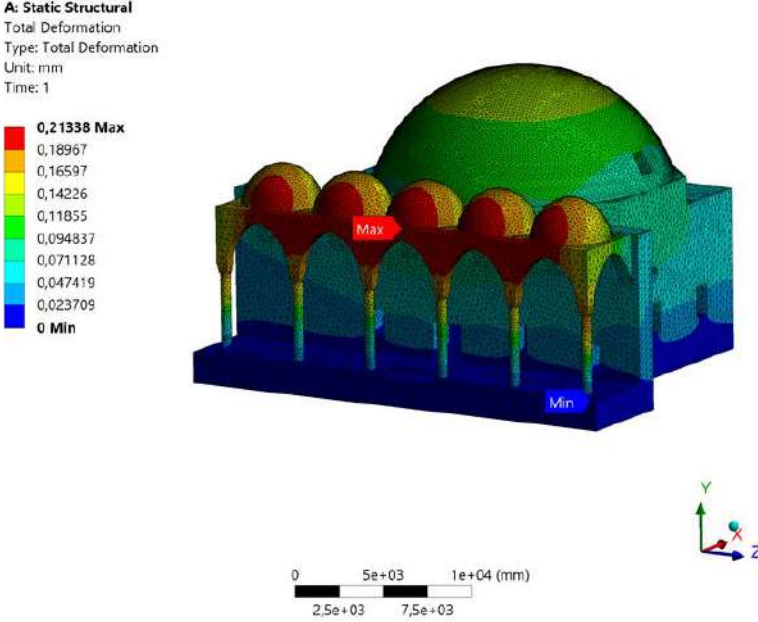
Oluşturulan sayısal model üzerinde statik ve dinamik analizler yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Statik Analiz

Erzurum Murat Paşa Camii'nin kendi ağırlığı dikkate alınarak yapılan statik analizi bazı bulguları ortaya koymaktadır. Maksimum yer değiştirme düşey yönde, özellikle caminin son cemaat kısmında 0,21 mm ölçülerinde gözlenmektedir (Şekil 4).

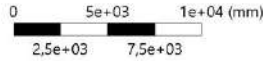
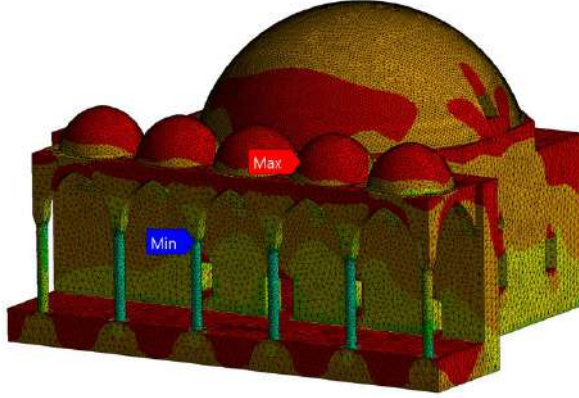
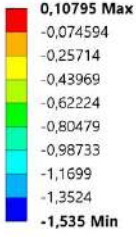
Caminin yapısal sistemindeki asal gerilmelerin incelenmesi, bazı önemli gözlemlerin altını çizmektedir. Maksimum Çekme ve basınç gerilmelerinin

maksimum ve minimum değerlerinin gene son cemaat kısmını oluşturan bölümündeki kubbe ve sütunlarda yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 5 ve 6). Yapının tamamı göz önüne alındığında statik analizler sonucu elde edilen gerilmelerin düzenli bir dağılım göstermediği özellikle son cemaat kısmındaki kubbelerde yoğunlaştığı görülmektedir.



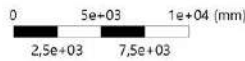
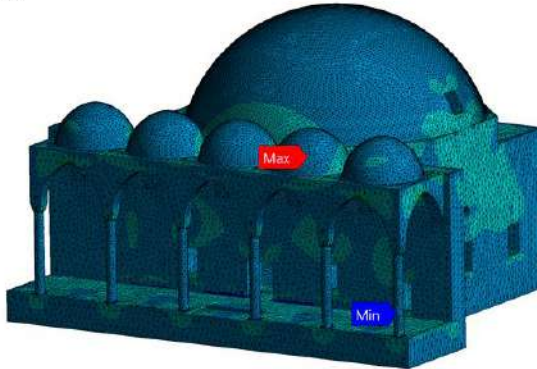
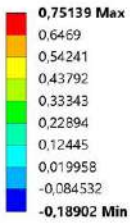
Şekil 4: Düşey Deplasmanlar

A: Static Structural
Minimum Principal Stress
Type: Minimum Principal Stress
Unit: MPa
Time: 1



Şekil 5: Maksimum Basınç Gerilmeleri

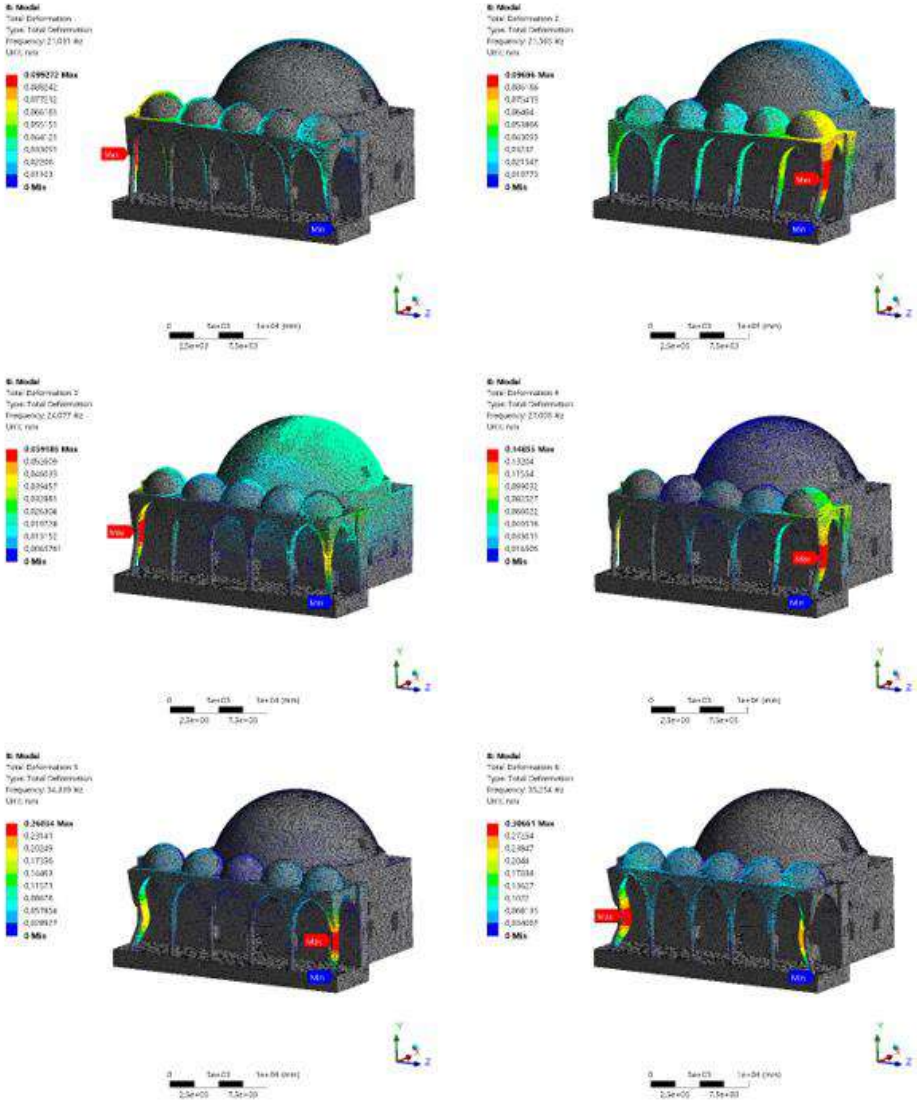
A: Static Structural
Maximum Principal Stress
Type: Maximum Principal Stress
Unit: MPa
Time: 1



Şekil 6: Maksimum Çekme Gerilmeleri

Modal Analiz

Murat Paşa Camii'nin dinamik analizinde mod şekilleri ve mod titreşim periyotları belirlenmiştir. Yapının modal analizi, farklı titreşim modlarının kombinasyonunu içermektedir. Analiz 30 modda yapılmıştır ve hâkim ilk 6 mod göz önüne alınmıştır. İlk 6 moda ait deformasyonlar Şekil 7'de verilmiştir.

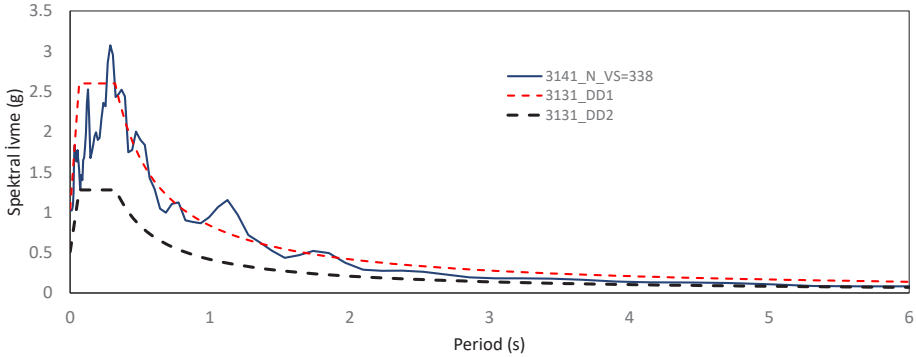


Şekil 7: İlk 6 Moda Ait Deformasyon Şekilleri

Mod Birleştirme Yöntemiyle Deprem Analizi

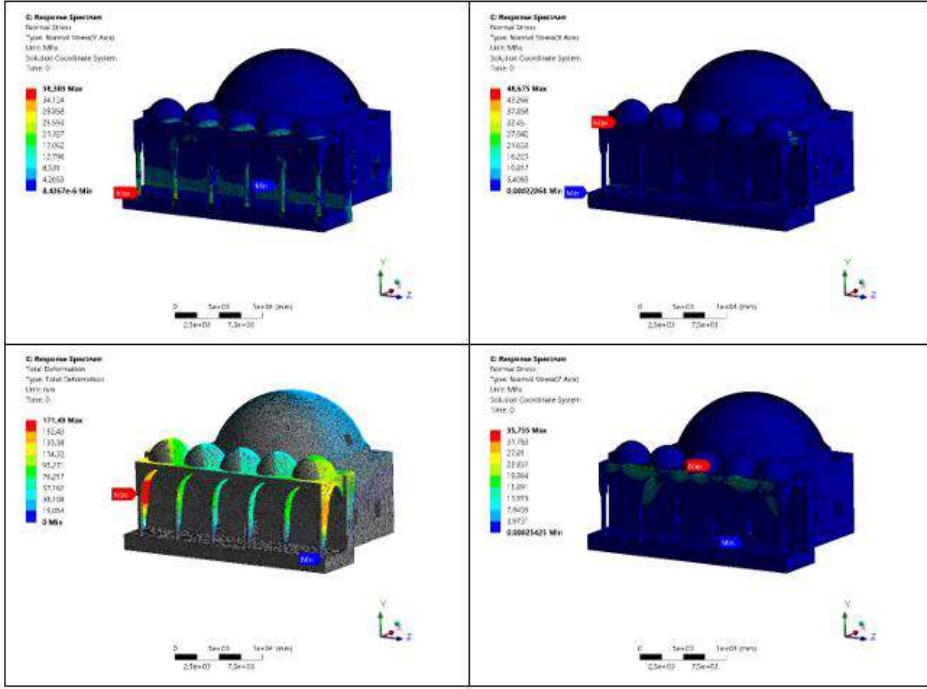
Yığma yapılar, depremlere ve ardından gelen sismik etkilere karşı diğer yapılara göre daha hassastır ve çoğu zaman depremden sonra taşıyıcı elemanların yük taşıma kapasitelerini kaybetmelerinden dolayı yapının tamamında veya bir kısmında çökmeler meydana gelmektedir. Sonuç olarak, aktif deprem bölgelerinde yer alan yığma yapıların depreme dayanıklılığının değerlendirilmesi hem meydana gelebilecek depremden önce hem de hemen sonrasında zorunlu hale gelmektedir. Erzurum Murat Paşa Camii'nin deprem performansını belirlemek için Türkiye Kahramanmaraş ili Pazarcık ilçesinde 06.02.2023 tarihinde meydana gelen 7.7 MW büyüklüğündeki depremin N-S yönündeki ivme kaydı kullanılarak oluşturulan tasarım spektrumu ile tekrar analiz yapılmıştır. Kullanılan tasarım spektrumu ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY 2018) ön görülen DD1 ve DD2 ivme spektrumları Şekil 8'de görülmektedir.

06.02.2023 Pazarcık/Maraş EQ-MW 7.7, NS
(Spectral İvme - Elastik Dizayn Spektrumu)



Şekil 8: Spektral İvme Kayıtları

Analiz sonucu X, Y ve Z eksenlerinde elde edilen normal gerilme dağılımları ve toplam deplasman miktarları Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9: Normal Gerilme Dağılımları ve Toplam Deplasmanlar

Sonuç

Muratpaşa Cami özelinde gerçekleştirilen değerlendirmelerde, sonlu elemanlar metodu kullanılarak caminin deprem etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda Erzurum Murat Paşa Camii'nin Pazarcık depremine benzer bir depreme maruz kalması sonucunda son cemaat bölgesinde taşıyıcı sütunları ve kubbelerinde ağır hasar meydana geleceği hesaplanarak anlaşılmıştır.

Sonuç olarak, Kahramanmaraş ve çevresinde meydana gelen depremler mal ve can kaybına neden olmuştur. Kahramanmaraş ve depremin etkilediği illerde pek çok yığma yapı ağır hasar almış ya da yıkılmıştır. Geçmişten günümüze ulaşan tarihi yapıların korunması ve gelecek nesillere aktarılması, tarihimizin yaşatılması açısından oldukça önemlidir. Bu büyüklükte bir depremin Doğu Anadolu bölgesinde olma ihtimalide oldukça yüksektir. Gelecekte yapılacak projeler için, mevcut yapılar ve tarihi binalar için yapılacak olan güçlendirme projelerine deprem dayanımı açısından öncelik verilmesi gerekmektedir.

REFERANSLAR

- Koseoglu G.C. & Canbay E., Assessment and rehabilitation of the damaged historic Cenabı Ahmet Pasha Mosque, *Engineering Failure Analysis*, 57, 389-398, 2015.
- Cakır, F. (2021). Tarihi yapıların deprem performansının belirlenmesi için basitleştirilmiş bir yöntem: Kaya Çelebi Cami örneği. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(3), 1643-1656.
- Kazaz, I., & Kocaman, I. (2018). Taş yığma camilerin sismik yük kapasitelerinin değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(2), 557-574.
- Seker, B. S. (2017). Alaca Minare Mescidi Yapısal Performansının İncelenmesi. *Vakıflar Dergisi*, (48), 137-143.
- Usta, P., & Bozdağ, Ö. (2021). Tarihi Başdurak camisinin deprem analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(3), 244-250.
- Kocaman, I., & Kazaz, I. 2024. Tarihi bir caminin hasar sınırlarının irdelenmesi, Konya Sultan Selim Cami örneği. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 39(1), 51-64.
- Calık I., Bayraktar A., Turker T., Karadeniz H., (2014). Structural dynamic identification of a damaged and restored masonry vault using Ambient Vibrations, *Measurement*, Volume 55, Pages 462-472.
- Turk, A. M. (2019). Assessment of seismic behaviour and safety of a masonry heritage. *ICONARP International Journal of Architecture and Planning*, 7(2), 592-607.
- Karakus, F. (2021). Analysis of Historical Structures with Finite Elements Method. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), 22-35.
- Aslan, A., & Sahin, A. (2016). Seismic Behaviour Evaluation of Suleymaniye Mosque Under Different Earthquake Records. *Disaster Science and Engineering*, 2(2), 67-75.
- Mutlu, Ö., & Şahin, A. (2016). Investigating the effect of modeling approaches on earthquake behavior of historical masonry minarets-Bursa Grand Mosque case study. *Sigma*, 7(2), 123-136.
- ANSYS, Finite Element Analysis, 2019.

10. Bölüm

Hidrojel Bazlı Ultra Esnek İyonik Diyotlarda Doğrultma Oranına Çapraz Bağlama Oranının Etkisi

Mücella ÖZBAY KARAKUŞ¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi.; Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü.
mucella.karakus@yobu.edu.tr ORCID No: 0000-0003-0599-8802

ÖZET

Hidrojellerin esneklikleri, doğal dokuya benzerlikleri ve iyonları seçici olarak taşıma yetenekleri gibi istisnai özellikleri, iyonik cihazları keşfeden araştırmacıları büyüledi. Bu çalışma, daha önce incelenmemiş olan çapraz bağ mekanizmalarının hidrojel bazlı iyonik diyotların (HBID') geliştirilmesindeki etkisine ışık tutmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla, bir p-tipi ve beş farklı çapraz bağ oranına sahip bir dizi n-tipi hidrojin iyon iletme özellikleri, morfolojik ve elektronik yapıları üzerine kapsamlı bir araştırma yürütülmüştür. Ek olarak, çalışma bu hidrojelleri kullanan HBID yapılarının imalatını ve analizini kapsamaktadır. Bulgular, çapraz bağ oranının iyonik iletkenliği, kütle direncini ve kapasitansı önemli ölçüde etkilediğini kesin olarak göstermektedir. Özellikle, bu çalışmada en yüksek çapraz bağ oranına sahip hidrojel kullanılarak üretilen HG/12 kodlu HBID için, 8.9 mA cm^{-2} 'ye ulaşan oldukça yüksek akım yoğunlukları ve 1269'a kadar önemli ölçüde üstün düzeltme oranları sergilediği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: hidrojel, hidrojel esaslı iyonik diyot, düzeltme oranı, esnek iyontronik.

HİDROJEL BAZLI ULTRA ESNEK İYONİK DİYOTLAR

İnsan vücudu ile entegre şekilde çalışan cihazlara olan ihtiyacın artması, insan-makine iletişimini kolaylaştıracak daha uyumlu ve kararlı arayüzlere olan talebin de artmasına neden olmuştur (Zhou 2017, Su 2021, Yun 2021). Sinyal taşıyıcı olarak elektronları kullanan ve katı ve kuru bileşenlerden oluşan, ticari veya laboratuvar düzeyindeki cihazların aksine biyolojik sistemlerde canlı dokularda ağırlıklı olarak iyon taşınımı vardır ve bu taşıma sıvı ortamda gerçekleşmektedir. Bu nedenle geleneksel elektronik sistem ve cihazlar, yumuşak yapılı canlı dokulardan oluşan biyolojik sistemlerin ihtiyaçlarını karşılayamamaktadır. Sonuç olarak, daha esnek, daha yumuşak ve giyilebilir iyonik cihazların geliştirilmesi (Sun 2014, Kim 2016, Sarwar 2017, Keplinger 2013, Lee 2018, Xu 2017) bu talepleri hızlı bir şekilde karşılamaya dikkat çekmektedir. Çünkü elektronlar yerine iyon transferleri ile çalışan iyonik cihazlar, elektronik cihazlarla kolayca ulaşılamayan yumuşaklık ve esneklik gibi özellikleri mümkün kılmaktadır (Meng 2021, Cai 2020). Bu tür iyonik cihazlar, insan derisine entegre edilecek giriş birimleri olarak giyilebilir ve bükülebilir uygulamalar için basınç ve gerinim sensörlerinde (Sun 2014) ve iyonik dokunmatik panellerde (Kim 2016, Sarwar 2017) kullanılmıştır. Ayrıca, şeffaf bir iyonik hoparlör (Keplinger 2013), esnek ve giyilebilir triboelektrik nanojeneratörler (Lee 2018, Xu 2017) ve iyonik güç kaynakları (Schroeder 2017) çıkış birimleri olarak test edilmiştir.

Esnek yapılar oluşturmak için elastomerleri ve hidrojelere içeren yumuşak jel bazlı malzemeler, esnek yapılar oluşturmak için kullanılmaktadır. Bunlar arasında hidrojel, sıvılarda çözünmeden şişebilen bir polimer malzeme sınıfı olarak diğerlerinden ayrılmaktadır. Diğer polimerlerden farklı olarak, 3D ağ yapısına sahip hidrojel sıvıyı hacimce %95'e kadar tutabilmektedir (Wang 2019). Hidrojellerin yüksek optik şeffaflık, mükemmel biyouyumluluk ve yüksek sıvı geçirgenliği gibi birçok çekici özelliği nedeniyle, son birkaç yılda hidrojel çeşitli uygulamalar için araştırma konusu haline gelmiştir (Buchholz 1998). Hidrojellerin esneklikleri ve doğal doku benzeri özelliklerinin (Brannon-Peppas 2012, Zohourian 2008, Karakuş 2022) yanı sıra iyon seçici özelliği, iyonik cihazlarda araştırmacılar tarafından istenen bir diğer dikkat çekici özelliktir. Hidrojellerin bu özelliği, yük nötrlüğü elde etmek için polianyonik veya polikasyonik zincirlerdeki sabit yüklere ve hareketli karşı iyonlara dayanmaktadır. Hidrojellerin 3 boyutlu çapraz bağlı iyonik sıvı ortamlarında, iyonların hareketi daha verimli olabilmekte ve sağlanan iyon hareketliliği nispeten yüksek olmaktadır (Lee 2019). Tüm bu özelliklerinden dolayı, son yıllarda, hidrojel bazlı polimerik malzemeler biyo-algılama (Le 2015, Ma 2019), doku mühendisliği (Billiet 2012) ve tıp (Mandal 2020) teknolojisinde

yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca biyomedikal iyonik elektronik cihaz alanında da özel ilgi görmüştür (Chun 2015). Bilim adamları, bu eşsiz malzemeyi kullanarak, transistör (Yin 2019) ve iyonik diyot (ID) (Putra 2017) gibi çeşitli fonksiyonel iyonik elektronik cihazlar geliştirmişlerdir. Han ve ark. (2009), bir prototip kombine polielektrolit diyot ve mantık kapısı devresinin ilk sunumu bildirmiştir. Daha yakın zamanda, Lee ve ark. (2019), tek eksenli zorlanma altında düzeltici davranış sergileyen ve tekrarlanan deformite altında özelliklerini koruyan, ayarlanmış bir poli-elektrolit hidrojel kullanan gerilebilir bir iyonik diyot önermiştir. Lim ve ark. (2019) iyondan iyona amplifikasyon için açık bağlantıya sahip bir hidrojel esaslı iyonik diyot (HBID) geliştirmiştir. Bu HBID için iyonik akım düzeltmesi, hidrojin yüklü omurgasının iyonik sıvı üzerindeki anti-simetrik elektrostatik etkisinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, yük tabanlı biyosensörler için çok önemli bir gereklilik olan hidrojel yüzeyindeki yük yoğunluğuna fazlasıyla duyarlıdır. Bu özelliklerinden dolayı, HBID'ler elektriksel biyoalgılama için arzu edilen araştırma alanlarıdır (Xiong 2022). Küçük moleküllerin polielektrolit hidrojellerdeki difüzyonu, ilaç verme (Caccavo 2019), suyun tuzdan arındırılması (Guo 2019) ve basınç algılama (Zhou 2019) gibi cihazlar için kapsamlı bir şekilde incelenmiş olsa da, hidrojellerin iyonik iletimi ve elektronikteki rolü, cihazlara entegrasyon konusunda nispeten az sayıda çalışma yapılmıştır (Goding 2019, Jia 2022). Karşılaşılan en önemli sorun, direnç, transistör, iyonik diyot ve kapasitör gibi temel iyonik devre elemanlarını büyük esneklik ve uyumlulukla üretmenin zorluğudur (Hou 2017, Tybrandt 2012, Janson 2019, Spyropoulos 2019). Bu devre elemanları arasında ID'ler, özel iyon seçici, anahtarlama ve düzeltme özellikleri nedeniyle araştırmacıların ilgisini çekmiştir (Wang 2019, Lee 2019, Kim 2020, Zhao 2018). ID'ler, iyonik akımın doğrultulmasını sağlayan yapay veya biyotik iyon kanallarını ifade etmektedir. Bu arada, taşınım davranışını temsil eden ayarlanmış bir düzeltmeyi (Xiong 2022) yansıtan ve modüle edilen yüzeydeki yük yoğunluklarına göre, yüklü moleküllerin adsorpsiyonu belirlenebilmektedir.

Bu alanda ilk önce iyonoelastomerler, polielektrolitler veya tek mobil karşıt iyonlar içeren HBID'ler üretilmiştir (Lee 2019, Kim 2020). Bu tür cihazlar yapısal olarak p-n bağlantılarına dayanan yarı iletken diyot yapısına benzemektedir (Gou 25022). Polimerik p-tipi hidrojel omurgası, güçlü bir negatif yük göstermekte ve bu nedenle ko-iyonları itmektedir. Sonuç olarak, p-tipi polimerik jel, pozitif yüklü karşı iyonların taşınması için seçici olarak geçirgen hale gelmektedir. Aksine, n-tipi jel tercihen negatif yük taşıyıcılarını iletmektedir. Bu iyonik heteroeklem, harici elektrik alanına maruz kaldığında, iyonik akım polariteye bağlı olarak düzeltilmekte ve anti-simetrik bir akım-

gerilim (I-V) tepkisi ile sonuçlanmaktadır (Xiong 2021). Bir ileri bias sinyali uygulandığında, hem anyonlar hem de katyonlar jonksiyon bölgesine doğru itilmektedir. Böylece iyonlar bu birleşme bölgesinde birikmektedir. Bu durum, sistemin tüm parçalarındaki direnci azaltmaktadır. ileri bias sinyalinin, sürekli iyon akımı akışına izin vermek için yerel Debye uzunluğunu azalttığına dikkat edilmelidir (Riza 2021). Ters polarizasyon uygulandığında ise, birleşme bölgesinden anyonlar ve katyonlar çekilmekte ve iyonların tükenmesi sistem içinde artan bir dirence yol açmaktadır. Ortaya çıkan anti-simetrisinin bir sonucu olarak, iyonik diyot, uygulanan pozitif potansiyele karşı bir "AÇIK DURUM" ve negatif potansiyele karşı bir "KAPALI DURUM" sergileyecek şekilde bir akım-voltaj yanıtı üretmektedir (Riza 2021).

Hidrojeller, yumuşak elektronik alanı (Xiong 2022) için gelecek vaat eden malzemeler olduğundan, esnek ve şeffaf iyonik cihazlar üretmede kullanılmaları ve bu konuda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Hidrojel sentezi için ortak bir payda, çapraz bağlayıcıların kullanılmasıdır. Çapraz bağlanma oranının değişmesiyle hidrojellerin elektriksel özelliklerinde değişiklikler beklenebilmektedir. Farklı miktarlarda çapraz bağlayıcılar kullanılarak hazırlanan hidrojellerin diyot üretiminde kullanımı detaylı olarak incelenmesi gereken bir alandır. Ayrıca esnek, şeffaf iyontronik cihazların geliştirilmesi amacıyla optimal bir yapıya sahip olan doğası gereği gerilebilir ve gözenekli hidrojellerin, iyon taşıma özellikleri ve hidrojellerle üretilen elektronik cihazların elektriksel karakterizasyonları deneysel olarak henüz yeterince çalışılmamıştır (Xiong 2021).

Esnek ve şeffaf HBID yapımında çapraz bağlanma mekanizmalarının etkisine dikkat çekmek amacıyla n-tipi ve p-tipi olarak sınıflandırılan, farklı miktarlarda çapraz bağ oranlarına sahip katyonik hidrojellerle birleştirilmiş bir anyonik hidrojelden oluşan diyot uygulamaları hakkında okuyucuya rehberlik etmeyi amaçlamaktadır.

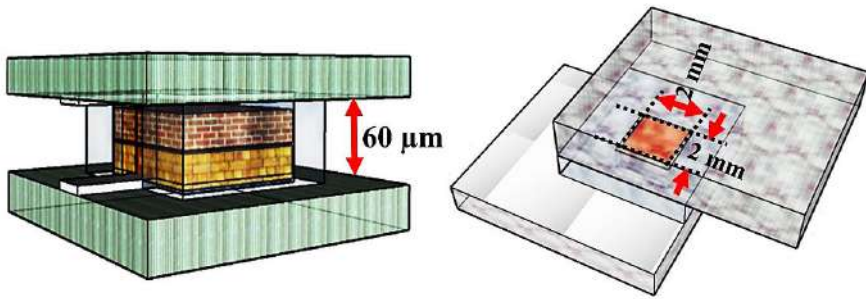
Hidrojel, hareketli katyonlara sahip polianyonik bir omurgaya sahipse, p-tipi hidrojel olarak tanımlanmakta ve bir hidrojel, polikatyonik zincirlere ve hareketli anyonlara sahipse, n-tipi hidrojel olarak tanımlanmaktadır (Lee 2019, Lim 2019, Nyamayaro 2020).

Beş farklı çapraz bağlanma oranına sahip bir dizi n-tipi hidrojel ile bir p-tipi hidrojinin biraraya gelerek heteroeklem oluşturması sonucu iyon iletme özellikleri, morfolojik ve elektronik yapıları ve ayrıca üretilen esnek HBID'ler üzerine kapsamlı bir çalışma yapılmıştır. Bu amaçla, p-tipi ve n-tipi hidrojeller kullanılarak heteroeklemler tasarlanmış ve iyon taşıma özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi için yüksek oranda bükülebilir esnek iyonik diyotlar üretilmiş ve elektriksel olarak karakterize edilmiştir. Ayrıca, esnek iyonik

diyotların elektriksel performansında, mekanik bükülme nedeniyle meydana gelen değişim, hidrojellerin çapraz bağ oranları açısından da incelenmiştir. Diyotların tekrarlanan mekanik bükülmelere karşı kararlılıklarını koruma becerileri ve kapasiteleri de araştırılmıştır.

Hidrojellerin her biri için çapraz bağ oranları 0.4'ten 1.2'ye kadar 0.2'lik adımlarla artırılmıştır. Çapraz bağ oranına bağlı olarak n-tipi hidrojeller n-HG/4, n-HG/6, n-HG/8, n-HG/10 ve n-HG/12 şeklinde isimlendirilmiştir. Hidrojeller sentezlerinin ardından fırında kurutulduktan sonra ve seramik öğütücüde öğütülerek toz halinde getirilmiştir. Hidrojellerin çapraz bağlanma oranına bağlı olarak yapısal modifikasyonunu belirlemek FTIR ve SEM analizleri yapılmıştır.

HBID üretiminde, indiyum kalay oksit ile kaplanmış iletken yüzeye sahip polietilen tereftalat (PET-ITO), şeffaf ve esnek substratlar kullanılmıştır. p-tipi hidrojel tozu homojen bir şekilde PET-ITO substrat üzerine yerleştirilerek yaklaşık 3 ton basınç altında preslenmiştir. Aynı prosedür, n-tipi hidrojel tozu ile başka bir PET-ITO substrat üzerine uygulanmıştır. Daha sonra, hidrojel kaplı PET-ITO substratlar, hidrojel tabakaları ıslanacak şekilde iyodür/tri-iyodür redoks çifti içeren bir iyonik sıvı ile nemlendirilmiştir. Daha sonra elektrotlar üst üste kapatılarak yapıştırılmıştır. Oluşturulan hidrojel bazlı heteroeklemler tekrar preslenerek sabitlenmiştir. Bu prosedür, beş farklı n-tipi hidrojel için tekrarlanmıştır. Her seferinde, p-tipi (p-HG) hidrojel, farklı miktarda çapraz bağ oranına sahip başka bir n-tipi hidrojel ile birleştirilmiştir. Böylelikle mikrometre boyutunda heteroeklemler oluşturmak üzere birleştirilmiş olan esnek HBID yapıları tamamlanmış ve HBID yapısının şematik konfigürasyonu Şekil 1'de gösterilmiştir.

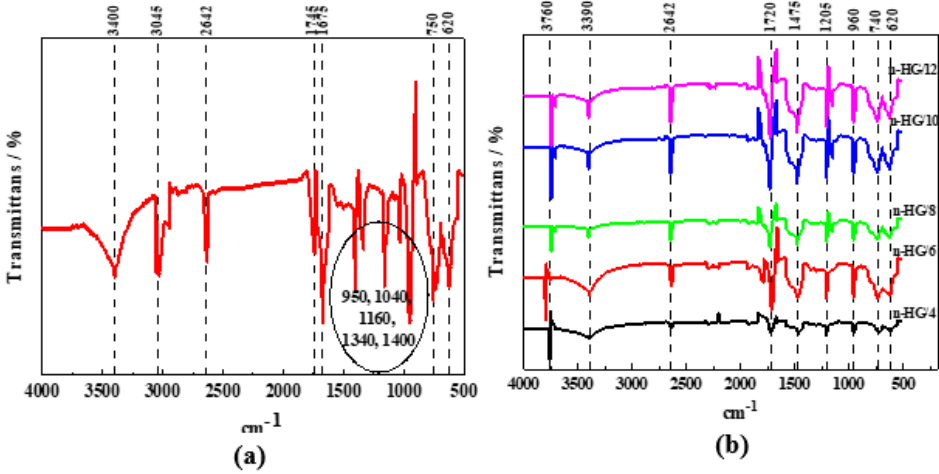


Şekil 1. HBID'nin şematik gösterimi (yandan görünüm - solda, üstten görünüm - sağda).

n-HG/12, n-HG/10, n-HG/8, n-HG/6 ve n-HG/4 hidrojenleri ile beş farklı şeffaf ve esnek diyot yapısı elde edilmiş ve iyonik diyotlar sırasıyla HG/12, HG/10, HG/8, HG/6 ve HG/4 şeklinde etiketlenmiştir.

n-tipi hidrojenlerin yapısında hareketli Cl^- iyonları bulunmaktadır ve bu hareketli klorür iyonları, n-tipi bir yarı iletkendeki bir elektronun davranışına benzer bir davranış sergilemektedir. p-tipi hidrojelde ise monomer olarak hareketli sodyum iyonları ile birlikte polimer zincirlerindeki sülfonat gruplarından dolayı kararlı negatif yükler bulunmakta ve bu hareketli Na^+ iyonları, p-tipi bir yarı iletkendeki bir deliğin davranışına benzer bir davranışa sahiptir (Zhang 2021).

Yapıların daha fazla aydınlatılması ve çapraz bağlanma oranının hidrojenlerin yapısal modifikasyonu üzerindeki etkisinin belirlenmesi için elde edilen p-tipi ve n-tipi hidrojenlerin FTIR spektrumları Şekil 2'de gösterilmektedir. Şekil 2 (a)'da verilen p-tipi hidrojinin FTIR spektrumunda, 620, 750, 950, 1040 ve 1160 cm^{-1} 'de gözlenen karakteristik bantlar sülfonat gruplarının simetrik ve asimetrik titreşimlerinden kaynaklanmaktadır (Nyamayaro 2020, Jiang 2022).



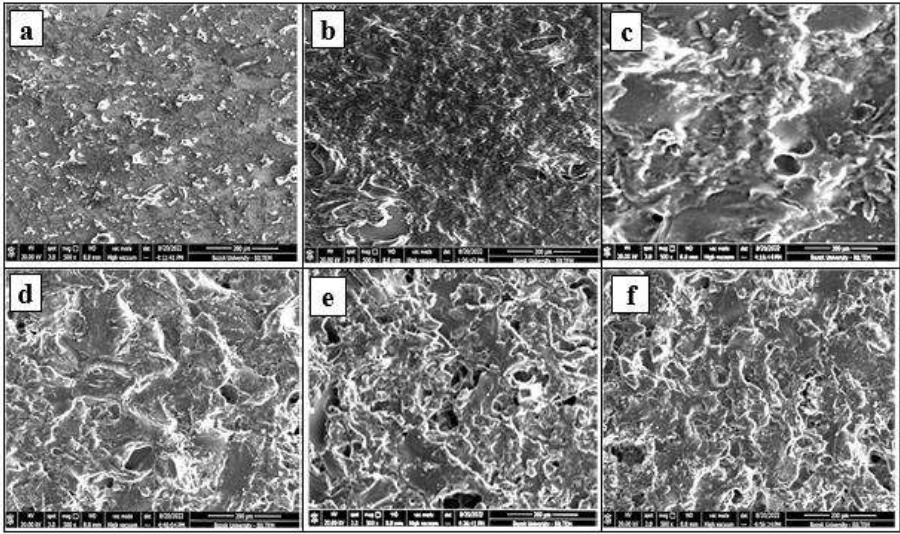
Şekil 2. (a) p-tipi hidrojele ait FTIR spektrumu, (b) farklı çapraz bağ oranlarına sahip n-tipi hidrojenlere ait FTIR spektrumları.

Şekil 2 (b)'de verilen n-tipi hidrojenlere ait FTIR spektrumlarındaki veriler, ışığında 3760-3390 cm^{-1} arasında gözlenen şiddetli geniş bandın da gösterdiği gibi hidroksil gerilmesinden ve özellikle n-HG/12 hidrojenindeki diğer fonksiyonel gruplardan kaynaklanan % geçirgenlik sinyalinin gücü dikkate değerdir. Diğerleriyle karşılaştırıldığında, n-HG/12 hidrojen, çapraz bağ

yapısından kaynaklanan fonksiyonel grupların daha yüksek konsantrasyonunu, polaritesini veya mevcudiyetini belirtebilir. Bu durum da n-HG/12'de polaritenin diğerlerine göre daha yüksek olduğunu gösterebilir (Kabir 2018). Öte yandan, n-tipi hidrojellere odaklanıldığında, artan çapraz bağ oranıyla birlikte piklerde genel bir artış gözlenmektedir ve bu da başarılı bir çapraz bağlanmaya işaret etmektedir. FTIR analizlerinden açıkça elde edildiği üzere yapılar n-tipi ve p-tipi yapılara uygun spektrumlarına sahiptir.

Hidrojeller, esnek iyontronik cihazların geliştirilmesi için istenen şekilde gözenekli ve esnek bir yapıya sahiptir. Hidrojellerin morfolojik yapısının incelenmesi açısından, farklı iyonik türlerin gözenekliliği ve kıvrımlılığı araştırılmış ve iyonik iletkenlik ile ilişkilendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, biyoelektronik cihaz uygulamaları için hidrojellerin yapısını ve iyonik iletkenliğini modüle etmek için temel tasarım kılavuzları olacaktır.

Farklı tip ve farklı çapraz bağ oranlarına sahip hidrojeller, iletkenlik mekanizmasını önemli ölçüde etkileyen morfolojik özelliklerinin değerlendirilmesi için SEM analizi ile karakterize edilmiştir. Şekil 3 (a-e)'de gösterildiği gibi, hidrojellerin gözenekli morfolojisi açıkça gözlenmiştir.



Şekil 3. (a-e) sırasıyla n-HG/4, n-HG/6, n-HG/8, n-HG/10 ve n-HG/12 kodlu hidrojellere ait x500 büyütme altındaki SEM görüntüleri. (f) p-HG kodlu hidrojele ait x500 büyütme altındaki SEM görüntüsü.

SEM analizlerinden hareketle, çapraz bağ oranları düşük olan hidrojeller nispeten daha pürüzsüz bir yüzey gösterirken, farklı çapraz bağ oranlarına sahip n-tipi hidrojellerde çapraz bağ oranının artmasıyla gözenekliliğin artması dikkat

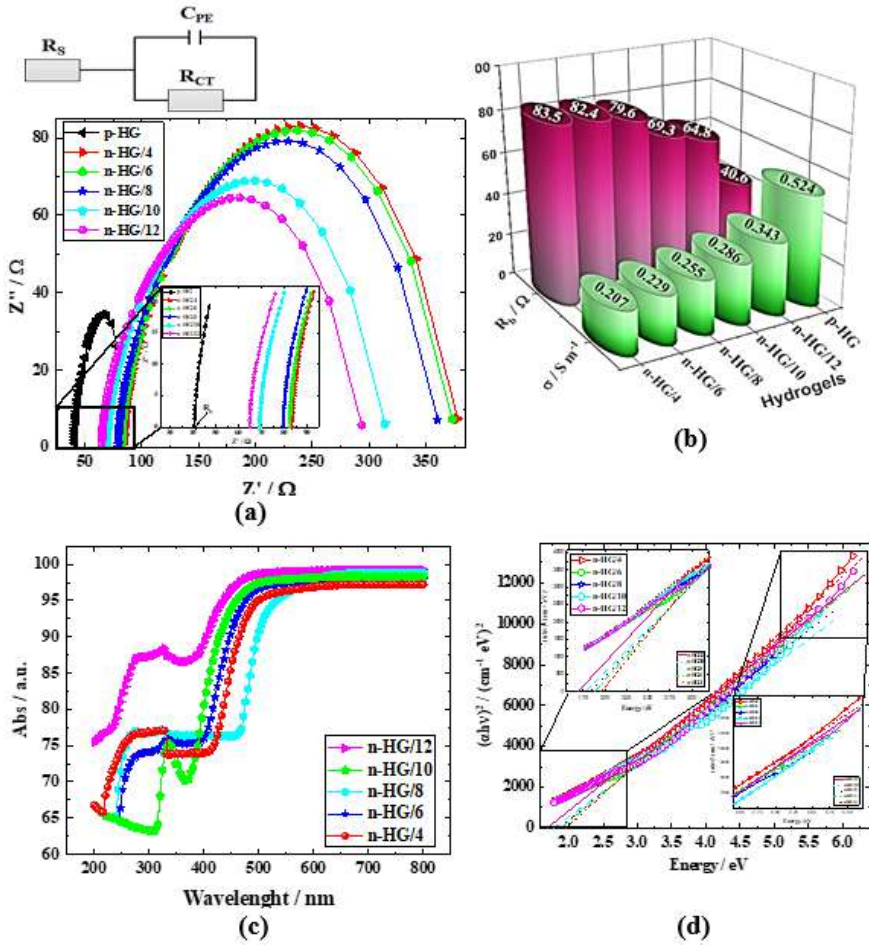
çekicidir. Özellikle n-HG/12 hidrojelinde gözenekli yapı diğerlerinden çok daha belirgindir. Hidrojeldeki bu gözenekli morfoloji, iyonların hareketini desteklerken ve aynı zamanda yüksek iyonik iletkenlik olasılığını artırırken elektrolit sıvısının tutulmasını da artırmaktadır (Tripathi 2018). Çünkü polimer yapılar da elektriksel iletkenlik, esasen yük taşıyıcıların zincirler boyunca hareketiyle sağlanmaktadır. Yüksek derecede iyonik bir sıvıyı tutabildiklerinde, zincirler arasında yük taşıyıcı hareketi olasılığı da elektriksel iletkenliği artıracaktır (Karakuş 2022).

Hidrojeller moleküler düzeyde incelenirse, polar çözücü ya polar olan hidrofilik gruplara bağlanmakta ya da gözenekli yapıdaki ağ zincirleri veya ara boşlukları doldurmaktadır. Polimer zincirinde hidrofilik gruplar, van der Waals afinitesi ve hidrojen bağı yoluyla polar çözücünün moleküllerini immobilize etmektedir (Pullanjiot 2019). Bununla birlikte, ek çapraz bağlama, yalnızca gözenekliliği artırmakla kalmayıp aynı zamanda mevcut yük aktarımı için başka yollar da yaratmaktadır. Dolayısıyla çapraz bağ oranı arttıkça elektriksel iletkenlik de artacaktır (Karakuş 2022).

Elektrokimyasal Empedans Spektrumu (EIS), hidrojellerin hareketliliği ve yük yoğunluğu için tercih edilen bir tekniktir. Bu amaçla EIS, alternatif bir elektrik sinyali uygulayarak iki elektrot arasında bulunan hidrojellerin elektriksel tutumunu analiz etmektedir. Bu elektrik sinyali örneğe uygulanırken, negatif ve pozitif iyonlar periyodik olarak karşılık gelen elektrotlarda toplanarak ikili bir katman oluşturmaktadır. Empedans spektroskopisi, hidrojellerin elektriksel ve kapasitif davranışlarını incelemek için kullanılabilir. Bilindiği üzere hidrojellerin yük yoğunluklarının artırılması ve iyon seçici özelliklerinin maksimize edilmesi en önemli noktalardan biridir. Hidrojel üretimi sırasında tercih edilen monomer miktarı, yüksek ozmotik basıncın etkisiyle hidrojellerin karşı iyon konsantrasyonunun ve sıvı olarak şişmesinin artmasında etkilidir. Yüksek konsantrasyonlu hidrojellerin sentezi sırasında çapraz bağlanma miktarındaki artış, gözenekliliği ve dolayısıyla hidrojin kırılgenliğini arttırırken şişme derecesini de artırabilmektedir (Lee 2018). Bu durum çeşitli çalışmalar için bir dezavantaj gibi görünse de hidrojellerin p-n bağlantılarını oluştururken birbirleriyle ve elektrotlarla iyonik sıvıdan dolayı temas yüzeylerini arttırdığı için bu çalışma için bir avantaja dönüşmektedir.

EIS ve dielektrik ölçümleri için kullanılmak üzere toz haldeki katı hidrojeller 6 ton basınç altında peletlenerek 12.7 mm çapında, yaklaşık 1.1 mm kalınlığında elde edilmiş ve her birine 5 ml iyonik sıvı eklenmiştir. Hazırlanan hidrojel peletleri, yeterli sıvı alımını sağlamak için 3 gün boyunca iyonik sıvı içinde saklanmış, bu süre sonunda emilmeyen iyonik sıvı süzölmüştür. İletim mekanizmaları hakkında en ayrıntılı bilgiyi sağlayan EIS ve dielektrik

ölçümleri, numuneleri tanımlamak için paralel plaka kapasitör tekniği kullanılarak, oda sıcaklığında Agilent 4284A LCR metreye bağlı bir 16451-B bağlantısı kullanılarak yapılmıştır. Tüm numuneler için dielektrik özelliklerin frekansa bağlı ölçümleri kapasitans ve dağılım faktörü değerlerine göre yapılmış ve iletkenlik ve dielektrik ile ilişkili parametreler bu değerlerden türetilerek hesaplanmıştır. Deney sırasında frekans aralığı 20 Hz'den 1 MHz'e olacak şekilde ayarlanmış ve 10 mV AC osilatör sinyali uygulanmıştır. Şekil 4 (a)'daki Nyquist grafikleri incelendiğinde elde edilen Nyquist grafikleri yarım daire şeklinde olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4. (a) Nyquist grafikleri ve eşdeğer devre (b) elektriksel iletkenlik ve R_b yığılma direnci grafikleri, (c) UV-Vis absorpsiyon spektrumları (d) hidrojellerin $(\alpha h\nu)^2$ ye karşı $h\nu$ grafikleri

Nyquist eğrisinin x eksenine ile kesiştiği nokta, hidrojel direnci değerini verirken, Nyquist eğrisini oluşturan yarı dairenin çapı, hidrojel ile elektrot arasındaki kapasitif arayüzdeki (C_{PE}) yük transfer direncine (R_{CT}) karşılık gelmektedir (Sardana 2021).

Tablo 1’de verilen, hidrojellere ait yığın direnci (R_b) değerleri, Şekil 4 (a)’da verilen Nyquist grafiği kullanılarak elde edilebilmektedir. Hidrojellerin iletkenliklerinin (σ) hesaplanması için denklem (1) kullanılmış, burada R_b ; Ω cinsinden yığın direnci, A ; m^2 cinsinden numunenin alanı ve t ; m cinsinden numunenin kalınlığıdır (Mohamad 2016).

$$\sigma = \frac{t}{AR_b} \quad (1)$$

Tablo 1. Hidrojellere ait ölçülen ve hesaplanan karakteristik parametre değerleri.

Hidrojel	Çap/ mm	Kalınlık / mm	R_b / Ω	σ / Sm^{-1}	C_{PE} / μF	R_{CT} / Ωcm^{-1}	E_g / eV
n-HG/4	16.4	3.65	83.5	0.207	0.28	10.1	2.909
n-HG/6	16.8	4.17	82.4	0.229	0.50	8.4	2.881
n-HG/8	17.1	4.66	79.6	0.255	0.96	7.9	2.876
n-HG/10	18.1	5.10	69.3	0.286	1.99	7.2	2.864
n-HG/12	18.3	5.84	64.8	0.343	2.72	6.4	2.667
p-HG	18.9	5.97	40.6	0.524	3.24	7.5	1.667

Tüm hidrojeller için R_b değerleri ve hesaplanan iletkenlik değerleri Şekil 4 (b)’de verilmiştir. Şekil 4 (a)’da verilen hidrojellerin Nyquist grafiklerinden elde edilen R_b kütle dirençleri (Buraidah 2017) ve iletkenlik değerleri hesaplanarak kanıtlanmıştır ki, Şekil 4 (b)’de açıkça görüldüğü üzere, hidrojellerin iletkenliği çapraz bağ oranı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Tüm hidrojellerin iyonik iletkenlikleri ölçülmüş ve çapraz bağ oranının 0.4’ten 1.2’ye çıkarılmasıyla iyonik iletkenliğin 0.21’den 0.52 Sm^{-1} ’e yükseldiği bulunmuştur. Sonuç olarak, en yüksek iyonik iletkenliğin n-HG/12 kodlu hidrojele ait olduğu ve çapraz bağlanma oranı ile doğru orantılı olarak artan iyonize gruplar ve yük taşıyıcı yoğunluğu nedeniyle iyonik iletkenliğin hidrojellerde artma eğiliminde olduğu görülmüştür.

Şekil 4 (a)’da n-tipi hidrojellerden elde edilen yarı dairelerin, büyükten küçüğe sırasıyla n-HG/12, n-HG/10, n-HG/8, n-HG/6 ve n-HG/4 numunelerine ait olduğu görülmektedir. Hidrojellerin davranışlarının frekansa bağlı gelişimi birbirine yakın olduğu gibi çapraz bağ oranı bakımından da kendi içlerinde uyumludur. Hidrojel kanallarındaki yüksek hareketliliği nedeniyle 0.524 $S m^{-1}$

ile en yüksek iyonik iletkenlik n-HG/12 kodlu hidrojele aittir (Coşkun 2019). Buna ek olarak n-HG/12 numunesi diğerleri arasında en düşük değer olan 40.6 Ω 'luk dirence sahip olmasının yanında en yüksek elektriksel iletkenliğe de sahiptir ve bu durum hem SEM analizi hem de yığın direnci hesaplama sonuçlarını desteklemesi açısından önemlidir.

Farklı çapraz bağ oranlarına sahip hidrojenlerin optik, elektriksel/dielektrik özelliklerini, iyonik iletkenliğini ve kapasitif davranışını incelemek için geleneksel elektrokimyasal empedans spektroskopisine (EIS) ek olarak, Hach Lange DR 5000 UV-Vis Spektrometre kullanılarak hidrojenlerin absorpsiyon spektrumları ve absorpsiyon katsayıları da elde edilmiştir. Hidrojenlerin UV spektrumları, oda sıcaklığında ve 200 ile 800 nm dalga boyu aralığında elde edilmiştir. Örneklerin pik değerleri Şekil 4 (c)'de verildiği gibi 450 ile 600 nm arasında gözlenmiştir. Dalga boyunun artmasıyla üstel olarak artan çeşitli çapraz bağ oranlarına sahip hidrojenlerin absorpsiyon değerleri belirlenmiş olup, aralarında n-HG/4'ün en düşük, n-HG/12'nin ise en yüksek absorpsiyon değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Absorpsiyon katsayısının en yüksek değeri n-HG/12 kodlu hidrojel için kaydedilirken, en düşük değer n-HG/4 kodlu hidrojel için kaydedilmiştir ki bu da tüm numuneler için elde edilen direnç ve iletkenlik değerlerini destekler niteliktedir.

Tüm hidrojenler için, belirtilen bölgedeki yüksek absorpsiyon değerlerinin dipolar osilasyonların innervasyonuna bağlanabileceği düşünülmektedir. Öte yandan, hidrojenlerin absorpsiyon değerlerinin çapraz bağlanma oranına bağlı olarak tüm dalga boyu aralığında dalgalı bir davranış göstermesinin nedeninin iyonik sıvı ve hidrojel bağları arasındaki moleküler seviyedeki etkileşimler olduğu tahmin edilmektedir. Şekil 4 (a) ve (c) beraber değerlendirildiğinde, n-HG/12 hidrojeninin, en düşük absorpsiyon katsayısı nedeniyle p-HG'den sonra n-tipi hidrojenler arasında en küçük yarım daireye sahip olduğu belirlenmiştir. Absorpsiyon katsayısının en büyük ve en küçük değerlerinin Şekil 4 (a) ve (b)'de verildiği gibi tüm numuneler için direnç ve empedans değerleri ile ters orantılı olduğu belirlenmiştir. Bu durumda n-HG/12 hidrojeninin en büyük absorpsiyon katsayısı ve en küçük direnci ve nispeten yüksek kapasitans değerleri nedeniyle kapasitif uygulamalar için en uygun malzeme olduğu söylenebilmektedir (Coşkun 2019, Chander 2014, Jain 2006, Tanabe 2007, Sheha 2012). Hidrojenlerde gözlemlenen farklı absorpsiyon değerlerinin, farklı çapraz bağlanma oranları nedeniyle farklı parçacık boyutları ve şekilleri, sıvı tutma kapasiteleri ve dielektrik ortamları ile ilişkili olduğu açıktır (Chander 2014, Tanabe 2007). Bu nedenle, tüm numunelerin UV spektrum sonuçlarından elde edilen absorpsiyon değerleri kullanılarak Tauc kanunu (Tauc 1968) ile Şekil 4 (d)'de verilen $(\alpha h\nu)^2$ 'ye karşı $h\nu$ grafikleri arasındaki eğim kullanılarak enerji

bant boşlukları hesaplanmıştır. Hidrojeller arasında en düşük enerji bandı aralığı değerinin 2.67 eV ile n-HG/12'ye, en yüksek enerji bant aralığı değerinin ise 2.91 eV ile n-HG/4'e ait olduğu belirlenmiştir. n-HG/12 kodlu hidrojinin, kuantum hapsi ve Fermi-Dirac dağılımı gibi etkiler nedeniyle en düşük enerji bandına sahip olduğu düşünülmektedir. Hidrojellerin enerji bant aralığının çapraz bağ oranının artmasıyla rutin olarak azalma eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Çapraz bağ oranındaki artışa bağlı olarak artan arayüz etkileşimleri nedeniyle salınım süresinin düzenli olarak değiştiği, dolayısıyla enerji bant aralığının çapraz bağ oranı ile ters orantılı olarak değiştiği belirlenmiştir. n-HG/4 kodlu hidrojinin enerji bant aralığı değeri diğer hidrojellere göre daha yüksektir, bu nedenle yüksek sıcaklıklarda çalışabilen ve yüksek voltaj değişimlerini tolere edebilen elektronik cihazlarda kullanım için ilham verici bir malzeme olarak nitelendirilebileceği söylenebilir (Coşkun 2019). Çapraz bağ oranının artması, yüzeylerindeki yük taşıma dinamiklerini hızlandırmakta ve gerekli enerji seviyesini düşürmektedir. Böylece hidrojeldeki yük taşıyıcılar, enerji bant aralığını aşmak ve hidrojel tarafından sağlanan boş alanlara atlamak için yeterli enerjiyi kolaylıkla elde edebilecektir (Chong 2016). Bu analiz sonucunda n-HG/12 kodlu hidrojinin bant enerjisi daha az olduğu için iletkenliğinin diğerlerinden daha iyi olacağı bir kez daha kanıtlanmıştır. Ayrıca Tablo 1'de verildiği gibi p-tipi hidrojinin bant aralığı değerinin 1.67 eV olduğu ve düşük sıcaklıklarda p-tipi iletkenlik gösterdiği de kanıtlanmış olmaktadır (Bashir 2020).

HBID'lerin ± 1.5 V aralığında uygulanan potansiyele karşı akım-gerilim (I-V) karakterizasyonu karanlık koşullar altında Keithley 2612 bilgisayar kontrollü kaynak ölçer kullanılarak yapılmış ve düzeltme oranları hesaplanmıştır. Her HBID'nin I-V özellikleri, 1 mV s^{-1} 'lik sabit bir rampa hızında -1.5 V ila $+1.5 \text{ V}$ aralığındaki öngerilimle elde edilmiştir.

Esnek HBID'lerin en önemli özelliği, hem pozitif hem de negatif iyonların hareketli olmasıdır. Bu iyonlar, şarj edilen polimer veya yüzey tarafından geri çekilerek veya itilerek arayüz boyunca bağımsız olarak yayılmaktadır. Farklı yapısal özelliklerden dolayı iyonik diyotlarda, iyon düzeltmesi gerçekleştirerek tek yönlü iyon akışı oluşturmak için iyonların yüksek veya düşük difüzyon/transfer oranlarından faydalanılmaktadır. Yerleşik yüklere sahip sıradan iyon düzeltme cihazlarının aksine, esnek HBID'ler biyolojik sistemlerde olduğu gibi negatif ve pozitif iyonların serbest iyon taşınmasına izin vermektedir (Jiang 2022). Hidrojelde reaktif olmayan karşı iyonların yayılması, gerçek düzeltme davranışını (Wang 2019) belirlediğinden, uygulanan dış elektrik alanı çok hızlı değiştiğinde, iyonların yeniden konumlanması için yeterli zamanı olmamaktadır. Bu nedenle, her döngüde karşı iyonların sabit

durum dağılımını garanti etmek için birkaç tarama döngüsünün başlamasından önce 10 dakika boyunca diyot üzerinde sabit bir -1.5 V ters öngerilim voltajı uygulanmıştır.

Öte yandan diyot uygulamalarında cihazlardaki yük ve iyon taşıma mekanizmalarını anlamak için detaylı bir EIS analizi yapılmıştır. Esnek HBID'lerin Nyquist grafikleri, bir Faraday kafesinde, oda sıcaklığında ve karanlıkta, VersaStudio 2.60.6 bilgisayar programı tarafından kontrol edilen, VersaSTAT 3 Potentiostat/Galvanostat kullanılarak elde edilmiştir. Örneklere yüksek, orta ve düşük frekans bölgelerinde 10 mV'de sabit tutulan bir AC osilatör sinyali uygulanmıştır. Frekans aralığı 0.01 Hz ile 1 MHz aralığında ayarlanmıştır.

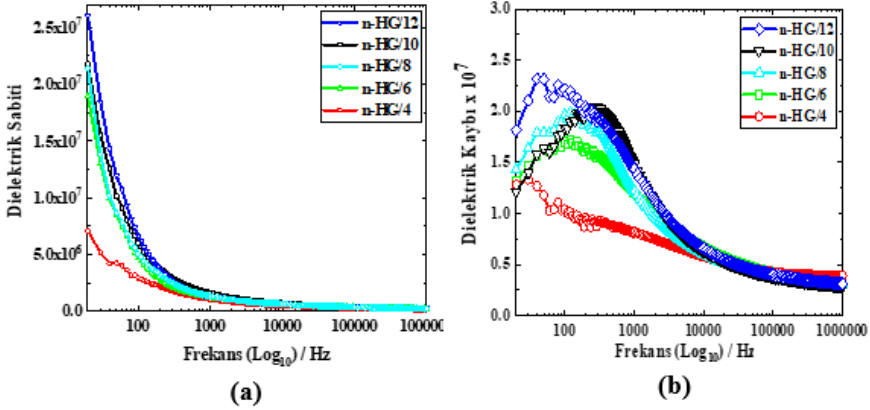
Hidrojellerin elektrokimyasal performansını ve kapasitif etkilerini değerlendirmek için; VersaSTAT 3 Potansiyostat/Galvanostat kullanılarak iki elektrotlu dönüşümlü voltametri (CV) tekniği ile -0.7 V ile +1V arasında, p-tipi hidrojel için 10-100 mV s⁻¹ tarama hızlarında, n-tipi hidrojeller için ise 10-500 mV s⁻¹ tarama hızlarında aynı voltaj aralığında sonuçlar elde edilmiştir.

Tüm esnek HBID'lerin anahtarlama süreleri de AA TECH AWG-1020 Sinyal Üretici ve bilgisayar kontrollü dijital AGILENT MSO9064A Osiloskop kullanılarak ölçülmüştür. Diyotların anahtarlama süreleri, genliği ± 1.5 V ve frekansı 100 mHz olan bir kare dalga AC sinyal uygulanarak elde edilmiştir.

SONUÇ

Çapraz bağlama mekanizmalarının HBID'lerin yapısındaki etkisini vurgulamaya odaklanılan bu bölümde, okuyucuya farklı miktarlarda çapraz bağ oranına sahip n-tipi hidrojellerle birleştirilmiş p-tipi bir hidrojelden oluşan diyot uygulamaları hakkında rehberlik edilmesi amaçlanmaktadır. Hidrojel yapıları, elektron transferine hizmet edecek şekilde iyonik sıvı kullanılarak birbirleriyle tatmin edici temas kurabilen kremesi yarı-katı formda hazırlanmış ve hidrojeller mikrometre boyutunda heteroeklemler oluşturmak üzere birleştirilmiştir.

HBID'lerin fabrikasyon ve deneysel araştırmalarında, kabul edilebilir mekanik özelliklere ve yüksek iyon seçiciliğine sahip iki farklı tipte hidrojel kullanılmıştır. N-tipi hidrojeller, farklı çapraz bağ oranlarına sahip olacak şekilde 5 farklı konfigürasyonda modifiye edilmiştir. Diyotların düzeltme oranları, çapraz bağ oranlarının fonksiyonu olarak incelenmiştir.



Şekil 5. n-tipi hidrojellerin frekans karşı (a) dielektrik geçirgenliğin gerçek kısım ve (b) dielektrik kayıp grafikleri.

Hidrojellerin kapasitans değerleri ve yük taşıyıcı davranışları dielektrik ölçüm çalışmaları ile belirlenebilmektedir. Hidrojellerin frekansına göre dielektrik kayıp ve dielektrik geçirgenlik grafikleri EIS tekniği ile analiz edilmiş ve sonuçlar sırasıyla Şekil 5 (a) ve (b)'de verilmiştir. Ayrıca, farklı çapraz bağ oranlarına sahip hidrojellerin kayıp faktörü, geçirgenlik, iletkenlik, yüzey özdirenci ve kapasitans gibi dielektrik/elektiriksel özelliklerinin frekansa bağlı değişimi empedans spektroskopisi kullanılarak analiz edilmiş ve kapasitans değerleri denklem (2) kullanılarak şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\epsilon'(\omega) = C \cdot d / \epsilon_0 \cdot A \quad (2)$$

Düşük frekans bölgesinde, frekansın neden olduğu arayüzey polarizasyonu, uzay yükü, dipolar, iyonik, atomik ve elektronik polarizasyon gibi etkiler nedeniyle, uygulanan elektrik alan yönünde iyon hareketi engellenmekte ve bir taşıyıcı yük birikimi meydana gelmektedir (Öztürk 2021). Sonuç olarak, dielektrik geçirgenlik ve dielektrik kayıp değişkenleri, arayüz polarizasyonu nedeniyle Şekil 5'te verildiği üzere düşük frekans bölgesinde yüksek değerler almıştır. Hareket edebilen yük taşıyıcıları, kısmen hidrojinin polimer zincirlerinde negatif yükleri indükleyerek dipollerin yeniden yönlendirilmesiyle sonuçlanmaktadır. Tüm hidrojeller için, polarizasyon mekanizmaları artan frekansla etkinliklerini kaybetmektedir. Tüm numunelerin dielektrik geçirgenlik değerleri, düşük ve yüksek frekans bölgelerinde frekansın artmasıyla doğru orantılı olarak azalırken, sonrasında sakince azalmaktadır. Tüm hidrojellerin dielektrik geçirgenlik ve dielektrik kayıp değerleri

düşük frekans bölgesinde nispeten yüksektir. Bu değerler kademeli olarak azalmakta ve yüksek frekans değerlerinde sabit bir duruma ulaşmaktadır. Çünkü yüksek frekans aralığında, hidrojellerdeki serbest iyonların uygulanan dış elektrik alana yönelmek için yeterli zamanı bulunmamaktadır. Tüm hidrojellerin yüksek frekans bölgesindeki dielektrik geçirgenlik ve dielektrik kaybının sakince azalarak ulaştığı nispeten düşük değerleri; dipol gevşemesi, katyonların iletilmesi ve Maxwell dinamiği yaklaşımının birleşik etkileri ile ilgili olarak açıklanabilmektedir (Coşkun 2019). Bu parametreler, yüksek frekansta Maxwellian sistemindeki iyonik iletkenliğin artmasıyla azalmaktadır. Elde edilen veriler ışığında n-HG/12'nin dielektrik geçirgenlik ve dielektrik kayıp değerlerinin tüm frekans bölgesi boyunca en düşük değerlere sahip olduğu ve hidrojelde hareketli yük taşıyıcı davranışlarına bağımlı olmadığı gözlemlenmiştir.

Öte yandan, Tablo 1'de verildiği üzere yük transfer direnci R_{CT} de n-HG/12 için $6.4 \Omega \text{ cm}^{-2}$ ile en düşük değeri ve n-HG/4 için ise $10.1 \Omega \text{ cm}^{-2}$ ile en yüksek değeri vermektedir. n-HG/12 hidrojelinin $2.72 \mu\text{F}$ olan kapasitans (C_{PE}) değeri, $0.28 \mu\text{F}$ olan n-HG/4 hidrojelinden çok daha yüksektir, n-HG/12 hidrojelinin diğer n-tipi hidrojel arasında çok daha büyük bir kapasitans sunduğunu düşündürmektedir. Bu değerlerin etkinliği Dönüşümlü Voltametri (CV) tekniği kullanılarak elde edilen verilerle pekiştirilmiştir.

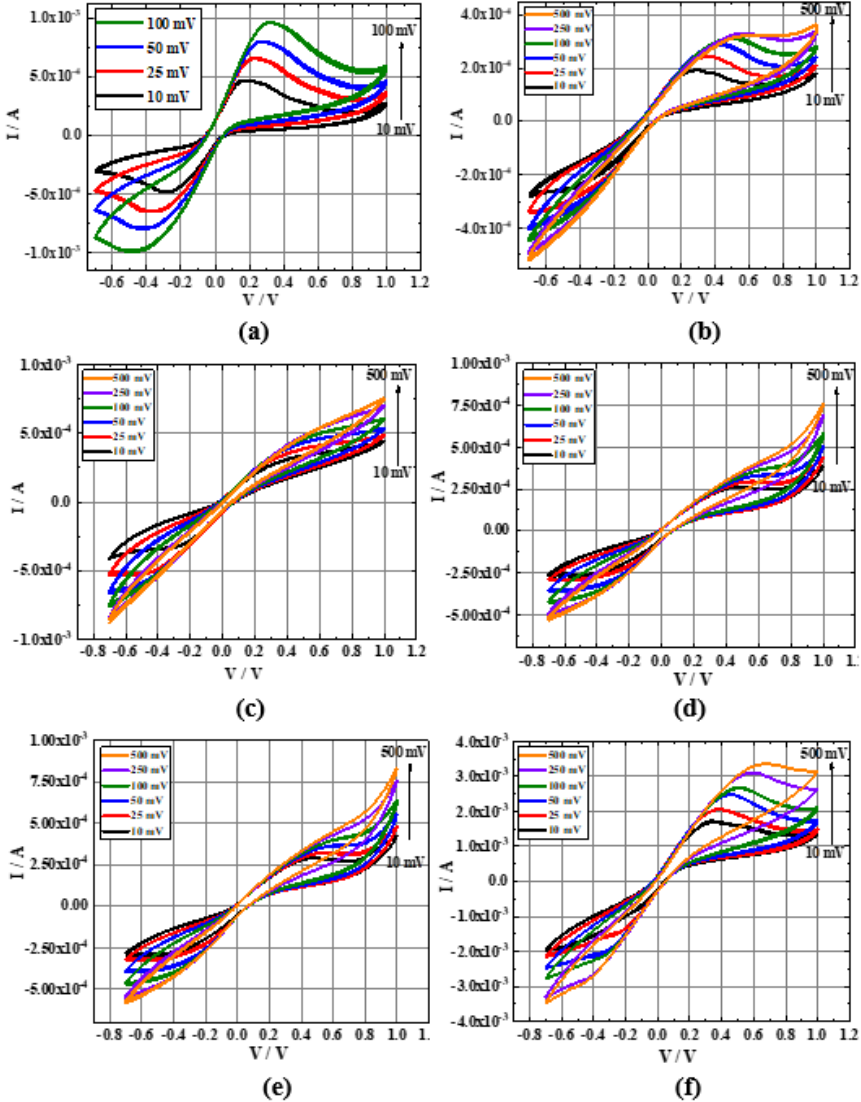
Bu durum elde edilen iletkenlik sonuçlarını da desteklemektedir ve uygulanan ön gerilime göre çapraz bağ oranı arttıkça iyonik iletkenlik değerlerinin arttığını göstermektedir.

Ayrıca, farklı iş fonksiyonlarına sahip iletken malzemeler bir bağlantı oluşturmak için temas ettiğinde, iletkenlerin iş fonksiyonuna bağlı olarak bir enerji bariyeri oluşmaktadır (Walia 2013). Olası enerji bariyeri, temas boyunca yük hareketini tanımlamaktadır. Hidrojeldeki çapraz bağ oranının ve dolayısıyla polar yapının değişimi de iş fonksiyonunda bir değişime neden olacaktır (Tan 2018). Dielektrik sabitinin ölçümü, aynı zamanda, değişen enerji bariyeri yüksekliğinden dolayı ara yüzlerde meydana gelen kutup mimarisinde ve yük birikiminde bir değişiklik olduğunu göstermiştir (Karakuş 2022).

Düşük voltajla çalışan organik alan etkili transistörlerde (OFET'ler) hem yüksek dielektrik dağılımı hem de düşük kaçak akım istendiğinden, elektrot-hidrojel arayüzündeki polarizasyon ve hareketlilik biyolojik sistemlerde düşük voltajlı OFET'lerin tercih sebebidir. Bu nedenle, nispeten yüksek çapraz bağ oranlarına sahip hidrojellerin, özellikle n-HG/12'nin, giyilebilir, esnek ve düşük maliyetli sensörler gibi yeni nesil elektronik uygulamalarda umut verici dielektrik malzemeler olacağı sonucuna varılmıştır (Jeong 2019, Sun 2018, Akbaş 2019). Dielektrik sabiti ölçümleri ayrıca polar yapıda bir değişiklik olduğunu ve değişen enerji bariyeri yüksekliğinden dolayı ara yüzlerde yük birikiminin meydana

geldiğini göstermiştir (Karakuş 2022). Öte yandan, düşük frekans bölgesindeki yüksek dielektrik sabiti değerleri ile hücre zarı uygulamaları için biyolojik sistemlerde kullanılma potansiyeline sahip olduğu da söylenebilmektedir (Prodan 2008).

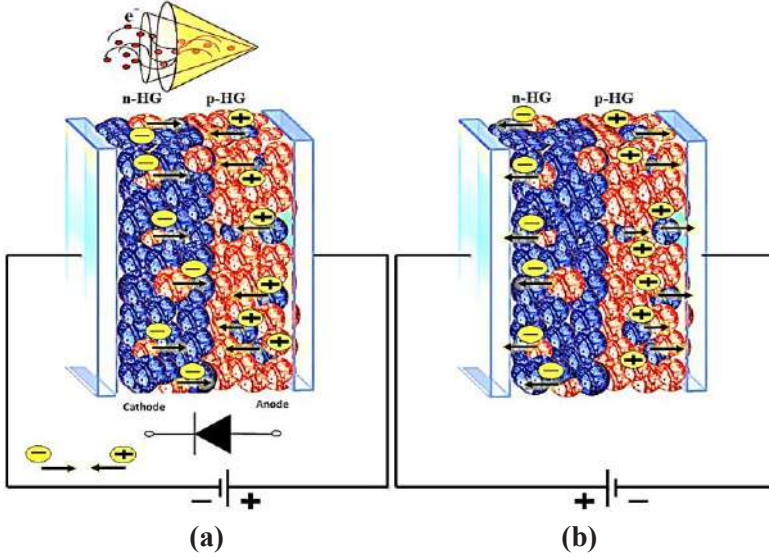
Elektrokimyasal performans ve dolayısıyla kapasitif etkiyi değerlendirmek için CV tekniğinin sonuçları elde edilmiş ve p-tipi hidrojel için Şekil 6 (a)'da, n-tipi hidrojeller içinse Şekil 6 (b-f)'de verilmiştir.



Şekil 6. Hidrojellerin farklı tarama hızlarında elde edilen CV eğrileri (p-HG (a), n-HG/4 (b), n-HG/6 (c), n-HG/8 (d), n-HG/10 (e), n-HG/12 (f))

Şekil 6'da gösterildiği gibi, n-HG/12 diğer tüm n-tipi hidrojellerden daha büyük CV eğrileri sergilemektedir, bu da n-HG/12'nin diğer tüm n-tipi hidrojellerden daha yüksek enerji depolayabildiğini göstermektedir (Wei 2018). Dikdörtgenden yaprak benzeri bir görünüme doğru değişen CV eğrilerinin şekli, hidrojeldeki iyonlar ile elektrot yüzeyi arasındaki etkileşimin kısıtlanması ile ilgilidir (Farhana 2019). Diğer tüm hidrojellerin CV eğrileri ile karşılaştırıldığında, p-HG ve n-HG/12'nin CV şekilleri, elektriksel çift katmanlı yük depolama davranışı özelliğini gösteren daha yarı dikdörtgenimsi bir şekil göstermektedir (Şekil 6. (a, f)) (Wang 2018). Ayrıca, tarama hızı 10 mV s^{-1} 'den 500 mV s^{-1} 'e çıkarken CV eğrisinin şekli hemen hemen tüm tarama hızlarında korunmuştur. Elde edilen sonuçlar, elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve dielektrik ölçümleri ile elde edilen kapasitans değerlerinin sonuçlarıyla oldukça uyumludur ve n-HG/12'nin en iyi iyon geçişi ve elektrokimyasal performansa sahip olduğunu göstermektedir.

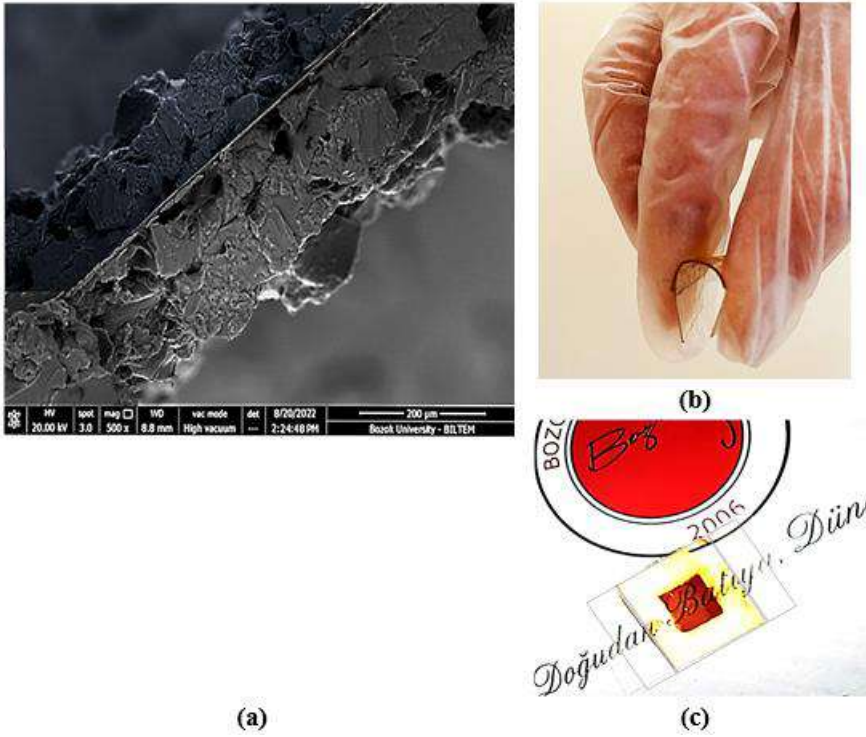
p-tipi ve n-tipi hidrojel bir heteroeklem oluşturmak üzere bir araya getirildiğinde, iki tip hidrojel arasındaki temas tutumunun, hidrojellerin yapısındaki hareketli Na^+ ve Cl^- iyonlarının yayılma etkisine bağlı olarak yarı iletkenlerin p-n bağlantısına benzer olduğu kaydedilmiştir [46]. Elde edilen heteroeklem yapısı, bir iyonik diyot davranışı sergilemekte ve harici bir elektrik alan uygulandığında, polariteye bağlı olarak iyonik akımı düzelterek asimetric bir akım-gerilim (I-V) tepkisine neden olduğu belirlenmiştir. Uygulanan elektrik alan kaybolduğunda, hareketli iyonların sürüklenme akışı orijinal denge durumuna geri dönmekte ve elektrik alan uygulandığında oluşan potansiyel ve tükenme bölgesi de başlangıç seviyelerine geri dönmekte, harici devredeki elektron akışında kademeli bir azalma meydana gelmektedir (Zhang 2021). Elde edilen I-V eğrisi, heteroeklemi oluşturan n-tipi hidrojinin çapraz bağ oranına bağlı olarak değişmektedir. Şekil 7'de, ileri ve geri polarmalar, HBID'lere uygulanan pozitif (solda) ve negatif (sağda) gerilimler olarak tanımlanmaktadır. Şekil 7'de pozitif yüklüdür iyonlar kırmızı, negatif yüklü iyonlar ise mavi gösterilmiş, p-HG'nin anyonik karakteri ve n-HG'nin katyonik karakteri vurgulanarak cihazın ileri (a) ve ters (b) öngerilim altında çalışma mekanizması ortaya konmaktadır. Yük taşıyıcıların dağılımında gözlenen asimetri, asimetric I-V özelliklerine yol açmaktadır (Zhang 2021).



Şekil 7. HBID yapısını oluşturan p-n bağlantısının şematik gösterimi, cihazın ileri öngerilim (a) ve ters öngerilim (b) altındaki çalışma mekanizması

Diyoda uygulanan ileri öngerilim (Şekil 7 (a)) ve dahili elektrik alan tarafından sağlanan itme kuvveti (kulombik etkileşimler) nedeniyle, hidrojel ortamındaki anyonlar (Cl^-) p-tipi hidrojele ve katyonları (Na^+) n-tipi hidrojele, yani birleşme bölgesine doğru göç etmektedir. Sonuç olarak diyotlar çok düşük akıma ($<0.03 \text{ mA cm}^{-1}$) sahiptir ve en iyi performansa sahip HG/12 diyot için eşik gerilimi 0.227 V 'un altında ölçülmüştür (Şekil 9. (a)). Eşik gerilimi elektrot reaksiyonları için engelleri aşacak kadar yüksek olduğunda heteroeklemede redoks reaksiyonları başlamaktadır. Bu durumda, ölçülen iyon akımı, ileri öngerilim arttıkça diyotu "AÇIK" duruma getirerek önemli ölçüde artmaktadır. Özellikle, araştırmamızdaki elektrot reaksiyonu için teorik eşik voltajının sunulan deneysel sonuçlarla tutarlı olduğu belirtilmelidir. Tersine, ters öngerilim uygulandığında (Şekil 7 (b)), hidrojel ortamındaki anyonlar (Cl^-) n-tipi hidrojele doğru, katyonlar (Na^+) ise p-tipi hidrojele doğru hareket edecektir; bununla birlikte, elektrot yüzeyinde yüksek potansiyel bulunması nedeniyle anyonların/katyonların göçü engellenecek, bu da diyotun "KAPALI" duruma geçmesine neden olacaktır.

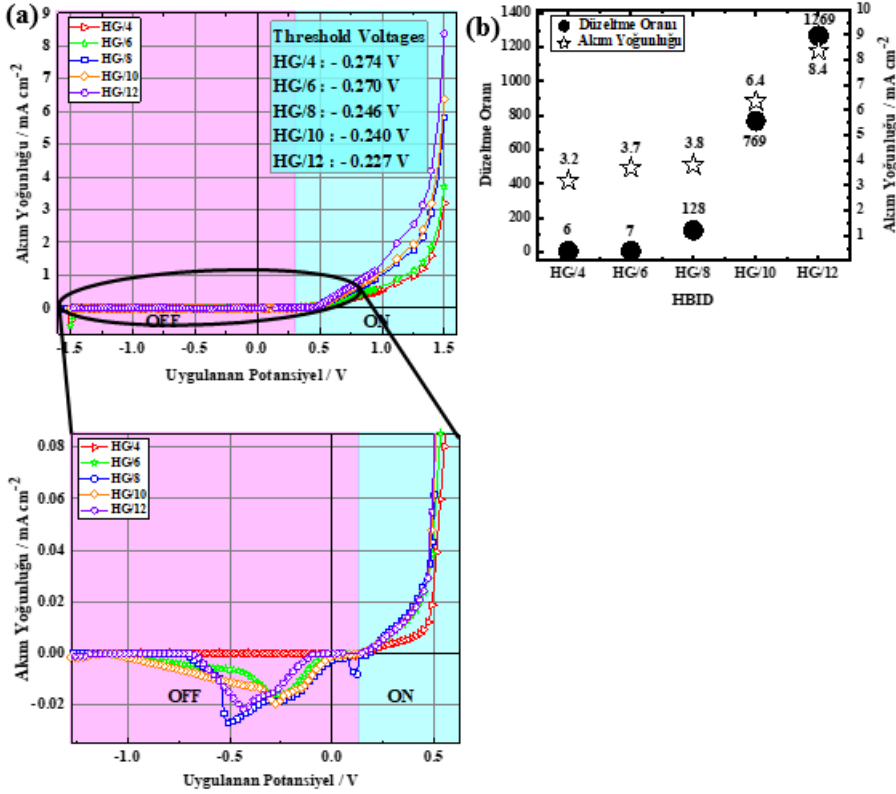
Şekil 8 (a)'daki enine kesit SEM görüntüsünde gösterildiği gibi p ve n-tipi hidrojeller bir heteroeklem arayüzü oluşturmaktadır. Ayrıca HBID üretiminde kullanılan kendinden esnek bileşenlerin, giyilebilir ve esnek cihazlara uygulama için uygun olabilecek şekilde Şekil 8. (b)'de görüldüğü gibi büyük bir esnekliğe sahip olduğu ve Şekil 8. (c)'de ise oldukça şeffaf olduğu açıkça gözlenmektedir.



Şekil 8. (a) p-n bağlantısının enine kesit SEM görüntüsü, (b) HBID'nin saydamlığını ve (c) esnekliğini gösteren fotoğraflar.

Hidrojeller tek başına incelendiğinde yüksek iletkenlik değerlerine sahiptir ve bunun çapraz bağ oranıyla doğru orantılı olarak arttığı bulunmuştur. Bununla birlikte, asimetrik bir heteroeklem oluşturmak için iki farklı tipte hidrojel temas ettirildiğinde, önemli ölçüde bir akım düzeltilmesi gözlenmektedir (Jiang 2022). İyonların hidrojel içindeki dağılımı, düzeltme (rektifikasyon) üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Bölüm kapsamında HBID davranışının hidrojellerin çapraz bağ oranlarına bağlılığı açısından iyonik diyotların doğrultma davranışını etkilediği düşünülen faktörler araştırılmış ve literatürde ilk kez değerlendirilmiştir.

n-tipi hidrojinin çapraz bağ oranına bağlı olarak esnek HBID'lerin I-V eğrileri Şekil 9. (a)'da gösterilmektedir. Şekilde verilen grafikte p-tipi ve n-tipi hidrojeller arasındaki ara yüzey akımının sadece bir yönde aktığı açıkça gösterilmektedir.



Şekil 9. n-tipi hidrojellerin çapraz bağ oranlarına göre HBID'lerin $\pm 1,5$ V AC öngerilim altında (a) I-V grafikleri ve (b) hesaplanan düzeltme oranları

Şekil 9 (a)'da gösterildiği gibi, eşik gerilimi olan 0.227 V'nin altında bir öngerilimle HG/12 kodlu HBID'den 0.03 mA cm⁻¹'lik çok düşük bir akım ölçülmüştür. Ön gerilim bu değeri aşacak kadar yüksek olduğunda, ölçülen iyonik akım ileri öngerilim arttıkça önemli ölçüde artmakta ve diyot "AÇIK" konuma gelmektedir. İyonik diyotların eşik geriliminin n-tipi hidrojelin çapraz bağ oranına bağlı olarak değişmesi ve çapraz bağ oranı artarken eşik geriliminin düşmesi dikkat çekicidir. İleri akım elektrolitin iletkenliği ile orantılı olarak artarken, ters akım ileri akım kadar etkilenmemektedir. Ters akım, hidrojel ortamının iletkenliğinden ziyade elektrot yapısı ile sınırlıdır. HBID'lerde gözlenen bu performans değişikliğini etkileyen faktörler incelendiğinde, çapraz bağ oranına bağlı olarak değiştiği belirlenen hidrojellerin üstün iyonik iletkenliği nedeniyle, diyotun eşik geriliminin değiştiği ve hatta diyotun düzeltme kabiliyetinin desteklendiği belirlenmektedir. Bu fenomen Şekil 9 (b)'de verilmiştir. İleri akımın hidrojel iletkenliğine sıkı sıkıya bağlı olması nedeniyle, çapraz bağ oranındaki artışla birlikte cihazın düzeltme oranı da artmaktadır (So 2012). Düzeltme oranları (+1.5 V'deki akımın -1.5 V'deki akıma

oranı) ve HBID'lerin akım yoğunlukları incelenmiştir. Her ölçümden hemen önce iyonik diyotlara 5 dakika boyunca -1.5 V'luk sabit bir negatif öngerilim uygulanarak, hidrojel katmanlarındaki iyonların en yakın elektroda doğru göçü sağlanmıştır. Sonuç olarak, HBID'lerden 8.9 mA cm^{-2} 'ye kadar nispeten gelişmiş akım yoğunlukları elde edilmiştir. Düzeltme oranları, 1269'a kadar çıkan değerlerle alışılmadık derecede yüksektir. Öte yandan, gözlemlenen akım yoğunlukları normalde iyonik diyotlar için gözlemlenen aralık içinde veya bazı durumlarda bundan daha iyidir. Doğrultma oranı, iyonların verimli kontrolünü ifade etmesinden dolayı ana faktördür ve iyonik diyotlar için nispeten yüksek olması istenmektedir. Bu etkin kontrol, entegre esnek elektronik devrelerde iyonların verimli dağılımını sağlamak için gereklidir (Keyvani 2021). Daha önceki çalışmalarda da belirtildiği gibi iyon derişimi artırılarak sistemdeki reaktif olmayan karşıt iyonlar artmakta ve böylece elektrotlarda daha büyük potansiyel düşüşler meydana gelmektedir. Bu, ileri yönde akımda daha yüksek akım yoğunlukları ile sonuçlanırken, geri yönde akımda önemli bir akım değişikliği meydana getirmemektedir. Bunun düzeltme oranı üzerinde çok önemli bir etkisi bulunmakta, daha yüksek düzeltme oranı iletkenlik sonuçlarıyla iyi bir uyum içinde ve çapraz bağ oranındaki artışın daha fazla yüklü türler verdiğini kanıtlamaktadır (Keyvani 2021).

Bununla birlikte, hidrojellerin morfolojik özelliklerini incelerken SEM görüntülerinden (Şekil 3) belirlenen değerlendirmeleri destekleyen daha yüksek yüzey alanının daha yüksek yük yoğunlukları sağladığına dikkat edilmelidir. HBID'ler arasında, özellikle HG/12 ve hatta HG/10'un düzeltme performansı, önceki literatürde bildirilen tüm iyonik diyotlardan üstündür (Zhou 2017, Lee 2019, Kim 2020, Zhang 2021, Zhou 2020, Xiao 2017, Putra 2019). Literatürden elde edilen bu verilerin maksimum düzeltme oranı değerleri olduğu ve farklı gerilim değerlerinde elde edildikleri unutulmamalıdır.

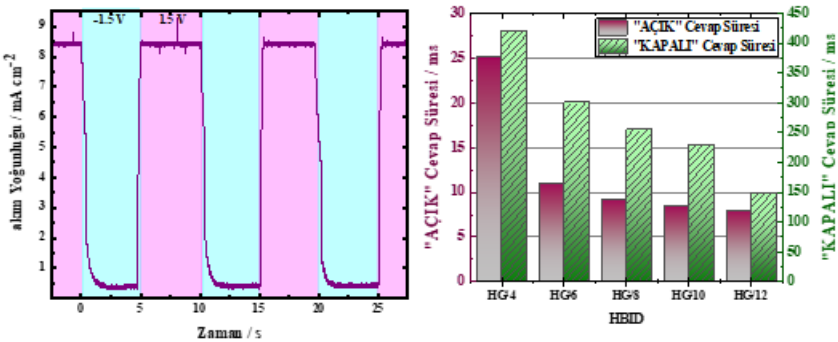


Figure 10. (a) HG/12 kodlu HBID'nin 0.1 Hz'de $\pm 1,5$ V kare dalga öngerilim altında Akım-Zaman yanıtı, **(b)** HBID'lerin "AÇIK" ve "KAPALI" durum yanıt süresi grafikleri

HBID'lerin anahtarlama süreleri $\pm 1,5$ V-100 mHz genlikli kare dalga AC sinyal uygulanarak elde edilmiş ve akım tepkileri gerçek zamanlı olarak kaydedilmiştir. Şekil 10 (a)'da gösterildiği gibi, hem ters hem de ileri öngerilim değerleri için, döngüler sırasında akım değeri, zamana bağlı olarak başlangıçtaki yüksek değerinden sabit bir değere hızla düşmüştür. Bu, iyon hareketliliğinin desteklendiğinin kanıtıdır ve beklendiği gibi azalan çapraz bağ oranı ile tepki süresinin artması elde edilen diğer deneysel verileri pekiştirmektedir. Ayrıca Şekil 10 (a)'da, birçok döngü boyunca, iyonik diyodun akım yoğunluğu ve düzeltme oranı değerlerinin oldukça kararlı olduğu açıkça görülmektedir. HG/12 kodlu diyot için "AÇIK" ve "KAPALI" durum yanıt sürelerinin ortaya çıkan tepkilerinin sırasıyla 7 ms ve 150 ms civarında olduğu tespit edilmiş Şekil 10 (b)'de verilmiştir.

Sonuç olarak, hidrojel bazlı p-n heteroeklemler oluşturularak üretilen iyonik diyotların akım-gerilim özelliklerinin hidrojellerin çapraz bağ oranları değiştirilerek ayarlanabileceği birçok farklı test yöntemi denenerek kanıtlanmıştır. Tüm deneysel bulgular birbirini destekler niteliktedir.

Gelişmiş uygulamalarda esnek HBID'lerin kullanımının önünü açmak için çapraz bağ oranının etkisi henüz kapsamlı bir şekilde araştırılmadığından, büyük bir etki yaratmak için bunları destekleyecek daha fazla teorik hesaplamalara ve deneysel çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Daha da öne çıkmak için, hidrojel morfolojik ve kimyasal yapısını elektronik olarak aydınlatan esnek elektronik alanındaki araştırmalar, hidrojel bir seçenek olarak öne çıkmasına yardımcı olacaktır.

REFERENCES

- Akbaş, H., Karadağ, A., Destegül, A., Çakırlar, Ç., Yerli, Y., Tekin, K. C., Kılıç, Z. (2019). Synthesis, and spectroscopic, thermal and dielectric properties of phosphazene based ionic liquids: OFET application and tribological behavior. *New Journal of Chemistry*, 43 (5), 2098-2110. <https://doi.org/10.1039/C8NJ04948C>
- Bashir, S., Omar, F. S., Hina, M., Numan, A., Iqbal, J., Ramesh, S., Ramesh, K. (2020). Synthesis and characterization of hybrid poly (N, N-dimethylacrylamide) composite hydrogel electrolytes and their performance in supercapacitor. *Electrochimica Acta*, 332, 135438. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.135438>
- Billiet, T., Vandenhaute, M., Schelfhout, J., Van Vlierberghe, S., Dubruel, P. (2012). A review of trends and limitations in hydrogel-rapid prototyping for tissue engineering. *Biomaterials*, 33 (26), 6020-6041. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2012.04.050>
- Brannon-Peppas, L., Harland, R. S. (Eds.). (2012). *Absorbent polymer technology*. Elsevier.
- Buraidah, M. H., Shah, S., Teo, L. P., Chowdhury, F. I., Careem, M. A., Albinsson, I., Arof, A. K. (2017). High efficient dye sensitized solar cells using phthaloylchitosan based gel polymer electrolytes. *Electrochimica Acta*, 245, 846-853. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.06.011>
- Buchholz, F. L., Graham, A. T. (1998). *Modern superabsorbent polymer technology*. John! Wiley & Sons, Inc, 605 Third Ave, New York, NY 10016, USA, 1998. 279.
- Caccavo, D. (2019). An overview on the mathematical modeling of hydrogels' behavior for drug delivery systems. *International journal of pharmaceutics*, 560, 175-190. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2019.01.076>
- Cai, Y., Shen, J., Yang, C. W., Wan, Y., Tang, H. L., Aljarb, A. A., Tung, V. (2020). Mixed-dimensional MXene-hydrogel heterostructures for electronic skin sensors with ultrabroad working range. *Science advances*, 6 (48), eabb5367. [10.1126/sciadv.abb5367](https://doi.org/10.1126/sciadv.abb5367)
- Chander, N., Khan, A. F., Thouti, E., Sardana, S. K., Chandrasekhar, P. S., Dutta, V., Komarala, V. K. (2014). Size and concentration effects of gold nanoparticles on optical and electrical properties of plasmonic dye sensitized solar cells. *Solar Energy*, 109, 11-23. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.08.011>

- Chong, M. Y., Liew, C. W., Numan, A., Yugal, K., Ramesh, K., Ng, H. M., Ramesh, S. (2016). Effects of ionic liquid on the hydroxylpropylmethyl cellulose (HPMC) solid polymer electrolyte. *Ionics*, 22, 2421-2430. [10.1007/s11581-016-1768-0](https://doi.org/10.1007/s11581-016-1768-0)
- Chun, H., Chung, T. D. (2015). Iontronics. *Annual Review of Analytical Chemistry*, 8, 441-462.
- Coşkun, R., Okutan, M., Öztürk, M., Yalçın, O. (2019). Experimental model to describe the dielectric response of different dye and nanoparticles doped hydrogels for biological cell membranes and biological systems. *Journal of Molecular Liquids*, 296, 112072. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.112072>
- Farhana, N. K., Omar, F. S., Shanti, R., Mahipal, Y. K., Ramesh, S., Ramesh, K. (2019). Iota-carrageenan-based polymer electrolyte: impact on ionic conductivity with incorporation of AmNTFSI ionic liquid for supercapacitor. *Ionics*, 25, 3321-3329.
- Goding, J., Vallejo-Giraldo, C., Syed, O., Green, R. (2019). Considerations for hydrogel applications to neural bioelectronics. *Journal of Materials Chemistry B*, 7 (10), 1625-1636. <https://doi.org/10.1039/C8TB02763C>
- Guo, Y., Zhou, X., Zhao, F., Bae, J., Rosenberger, B., Yu, G. (2019). Synergistic energy nanoconfinement and water activation in hydrogels for efficient solar water desalination. *ACS nano*, 13 (7), 7913-7919. <https://doi.org/10.1021/acsnano.9b02301>
- Guo, Z. H., Wang, H. L., Shao, Y., Li, L., Jia, L., Pu, X. (2022). Flexible ionic diodes with high rectifying ratio and wide temperature tolerance. *Advanced Functional Materials*, 32 (26), 2112432. <https://doi.org/10.1002/adfm.202112432>
- Han, J. H., Kim, K. B., Kim, H. C., Chung, T. D. (2009). Ionic circuits based on polyelectrolyte diodes on a microchip. *Angewandte Chemie International Edition*, 48 (21), 3830-3833., <https://doi.org/10.1002/anie.200900045>.
- Hou, Y., Zhou, Y., Yang, L., Li, Q., Zhang, Y., Zhu, L., Wang, Q. (2017). Flexible ionic diodes for low-frequency mechanical energy harvesting. *Advanced Energy Materials*, 7 (5), 1601983. [10.1002/aenm.201601983](https://doi.org/10.1002/aenm.201601983)
- Jain, P. K., Lee, K. S., El-Sayed, I. H., El-Sayed, M. A. (2006). Calculated absorption and scattering properties of gold nanoparticles of different size, shape, and composition: applications in biological imaging and biomedicine. *The journal of physical chemistry B*, 110 (14), 7238-7248. <https://doi.org/10.1021/jp057170o>

- Janson, P., Gabrielsson, E. O., Lee, K. J., Berggren, M., Simon, D. T. (2019). An ionic capacitor for integrated iontronic circuits. *Advanced Materials Technologies*, 4 (4), 1800494. <https://doi.org/10.1002/admt.201800494>
- Jeong, Y. J., Kim, D. H., Kang, Y. M., An, T. K. (2019). Overcoating BaTiO₃ dielectrics with a fluorinated polymer to produce highly reliable organic field-effect transistors. *Thin Solid Films*, 685, 40-46. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2019.05.065>
- Jia, M., Luo, L., Rolandi, M. (2022). Correlating Ionic Conductivity and Microstructure in Polyelectrolyte Hydrogels for Bioelectronic Devices. *Macromolecular Rapid Communications*, 43 (6), 2100687. <https://doi.org/10.1002/marc.202100687>
- Jiang, F., Poh, W. C., Chen, J., Gao, D., Jiang, F., Guo, X., Lee, P. S. (2022). Ion rectification based on gel polymer electrolyte ionic diode. *Nature Communications*, 13 (1), 6669.
- Kabir, A., Dunlop, M. J., Acharya, B., Bissessur, R., Ahmed, M. (2018). Water recycling efficacies of extremely hygroscopic, antifouling hydrogels. *RSC advances*, 8 (66), 38100-38107. [10.1039/C8RA07915C](https://doi.org/10.1039/C8RA07915C)
- Karakuş, M. Ö., Yakışıklar, M. E., Delibaş, A., Çetin, H. (2022). A roadmap for hydrogel-based quasi-solid electrolyte preparation for use in dye-sensitized solar cell. *Electrochimica Acta*, 427, 140841. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2022.140841>
- Keplinger, C., Sun, J. Y., Foo, C. C., Rothmund, P., Whitesides, G. M., Suo, Z. (2013). Stretchable, transparent, ionic conductors. *Science*, 341 (6149), 984-987. [10.1126/science.124022](https://doi.org/10.1126/science.124022)
- Keyvani, P. (2021). Ionic diodes based on cellulose nanocrystals (CNC) and related rheological studies (Doctoral dissertation, University of British Columbia).
- Kim, C. C., Lee, H. H., Oh, K. H., Sun, J. Y. (2016). Highly stretchable, transparent ionic touch panel. *Science*, 353 (6300), 682-687. [10.1126/science.aaf8810](https://doi.org/10.1126/science.aaf8810)
- Kim, H. J., Chen, B., Suo, Z., Hayward, R. C. (2020). Ionoelastomer junctions between polymer networks of fixed anions and cations. *Science*, 367 (6479), 773-776. [10.1126/science.aay8467](https://doi.org/10.1126/science.aay8467)
- Le Goff, G. C., Srinivas, R. L., Hill, W. A., Doyle, P. S. (2015). Hydrogel microparticles for biosensing. *European polymer journal*, 72, 386-412. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2015.02.022>
- Lee, Y., Cha, S. H., Kim, Y. W., Choi, D., Sun, J. Y. (2018). Transparent and attachable ionic communicators based on self-cleanable triboelectric

- nanogenerators. *Nature communications*, 9 (1), 1804. <https://www.nature.com/articles/s41467-018-03954-x>
- Lee, H. R., Woo, J., Han, S. H., Lim, S. M., Lim, S., Kang, Y. W., Sun, J. Y. (2019). A stretchable ionic diode from copolyelectrolyte hydrogels with methacrylated polysaccharides. *Advanced Functional Materials*, 29 (4), 1806909. <https://doi.org/10.1002/adfm.201806909>
- Lim, S. M., Yoo, H., Oh, M. A., Han, S. H., Lee, H. R., Chung, T. D., Sun, J. Y. (2019). Ion-to-ion amplification through an open-junction ionic diode. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116 (28), 13807-13815. <https://doi.org/10.1073/pnas.1903900116>
- Ma, C., Li, J., Zhang, B., Liu, C., Zhang, J., Liu, Y. (2019). Hydrogel microparticles functionalized with engineered *Escherichia coli* as living lactam biosensors. *Sensors*, 19 (24), 5556. <https://doi.org/10.3390/s19245556>
- Mandal, A., Clegg, J. R., Anselmo, A. C., Mitragotri, S. (2020). Hydrogels in the clinic. *Bioengineering & Translational Medicine*, 5 (2), e10158. <https://doi.org/10.1002/btm2.10158>
- Meng, X., Sun, Y., Yu, M., Wang, Z., Qiu, J. (2021). Hydrogen-Bonding Crosslinking MXene to Highly Robust and Ultralight Aerogels for Strengthening Lithium Metal Anode. *Small Science*, 1 (9), 2100021. <https://doi.org/10.1002/smsc.202100021>
- Mohamad, A. A. (2016). Absorbency and conductivity of quasi-solid-state polymer electrolytes for dye-sensitized solar cells: A characterization review. *Journal of Power Sources*, 329, 57-71. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.08.064>
- Nyamayaro, K., Keyvani, P., D'Acierno, F., Poisson, J., Hudson, Z. M., Michal, C. A., Mehrkhodavandi, P. (2020). Toward biodegradable electronics: Ionic diodes based on a cellulose nanocrystal–agarose hydrogel. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 12 (46), 52182-52191. <https://doi.org/10.1021/acsami.0c15601>
- Öztürk, M., Okutan, M., Coşkun, R., Çolak, B., Yalçın, O. (2021). Evaluation of the effect of dose change of Fe₃O₄ nanoparticles on electrochemical biosensor compatibility using hydrogels as an experimental living organism model. *Journal of Molecular Liquids*, 322, 114574. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114574>
- Prodan, E., Prodan, C., Miller, J. H. (2008). The dielectric response of spherical live cells in suspension: an analytic solution. *Biophysical journal*, 95 (9), 4174-4182. 10.1529/biophysj.108.137042

- Pullanjiot, N., Swaminathan, S. (2019). Enhanced electrochemical properties of metal oxide interspersed polymer gel electrolyte for QSDSSC application. *Solar Energy*, 186, 37-45. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.04.086>
- Putra, B. R., Aaronson, B. D., Madrid, E., Mathwig, K., Carta, M., Malpass-Evans, R., Marken, F. (2017). Ionic Diode Characteristics at a Polymer of Intrinsic Microporosity (PIM)| Nafion “Heterojunction” Deposit on a Microhole Poly (ethylene-terephthalate) Substrate. *Electroanalysis*, 29 (10), 2217-2223. <https://doi.org/10.1002/elan.201700247>
- Putra, B. R., Aoki, K. J., Chen, J., Marken, F. (2019). Cationic rectifier based on a graphene oxide-covered microhole: theory and experiment. *Langmuir*, 35 (6), 2055-2065. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b03223>
- Riza Putra, B., Tshwenya, L., Buckingham, M. A., Chen, J., Jeremiah Aoki, K., Mathwig, K., Marken, F. (2021). Microscale ionic diodes: An overview. *Electroanalysis*, 33 (6), 1398-1418. <https://doi.org/10.1002/elan.202060614>
- Sardana, S., Gupta, A., Maan, A. S., Dahiya, S., Singh, K., Ohlan, A. (2021). Design and synthesis of polyaniline/MWCNT composite hydrogel as a binder-free flexible supercapacitor electrode. *Indian Journal of Physics*, 1-7.
- Sarwar, M. S., Dobashi, Y., Preston, C., Wyss, J. K., Mirabbasi, S., & Madden, J. D. W. (2017). Bend, stretch, and touch: Locating a finger on an actively deformed transparent sensor array. *Science advances*, 3 (3), e1602200. [10.1126/sciadv.1602200](https://doi.org/10.1126/sciadv.1602200)
- Schroeder, T. B., Guha, A., Lamoureux, A., VanRenterghem, G., Sept, D., Shtein, M., Mayer, M. (2017). An electric-eel-inspired soft power source from stacked hydrogels. *Nature*, 552 (7684), 214-218. <https://www.nature.com/articles/nature24670>
- Sheha, E., Khoder, H., Shanap, T. S., El-Shaarawy, M. G., El Mansy, M. K. (2012). Structure, dielectric and optical properties of p-type (PVA/CuI) nanocomposite polymer electrolyte for photovoltaic cells. *Optik*, 123 (13), 1161-1166. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2011.06.066>
- Spyropoulos, G. D., Gelinas, J. N., Khodagholy, D. (2019). Internal ion-gated organic electrochemical transistor: a building block for integrated bioelectronics. *Sci Adv* 5: eaau7378.
- So, J. H., Koo, H. J., Dickey, M. D., Velev, O. D. (2012). Ionic current rectification in soft-matter diodes with liquid-metal electrodes. *Advanced*

- Functional Materials, 22 (3), 625-631.
<https://doi.org/10.1002/adfm.201101967>
- Su, Y., Toftdal, M. S., Le Fricc, A., Dong, M., Han, X., Chen, M. (2021). 3D electrospun synthetic extracellular matrix for tissue regeneration. *Small Science*, 1 (7), 2100003. <https://doi.org/10.1002/smssc.202100003>
- Sun, J. Y., Keplinger, C., Whitesides, G. M., Suo, Z. (2014). Ionic skin. *Advanced Materials*, 26 (45), 7608-7614. <https://doi.org/10.1002/adma.201403441>
- Sun, Q., Qian, B., Uto, K., Chen, J., Liu, X., Minari, T. (2018). Functional biomaterials towards flexible electronics and sensors. *Biosensors and Bioelectronics*, 119, 237-251. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.08.018>
- Tan, Y., Chen, L., Wu, F., Huang, B., Liao, Z., Yu, Z., Chen, Y. (2018). Regulation of the polar groups in n-type conjugated polyelectrolytes as electron transfer layer for inverted polymer solar cells. *Macromolecules*, 51 (20), 8197-8204. <https://doi.org/10.1021/acs.macromol.8b01490>
- Tanabe, K. (2007). Optical radiation efficiencies of metal nanoparticles for optoelectronic applications. *Materials Letters*, 61 (23-24), 4573-4575. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2007.02.053>
- Tauc, J. (1968). Optical properties and electronic structure of amorphous Ge and Si. *Materials research bulletin*, 3 (1), 37-46. [https://doi.org/10.1016/0025-5408\(68\)90023-8](https://doi.org/10.1016/0025-5408(68)90023-8)
- Tripathi, M., Kumar, A. (2018). Zinc oxide nanofiller-based composite polymer gel electrolyte for application in EDLCs. *Ionics*, 24 (10), 3155-3165.
- Tybrandt, K., Forchheimer, R., Berggren, M. (2012). Logic gates based on ion transistors. *Nature communications*, 3 (1), 871.
- Walia, S., Balendhran, S., Wang, Y., Ab Kadir, R., Sabirin Zoolfakar, A., Atkin, P., Bhaskaran, M. (2013). Characterization of metal contacts for two-dimensional MoS₂ nanoflakes. *Applied Physics Letters*, 103 (23), 232105. <https://doi.org/10.1063/1.4840317>
- Wang, D., Yu, L., He, B., Wang, L. (2018). A high-performance carbon-carbon (C/C) quasi-solid-state supercapacitor with conducting gel electrolyte. *Int. J. Electrochem. Sci*, 13 (3), 2530-2543. 10.20964/2018.03.73
- Wang, Y., Wang, Z., Su, Z., Cai, S. (2019). Stretchable and transparent ionic diode and logic gates. *Extreme Mechanics Letters*, 28, 81-86. <https://doi.org/10.1016/j.eml.2019.03.001>
- Wei, J., Zhou, J., Su, S., Jiang, J., Feng, J., Wang, Q. (2018). Water-deactivated polyelectrolyte hydrogel electrolytes for flexible high-voltage supercapacitors. *ChemSusChem*, 11 (19), 3410-3415. <https://doi.org/10.1002/cssc.201801277>

- Xiao, K., Chen, L., Zhang, Z., Xie, G., Li, P., Kong, X. Y., Jiang, L. (2017). A tunable ionic diode based on a biomimetic structure-tailorable nanochannel. *Angewandte Chemie International Edition*, 56 (28), 8168-8172. <https://doi.org/10.1002/anie.201704137>
- Xiong, C., Zhang, B., Zhang, R., Liu, Y. (2021). An experimental and numerical study of polyelectrolyte hydrogel ionic diodes: towards electrical detection of charged biomolecules. *Sensors*, 21 (24), 8279. <https://doi.org/10.3390/s21248279>
- Xiong, C., Li, J., Li, L., Chen, L., Zhang, R., Mi, X., Liu, Y. (2022). Label-free electrical monitoring of nucleic acid amplification with integrated hydrogel ionic diodes. *Materials Today Bio*, 15, 100281. <https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2022.100281>
- Xu, W., Huang, L. B., Wong, M. C., Chen, L., Bai, G., Hao, J. (2017). Self-Powered Sensors: Environmentally Friendly Hydrogel-Based Triboelectric Nanogenerators for Versatile Energy Harvesting and Self-Powered Sensors (*Adv. Energy Mater.* 1/2017). *Advanced Energy Materials*, 7 (1). <https://doi.org/10.1002/aenm.201770004>
- Yin, M. J., Yin, Z., Zhang, Y., Zheng, Q., Zhang, A. P. (2019). Micropatterned elastic ionic polyacrylamide hydrogel for low-voltage capacitive and organic thin-film transistor pressure sensors. *Nano Energy*, 58, 96-104. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2019.01.032>
- Yun, G., Tang, S. Y., Lu, H., Zhang, S., Dickey, M. D., Li, W. (2021). Hybrid-filler stretchable conductive composites: from fabrication to application. *Small Science*, 1 (6), 2000080. <https://doi.org/10.1002/smssc.202000080>
- Zhang, Y., Jeong, C. K., Wang, J., Chen, X., Choi, K. H., Chen, L. Q., Wang, Q. (2021). Hydrogel ionic diodes toward harvesting ultralow-frequency mechanical energy. *Advanced Materials*, 33 (36), 2103056. <https://doi.org/10.1002/adma.202103056>
- Zhao, Y., Dai, S., Chu, Y., Wu, X., Huang, J. (2018). A flexible ionic synaptic device and diode-based aqueous ion sensor utilizing asymmetric polyelectrolyte distribution. *Chemical communications*, 54 (59), 8186-8189. <https://doi.org/10.1039/C8CC04539A>
- Zhou, Y., Hou, Y., Li, Q., Yang, L., Cao, Y., Choi, K. H., Zhang, Q. M. (2017). Biocompatible and Flexible Hydrogel Diode-Based Mechanical Energy Harvesting. *Advanced Materials Technologies*, 2 (9), 1700118. <https://doi.org/10.1002/admt.201700118>
- Zhou, Y., Wan, C., Yang, Y., Yang, H., Wang, S., Dai, Z., Long, Y. (2019). Highly stretchable, elastic, and ionic conductive hydrogel for artificial

soft electronics. *Advanced Functional Materials*, 29 (1), 1806220.
<https://doi.org/10.1002/adfm.201806220>

Zhou, Y., Liao, X., Han, J., Chen, T., Wang, C. (2020). Ionic current rectification in asymmetric nanofluidic devices. *Chinese Chemical Letters*, 31 (9), 2414-2422. <https://doi.org/10.1016/j.ccllet.2020.05.033>

Zohourian, Mehr Mjad, and Kourosch Kabiri. "Superabsorbent polymer materials: a review." (2008): 451-447.

11. Bölüm

Mermer Atıklarının Farklı Gradasyon Aralıklarında Yol Temel Malzemesi Yerine Kullanılmasının Donma-Çözünme Davranışı Üzerine Etkisi¹

Nazile URAL²

Ahmet Neim KAHVECİ³

¹ Bu çalışma Ahmet Neim Kahveci'ye ait "MERMER ATIKLARININ YOL TEMEL MALZEMESİ OLARAK FARKLI BOYUT ARALIKLARINDA İKAME EDİLMESİ" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

² Prof. Dr.; Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, nazile.ural@bilecik.edu.tr, ORCID ID 0000-0002-2268-842X,

³ Öğr. Gör.; Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği Koordinatörlüğü, ahmet.kahveci@bilecik.edu.tr, ORCID ID 0000-0002-1452-9760,

ÖZ

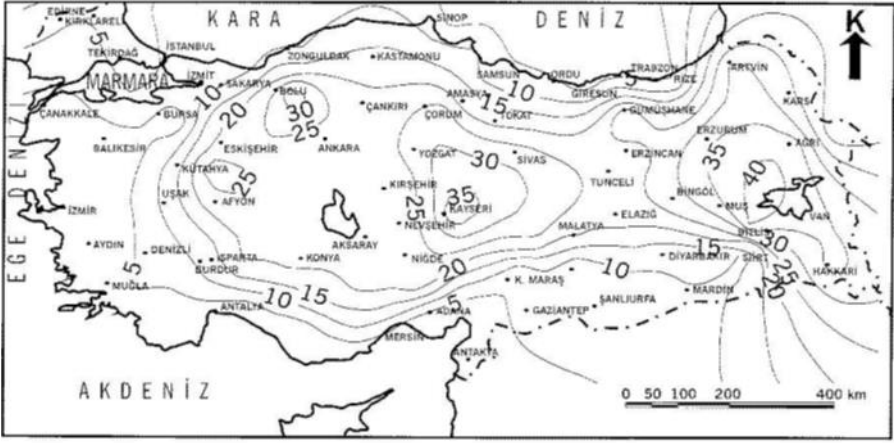
GİRİŞ

Zeminler, soğuk iklim şartlarının belirgin olarak yaşandığı bölgelerde yılda en az birkaç kez donma-çözünme olayına maruz kalmaktadırlar. Buna bağlı olarak, donma-çözünme olayının zemin davranışı üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Donma-çözünmenin zemin parametreleri üzerinde önemli derecede etkisi vardır. Bu etkinin incelenmesi geoteknik mühendisliği çalışma konuları içerisinde yer almaktadır. Yol, hava alanı ve boru hattı dolguları gibi önemli yapıların tasarımında donma olayının etkisi özellikle dikkate alınmaktadır. Çünkü, donma-çözünme olayının tekrarlanması yollarda duraysızlığa, yol kaplamasının şeklinin bozulmasına ve yolun kullanışsız hale dönüşmesine neden olmaktadır. Ülkemizde de soğuk iklim şartlarının belirgin olarak görüldüğü ve yol ağlarının geniş olduğu düşünüldüğünde kullanılan ve yeni yapılacak olan yollarda donma-çözünme etkilerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

İklim, zeminin mühendislik özelliklerini etkileyen faktörlerden biridir. Zeminin tipi, yapısı ve agregasyon derecesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Zemin-su içeriği değişiklikleriyle ortaya çıkan ıslanma-kuruma ve hava sıcaklığındaki değişimlerle meydana gelen donma-çözünme olayları, zeminin şekillenmesi ve bozulmasında etkilidir. Zeminler, mevsimsel değişimlere bağlı olarak farklı sıcaklık ve nem rejimlerine maruz kalmaktadır. Bu değişimler, zeminlerin fiziksel durumunu ve birçok özelliğini etkilemektedir. Zeminin nem durumundaki değişiklikler, yağış, sulama, kapiler yükselme, güneşlenme ve rüzgar gibi faktörlere bağlı olarak ıslanma ve kurumaya neden olmaktadır. Bu süreçlerde donma çözünme olayları da sıcaklıkla birlikte etkili olmaktadır (Utomo vd., 1982; Rajaram ve Erbach, 1998; Six vd., 2004; Lipson ve Schmidt, 2004; De Oliveira vd., 2005). Araştırmalar, zeminin iklim koşullarına bağlı olarak donma-çözünme süreçlerinin önemli olduğunu ve toprağın fiziksel durumunu, özellikle zemin ve agreganın yapısını etkilediğini göstermektedir (Kvaerno ve Oygarden, 2006; Benoit, 1973; Bullock vd., 1988; Mastaghimi vd., 1988; Sönmez, 1994; Şahin vd., 1999; Cruse vd., 2001; Bronick ve Lal, 2005). Kar yağışlı soğuk bölgelerde, donma genişmesi ve çözünme olayı sonrasında agregaların taşıma kapasitesindeki geçici bozulmanın ulaşım imkanlarının kötüleşmesini ve fonksiyonların kaybını hızlandırdığı düşünülmür (Ishikawa, 2015). Türkiye 4 mevsimi de belirgin bir şekilde yaşandığı bir kuşakta yer almaktadır. Kış mevsimini belirgin şekilde yaşanması sebebiyle yollarımızın donma-çözünme etkisine maruz kalacağı kaçınılmaz bir gerçektir. Ayrıca deneylerin uygulandığı bölge açısından da düşünüldüğü taktirde yıllık donma-çözünme periyotları, Şekil 1'de sunulan harita, Türkiye genelindeki 100 adet meteoroloji istasyonundan elde edilen son 20 yıla ait yağış ve sıcaklık verilerine dayanarak oluşturulmuştur. Buna göre, Bilecik ilinin donma-çözünme periyodu

yıllık eş donma-çözünme periyot haritasına göre 5-20 arasında olduğu tespit edilmiştir. (Binal, 1996; Ayyıldız, 2003).

Bu çalışmada, zeminlerin donma çözünmeye maruz kalmadan önceki mukavemeti belirlenmiş, aynı zemin numunelerinin donma çözünmeye 4-12-20 çevirim maruz kaldıktan sonraki mukavemeti belirlenmiş ve zeminlerin dayanımında meydana gelen değişimler karşılaştırılarak incelenmiştir.



Şekil 1. Türkiye için hazırlanan eş donma-çözünme haritası
(Binal, 1996; Ayyıldız, 2013)

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Bu çalışmada, mermer atıklarının yol yapımında kullanılmasının donma çözünme davranışı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Deney numuneleri için iki farklı malzeme kullanılmıştır. Bunlar agrega ve mermer atıklarıdır. Agregaya, Karayolları 14. Bölge Müdürlüğü tarafından onaylanmış olan İncirli taş ocağından temin edilen kireç taşı cinsi kırmataştır. Bu agrega, ocakta bulunan konkasör yardımı ile çeşitli boyutlarda (ocakta 0-5 mm, 5-12 mm, 12-19 mm ve 19-38 mm) kırılarak stoklanmıştır. Deneyler için kullanılacak malzemeler, stoktan uygun numune alma yöntemleriyle seçilerek laboratuvar ortamına taşınmıştır. Mermer atıkları ise Bilecik'in Yenipazar ilçesindeki bir mermer ocağından elde edilmiştir. Moloz olarak alınan mermer atıkları (75 mm-150 mm çapında) laboratuvar ortamında mini konkasör yardımı ile kırılarak belirli boyutlarda (0-38 mm) numuneler elde edilmiştir. Mermer atıkları uygun eleklerle eleme yapılarak İncirli taş ocağından elde edilen agregaların boyutlarına uygun şekilde sınıflandırılmıştır.

Ayrıca, Karayolları 14. Bölge Müdürlüğü sorumluluk sahasında bulunan (Bursa-İnegöl) Ayrımı-Yenişehir (Bilecik-Osmaneli) Ayrım Yolu KM:25+000-314+50 ile Yenişehir Güney Geçişi KM: 0+000-7+419,06 Kesimlerin Yapım İşi'nde kullanılmak üzere deneyler sonucunda dizaynı belirlenen TİP-1 PM temel tabakası karışım oranlarına göre (Çizelge 1.) ve belirli şekillerde homojen karışımlar hazırlanmıştır. Bu karışımların ayrıntıları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. TİP-1 PM temel tabakası karışım oranları

Elek Açıklıkları (İnch)	(mm)	0-5 (mm)	5-12 (mm)	12-19 (mm)	19-38 (mm)	Karışım %100	KTŞ 402. Kısım PMT TİP-1		Dizayn Tolerans Limitleri	
		%44	%16	%10	%30					
1-1/2"	37,5				100	100	100			
1"	25,4				54	86	72	100	79	93
¾"	19		100	100	15	75	60	92	68	82
3/8"	9,5		82	1		57	40	75	50	64
No 4	4,75	100	6			45	30	60	38	52
No10	2,00	70	1			31	20	45	26	36
No 40	0,425	33				15	8	25	10	20
No 200	0,075	14				6	0	10	4	8

Çizelge 2. Oluşturulan karışım tipleri

Karışım No	0-5 mm	5-12 mm	12-19 mm	19-38 mm
Karışım-1	Agrega	Agrega	Agrega	Agrega
Karışım-2	Atık	Agrega	Agrega	Agrega
Karışım-3	Agrega	Atık	Agrega	Agrega
Karışım-4	Agrega	Agrega	Atık	Agrega
Karışım-5	Agrega	Agrega	Agrega	Atık

Yöntem

Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ) kapsamında, yol üst yapısı temel malzemelerinin standartlarını belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Bu deneyler, İncirli taş ocağından temin edilen agrega ve Yenipazar İlçesinde bulunan mermer ocaklarından temin edilen atık mermer numunelere uygulanmıştır. Mermer atıklarının donma çözünme davranışı üzerine etkisini görmek için kapalı sistem donma çözünme deneyi yapılmıştır. Bu deneyde

ASTM D6035 standardından yararlanılmıştır. Modifiye proktor deneyleri sonucunda belirlenen optimum su içeriğinde hazırlanan numunelerin; anlık ve 7 günlük kür süreleri ve 4, 12, 20 çevirim donma-çözünme sonrası CBR deneyi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kür süresi dolan numuneler Şekil 2’de görüldüğü gibi kapalı sistem donma çözünme cihazına yerleştirilir ve (24 ± 2) saat $(-19)^{\circ}\text{C}$ ’de ve ardından (24 ± 2) saat $(+21)^{\circ}\text{C}$ ’de sıcaklıklara maruz bırakılır. 24 saat donma ve 24 saat çözünme işlemi 1 donma çözünme çevrimine karşılık gelmektedir. Çevirim süresini tamamlayan numuneler CBR test cihazında basınç uygulanır ve sonuçlar kaydedilir. Deneylerden elde edilen sonuçlar, donma-çözünme çevrimine maruz kalmamış numunelerin CBR değerleriyle karşılaştırılıp yorumlanmıştır.



Şekil 2. Kapalı sistem donma-çözünme cihazı

SONUÇLAR

Belirli bir gradasyona sahip temel tabakasının mekanik özellikleri üzerinde iklim şartlarının etkilerini belirlemek için optimum su muhtevasında ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkta numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneler iki grup olarak hazırlanmıştır. Birinci grup anlık, ikinci grup ise 7 gün kür uygulanan numunelerden oluşmaktadır. Daha sonra bu iki grup numune ASTM D6035 standardına uygun olarak 4, 12 ve 20 donma ve çözünme çevrimine maruz bırakılmıştır. Her bir çevrim önce 24 saat -19°C ye sonra 24 saat $+21^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa maruz bırakılmıştır. 24 saat donma ve 24 saat çözünme işlemi 1 donma-çözünme çevrimine karşılık gelmektedir. Farklı donma-çözünme çevrimleri (4-12-20) sonunda CBR deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar, donma-çözünme çevrimine maruz kalmamış numunelerin CBR değerleriyle karşılaştırılıp yorumlanmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda numunelerin, değişen çevrim (4, 12, 20) sayılarına bağlı olarak elde edilen CBR sonuçları, 0 çevrim CBR sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 3). Hem anlık hem de 7 günlük kür sonucunda numunelere uygulanan 4. çevrimde 0 çevrime göre artış meydana gelmiştir. Karışımlarda genel olarak 4. çevrimden sonra artan çevrim sayısı ile CBR değerlerinde düşüş gözlemlenmiş ve 12. çevrim sonunda yeniden 0 çevrim CBR değerlerine doğru bir yakınsama oluşmuştur. Donma-çözünme çevrimlerinin CBR üzerindeki etkileri malzeme içerisindeki danelerin ilk olarak sıkışması ve daha sonra malzemelerde oluşabilecek parçalanmalara bağlı olarak açıklanabilir. Daneler arası sıkılaştırmanın gerçekleştiği çevrim sayılarında CBR değeri artarken, belirli bir çevrimden sonra danelerde meydana gelecek parçalanmalarla CBR değerinde bir düşüş yaşanacaktır. Karışım-1 numuneleri için donma ve çözünme ilk 4 çevrimde sıkışmanın etkisiyle CBR değerini artırmıştır. 12 ve 20 çevrim sonunda CBR’da belirgin bir şekilde düşüş görülmüştür.

Çizelge 3. CBR değerlerinin karşılaştırılması

Kür Süresi	İkame Edilen Malzeme	Karışım No	Kuru CBR %	Yaş CBR %	4 Çevrim CBR %	12 Çevrim CBR %	20 Çevrim CBR %
Anlık	Referans	Karışım-1	237,00	286,00	431,00	241,00	161,00
	0-5	Karışım-2	200,00	213,00	420,00	427,00	256,00
	5-12	Karışım-3	222,00	232,00	316,00	322,00	222,00
	12-19	Karışım-4	210,00	254,00	441,00	245,00	190,00
	19-38	Karışım-5	232,00	237,00	446,00	335,00	291,00
7 gün	Referans	Karışım-1	278,00	321,00	356,00	293,00	187,00
	0-5	Karışım-2	220,00	246,00	227,00	201,00	187,00
	5-12	Karışım-3	236,00	254,00	265,00	211,00	198,00
	12-19	Karışım-4	244,00	263,00	291,00	195,00	189,00
	19-38	Karışım-5	243,00	274,00	287,00	255,00	226,00

Çizelge 3'e göre, tüm karışım tiplerinin yaş CBR değerleri kuru CBR değerlerinden daha yüksektir. Ortamda bulunan su içeriğinin optimum değerinden doyma değerine değiştirilmesiyle, test edilen tüm karışımların CBR değerlerinde artış gözlenmiştir. Bu artış, aşağıdaki denklem (1) kullanılarak hesaplanmıştır. (Domitrovic, vd., 2016).

$$\Delta\text{CBR} = \left(\frac{\text{CBR}(96\text{h})}{\text{CBR}(\text{omc})} - 1 \right) \times 100 [\%] \quad (1)$$

CBR(omc): Optimum su muhtevasında test edilmiş numunelerin CBR değeridir,

CBR(96h): 96 saat suda bekletildikten sonra test edilen numunelerin CBR değeridir.

Çizelge 4. Kuru ve yaş CBR değerlerindeki değişim

	Anlık				
	Karışım-1	Karışım-2	Karışım-3	Karışım-4	Karışım-5
CBR(omc)	237,00	200,00	222,00	210,00	232,00
CBR(96h)	286,00	213,00	232,00	254,00	237,00
$\Delta\text{CBR}\%$	21	7	5	21	2
	7 Gün Kür				
	Karışım-1	Karışım-2	Karışım-3	Karışım-4	Karışım-5
CBR(omc)	278,00	220,00	236,00	244,00	243,00
CBR(96h)	321,00	246,00	254,00	263,00	274,00
$\Delta\text{CBR}\%$	15	12	8	8	13

Su içeriğinin CBR değeri üzerindeki etkisi büyük ölçüde doğal agreganın tipine bağlıdır (Domitrovic vd., 2016). Çizelge 4'ten genel olarak, CBR değerindeki en büyük değişimin, agregadan oluşan Karışım-1 numunesinde olduğu görülmektedir.

Kuru ve yaş CBR değerleri karşılaştırıldığında, referans olarak alınan Karışım-1 numunesinin CBR değerinin diğer tüm karışım tiplerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumun sebebi, referans malzemenin düşük Los Angeles aşınma değerine ve düşük yassılık indeksi değerine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Los Angeles aşınma değeri, malzemenin aşınma ve darbeler karşısında parçalanma ve bunun sonucunda oluşacak dayanım kayıpları hakkında bilgi verir. Dayanım kayıplarını en aza indirmek için bu değerlerin düşük olması istenmektedir. Aşınma deneyi sonucunda mermer atığı, agregaya göre %11 daha fazla aşınma göstermiştir. Bu fark, referans malzemenin CBR değerinin, içinde mermer atığı parçalarının bulunduğu diğer karışımlardan daha yüksek olmasını açıklamaktadır (Karışım-2, Karışım-3, Karışım-4, Karışım-5).

Sonuç olarak, referans malzeme dışındaki karışım tiplerinin yüksek aşınma değerine sahip olması, karışıma eklenen yüksek aşınma değerine sahip mermer atığı parçalarından kaynaklanmaktadır. Yassılık indeksi incelendiğinde, yine aynı şekilde referans malzemenin yassılık indeksi değerinin, diğer karışım tiplerinde

oluşturulan numunelerin yassılık indeksi değerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Bu düşüş, referans malzeme dışındaki karışımlara, referans malzemenin yassılık indeksi değerine göre daha yüksek yassılık indeksi değerine sahip mermer atık parçalarının eklenmesinden kaynaklanmaktadır.

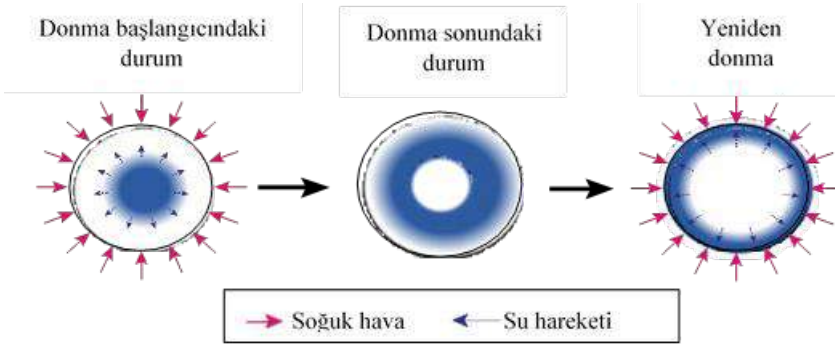
Yassı agregaların yüksek yassılık indeksi nedeniyle çekme dayanımlarının düşük olduğu ve çevresel etkilere ve trafik etkisine maruz kaldıklarında kolayca aşınıp kırılabilirler. Ayrıca, yassı veya ince-uzun daneli agregaların kullanılması stabiliteyi olumsuz etkileyebilir. Bu tür agregalar, kısa eksen boyunca uygulanan bir yük ile kolayca kırılıp bozulabilir ve serim sırasında segregasyona yol açabilir (Şenol, 2010). Dolayısıyla yassı agregalar üzerine dört taraftan gelecek olan basınçlara karşı istenilen mukavemeti sağlayamayacaktır. Yapılan deneylerde mermer atığının yassılık indeksi değerinin referans malzemenin yassılık indeksi değerine göre %12.50 daha düşük olduğu bulunmuştur. Bu nedenle, referans malzemesinin CBR değeri, mermer atıklarıyla oluşturulan karışımların CBR değerinden daha yüksek çıkmıştır.

Anlık ve 7 günlük kür sonuçlarına göre, karışımların kuru ve yaş CBR değerleri karşılaştırıldığında genellikle en düşük değerlere Karışım-2'de ulaşıldığı görülmüştür. Bu durumun sebebi, Karışım-2'ye %44 oranında giren 0-5 mm boyutlu mermer atığı parçalarından kaynaklandığı düşünülmektedir. 0-5 mm boyutlu mermer atığı malzemesinin diğer agregalarla bağlantı sağlayamadığı ve bu malzemenin bağlayıcı özellikte olmadığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, numunelerde istenilen oranda sıkışma sağlanamamıştır ve bu durum CBR değerlerinin diğer karışım tiplerinin CBR değerlerinden daha düşük olmasına yol açmıştır.

Yapılan bu çalışmada tüm CBR deneyleri, modifiye proktor deneyi sonucunda bulunan optimum su muhtevalarına göre hazırlanan karışımlar (K-1, K-2, K-3, K-4, K-5) üzerinde yapılmıştır. CBR deneyi sonrasında bulunan su muhtevaları Çizelge 5.'de verilmiştir. Anlık ve 4. çevrim sonunda KTŞ'nde belirtildiği üzere, karışımların su muhtevaları $w_{opt} \pm 2$ sınır değerleri arasında kalmıştır. 12 ve 20. çevrim sonunda bu sınır değerlerin üstünde sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçların elde edilmesinde, donma-çözünme çevrim sayılarının artması ile su muhtevasında yaşanan artış etkili olmuştur.

Şekil 3.'te donma nedeniyle dane gözeneklerindeki su hareketinin şematığı gösterilmiştir. Agregada daneleri düşük sıcaklığa maruz bırakıldığında, dane yüzey sıcaklığı düşüktür, iç sıcaklık ise başlangıç aşamasında yüksektir. Bu da danede sıcaklık gradyanı ile sonuçlanır. Bu sıcaklık gradyanı suyun termal akış yönünde akışına neden olur. Zaman geçtikçe dane içerisindeki sıcaklık dengelenir ve suyun hareketi sona erer. Bu şartlar altında çözülme olayı gerçekleşirse, danenin yüzeyindeki gözenek su içeriği başlangıçtaki duruma göre artar ve yeniden

donma, suyun yüzey civarında ilave yığılmasına neden olur (Kawabata vd., 2016).



Şekil 3. Donma nedeni ile dane gözenek suyunun hareketi

Çizelge 5. Donma-çözünme çevrim sayısına göre numunelerin su muhtevası

Çevrim Sayısı	Kür Süresi	Anlık					7 Günlük				
	Karışım	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5
0	Optimum Su Muhtevası (w_{opt})	4,50	4,50	4,56	4,58	4,55	4,50	4,50	4,56	4,58	4,55
	Alt Yüzey (w_{alt})	4,41	4,48	3,98	3,87	3,72	3,76	4,18	4,26	3,47	4,15
	$w_{alt}-w_{opt}$	-0,09	-0,02	-0,58	-0,71	-0,83	-0,74	-0,32	-0,30	-1,11	-0,40
	Üst Yüzey ($w_{üst}$)	5,56	4,45	4,75	4,53	4,25	5,16	4,47	4,54	4,03	5,04
	$w_{üst}-w_{opt}$	1,06	-0,05	0,19	-0,05	-0,30	0,66	-0,03	-0,02	-0,55	0,49
	Ortalama (w_{ort})	4,99	4,47	4,37	4,20	3,99	4,46	4,33	4,40	3,75	4,60
	$w_{ort}-w_{opt}$	0,48	-0,04	-0,19	-0,38	-0,57	-0,04	-0,18	-0,16	-0,83	0,05
4	Alt Yüzey (w_{alt})	4,15	3,49	4,37	4,68	4,12	4,65	3,64	4,00	4,41	4,21
	$w_{alt}-w_{opt}$	-0,35	-1,01	-0,19	0,10	-0,43	0,15	-0,86	-0,56	-0,17	-0,34
	Üst Yüzey ($w_{üst}$)	4,48	3,75	5,53	4,58	4,60	5,43	4,05	4,77	5,04	4,70
	$w_{üst}-w_{opt}$	-0,02	-0,75	0,97	0,00	0,05	0,93	-0,45	0,21	0,46	0,15
	Ortalama (w_{ort})	4,32	3,62	4,95	4,63	4,36	5,04	3,85	4,39	4,73	4,46
	$w_{ort}-w_{opt}$	-0,19	-0,88	0,39	0,05	-0,19	0,54	-0,66	-0,18	0,15	-0,09
	Alt Yüzey (w_{alt})	5,43	4,64	5,06	4,81	4,57	4,83	4,28	4,16	4,92	4,64
12	$w_{alt}-w_{opt}$	0,93	0,14	0,50	0,23	0,02	0,33	-0,22	-0,40	0,34	0,09
	Üst Yüzey ($w_{üst}$)	6,11	4,46	6,93	5,87	5,66	4,95	4,29	5,59	5,38	6,82
	$w_{üst}-w_{opt}$	1,61	-0,04	2,37	1,29	1,11	0,45	-0,21	1,03	0,80	2,27
	Ortalama (w_{ort})	5,77	4,55	6,00	5,34	5,12	4,89	4,29	4,88	5,15	5,73
	$w_{ort}-w_{opt}$	1,27	0,05	1,44	0,76	0,57	0,39	-0,22	0,32	0,57	1,18
	Alt Yüzey (w_{alt})	5,96	4,94	5,51	6,98	5,04	5,74	5,74	5,51	5,39	4,91
	$w_{alt}-w_{opt}$	1,46	0,44	0,95	2,40	0,49	1,24	1,24	0,95	0,81	0,36
20	Üst Yüzey ($w_{üst}$)	6,59	4,68	6,07	6,52	6,50	6,28	6,28	5,70	6,42	6,70
	$w_{üst}-w_{opt}$	2,09	0,18	1,51	1,94	1,95	1,78	1,78	1,14	1,84	2,15
	Ortalama (w_{ort})	6,28	4,81	5,79	6,75	5,77	6,01	6,01	5,61	5,91	5,81
	$w_{ort}-w_{opt}$	1,78	0,31	1,23	2,17	1,22	1,51	1,51	1,05	1,33	1,26

Çizelge 6. Anlık kür sonunda donma-çözünme CBR değerleri

		Anlık			
		Anlık	4 Çevrim	12 Çevrim	20 Çevrim
Karışım-1	CBR(omc)	237,00	431,00	241,00	161,00
	Δ CBR%		82	2	-32
Karışım-2	CBR(omc)	200,00	420,00	427,00	256,00
	Δ CBR%		110	114	28
Karışım-3	CBR(omc)	222,00	316,00	322,00	222,00
	Δ CBR%		42	45	0
Karışım-4	CBR(omc)	200,00	441,00	245,00	190,00
	Δ CBR%		121	23	-5
Karışım-5	CBR(omc)	232,00	446,00	335,00	291,00
	Δ CBR%		92	44	25

Çizelge 7. 7 gün kür sonunda donma-çözünme CBR değerleri

		7 Gün Kür			
		Anlık	4 Çevrim	12 Çevrim	20 Çevrim
Karışım-1	CBR(omc)	278,00	356,00	293,00	187,00
	Δ CBR		28	5	-33
Karışım-2	CBR(omc)	220,00	227,00	201,00	187,00
	Δ CBR		3	-9	-15
Karışım-3	CBR(omc)	236,00	265,00	211,00	198,00
	Δ CBR		12	-11	-16
Karışım-4	CBR(omc)	244,00	291,00	195,00	189,00
	Δ CBR		19	-20	-23
Karışım-5	CBR(omc)	243,00	287,00	255,00	226,00
	Δ CBR		18	5	-7

Donma-çözünme çevrim sayıları sonucunda CBR değerlerindeki değişim (2) nolu denklem yardımı ile oluşturulmuş ve Çizelge 6. ve Çizelge 7.'de verilmiştir (Domitrovic, vd., 2016).

$$\Delta\text{CBR}=\left(\frac{\text{CBR}(d\check{c})}{\text{CBR}(\text{omc})}-1\right)\times 100[\%] \quad (2)$$

CBR(omc): Optimum su muhtevasında test edilmiş numunelerin CBR değeridir,

CBR(dç): Donma-çözünme çevrimi sonrası test edilen numunelerin CBR değeridir.

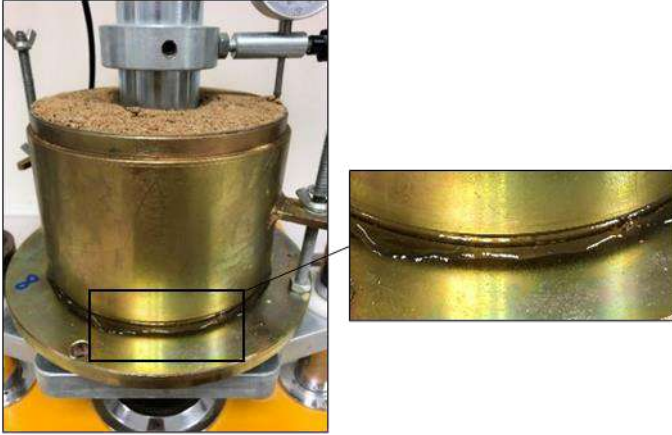
Donma-çözünmeye karşı dayanıklılık büyük ölçüde agreganın içsel ve dışsal parametrelerine bağlıdır. Gözeneklilik, su içeriği ve çözülmemiş tuzlar donmaya maruz bırakılan agreganın performansını önemli ölçüde etkiler (Yates ve Mauko, 2008; Lindqvist vd., 2007). Donmaya bağlı genişmiş gözenek suyu agreganın aşınmasına ve kırılmasına neden olabilecek önemli basınçlar üretebilir ve yol temel tabakalarında rijitliğin düşüşüne katkıda bulunan bozunmaya neden olabilir (Arm, 2001; Rosa, 2006).

Donma-çözünme çevrim sayılarına bakıldığında (Çizelge 6. ve Çizelge 7.) 4. çevrim sonunda tüm karışım tiplerinin CBR değerlerinde bir artış meydana gelmiştir. CBR değeri malzemenin dayanımı ile ilgili bir kavram olduğundan artış sadece malzemenin dayanımında yaşanacak bir yükselmeye veya sıkışmanın daha iyi sağlanması ile mümkün olacaktır. Donma-çözünme sürecinde malzemenin dayanımında artışa sebep olacak herhangi bir durum olmadığından CBR değerindeki artışın, agregaların az miktarda da olsa hareket etmesi ile sıkışma değeri üzerinde bir miktar artışa sebep olacağı düşünülmektedir. Kawabata vd.'nin 2016 yılında yaptığı çalışmada ve Soleimanbeigi vd.'nin 2015 yılında yaptığı çalışmada donma neticesinde bir hacim artışı yaşandığı ve bu süreçteki hacim artışının dane gözeneklerindeki suyun donma nedeniyle boşluklara zorla gönderilmesi ile agrega danelerinin de bir miktar hareket edeceğini belirtmiştir. Bu fiziksel durumun boşluk yapısını değiştireceğini ve bundan dolayı CBR değerini etkileyeceğini belirtmişlerdir (Kawabata vd., 2016), (Soleimanbeigi vd., 2015). 12 ve 20 çevrim sonunda CBR değerleri genel olarak düşüş göstermiştir. En büyük düşüş referans malzeme olan Karışım-1'de gerçekleşmiştir. Bu düşüşün malzeme içerisindeki suyun hacim genişlemesi sonucunda, danelerin hareketinin daha fazla olduğu ve danelerin kenarlarında kopma ve kılcal çatlakların oluşmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Buda malzemenin dayanımında olumsuz bir etki

yaratmaktadır. Dayanımda gerçekleşen bu düşüklükte CBR değerlerinde bir azalmaya neden olmuştur. Benzer şekilde Yates ve Mauko (2008) yaptığı çalışmada 12. çevrim sonunda malzemede ince çatlaklar oluştuğunun gözlemlemiştir (Yates ve Mauko, 2008).

Çizelge 5'te görüldüğü üzere çevrim sayısının artması ile numunenin su muhtevasında artmıştır. Çizelge 5.'te 12 ve 20. çevrimler için gösterilen su muhtevaları normalde daha fazladır. Şekil 4'te görüldüğü üzere özellikle 12 ve 20. çevrim sonunda CBR ölçümü yapılırken pistonun numuneye baskı uyguladığı anda kalıp tabanından bir miktar su kaybı gerçekleşmiştir. Bu kayıp su muhtevası belirlenirken hesaplara dahil edilememiştir. Su muhtevasındaki bu artış donmadan dolayı malzemede daha fazla bir dayanım düşüklüğü yaşanmasına sebep olmuştur. Malzemede yaşanan kopma ve çatlakların 20 çevrim sonuna kadar devam ettiği ve CBR değerlerinin giderek azaldığı görülmüştür. Benzer şekilde Kawabata vd, 2016 yılında Japonya'nın Hokkaido bölgesinde yaptıkları çalışmada soğuk bölgelerde yol kaplamasının iç kısmının kış boyunca donduğunu ve alt tabaka zemindeki hacim artışının sürtünme ve çatlamalara neden olduğunu belirtmişlerdir. Don olayından dolayı hacim genişlemesine maruz kalan yol alt tabakasının çözülmesi, taşıma kapasitesinde düşüşe ve kaplamada bozulmalara neden olduğunu açıklamışlardır (Kawabata vd., 2016).

Anlık ve 7 günlük kür sonucunda 4 çevrim ile 20 çevrim arasındaki CBR değerindeki en büyük düşüş referans malzeme olan Karışım-1'de yaşanmıştır. CBR değerindeki düşüşün, donma-çözünmenin daneler üzerinde yaptığı kopma ve çatlama sonucundaki dayanım düşüklüğünden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan su emme deneyi sonuçlarına göre agrega mermer atığına göre %45.7 daha fazla su emme oranına sahiptir. Karışım-1'i oluşturan agrega malzemesinin su emme oranının, içerisinde mermer atığı parçalarının bulunduğu diğer karışımlara göre daha yüksek olması beklenir. Yüksek su emme oranına sahip agrega daneleri bünyesinde daha fazla su bulundurarak donma neticesinde daha fazla kopma ve çatlama maruz kalacaktır. Bu kopma ve çatlamalardaki yüksek oranlar referans karışımın CBR değerinin diğer karışımların (Karışım-2, Karışım-3, Karışım-4, Karışım-5) CBR değerinden daha fazla düşüşe neden olmuştur.



Şekil 4. CBR deneyi sırasında yaşanan su kaybı

Çizelge 8. Donma sonrası taşıma kapasitesinin değişimi (Kawabata vd., 2016)

Su İçeriği Durumları	Dane yüzey suyu durumu		Boşluk yapısı		Taşıma Gücü
	Donma Öncesi	Donma Sonrası	Şekil	Değişim	Değişkenlik Durumu
Kuru				Yok	Yok
Hava ile Kurutulmuş				Yok	Eskiye dönebilir. (Sürtünme değişikliği)
Yaş				Orta	Eskiye dönemez. (Yapısal değişiklik)
Doymuş				Büyük	Eskiye dönemez. (Yapısal değişiklik)

Çizelge 8. donma-çözünme etkileri nedeniyle taşıma kapasitesindeki düşüşleri özetlenmiştir. Dane gözenek suyu donma neticesinde dane yüzeyine hareket eder. Bu da daneler arası sürtünmede ve boşluk yapısında değişimlere neden olur. Değişimin miktarı su içeriği ile değişir ve eğer yalnızca daneler arası sürtünme değişirse taşıma kapasitesindeki düşüş geri alınabilir. Bununla birlikte eğer boşluk yapısı önemli miktarlarda değişmiş ise taşıma kapasitesi eski haline gelmez (Kawabata vd., 2016).

Donma-çözünme deney sonuçlarına göre genel olarak ilk 4 çevrimde CBR değerlerinde bir artış ve daha sonraki çevrimlerde bir düşüş yaşanmıştır. Elde edilen tüm deney sonuçlarına göre mermer atığı KTŞ (2013)'te belirtilen

kriterleri sağlamış karayolu esnek üstyapılarında temel tabakasında agrega olarak kullanımı uygun bulunmuştur. Mermer atıklarının endüstriyel atık olarak depolanması zor bir süreçtir. Bu nedenle, bu atıkların geri dönüşümü ve beton ile yol malzemesi olarak kullanılması çevre kirliliğinin önlenmesi için önemlidir. Ayrıca, uzun süredir kullanılan mermerin geri dönüşüm potansiyeli, mühendislikte yapı malzemesi olarak kullanılmasını sağlar. Bu nedenle, yol gibi uzun ömürlü yapılar için doğal taşların donma-çözünme süreçlerindeki fiziksel ve mekanik özelliklerinin önemi vurgulanmaktadır. Tüm kayaçların, kökenlerinden bağımsız olarak, Mutlutürk vd. (2004) tarafından belirtildiği gibi laboratuvar ortamında donma-çözünme dayanıklılığı gibi atmosferik etkilere karşı test edilmesi gerekmektedir. Bu testler sonucunda en az bütünlük kaybına sahip olan kayaçlar yol temel malzemesi olarak tercih edilmelidir.

Yapı malzemesi olarak seçilecek kaya malzemelerinin donma-çözünme sürecine karşı davranışlarının önceden belirlenmesi, inşaat firmalarına prestij kazandırırken kişilere ve ülke ekonomisine büyük katkılar sağlamaktadır. Yol gibi yapıların inşasında, donma-çözünme sürecinden etkilenmeyen veya minimum etkilenen agregaların tercih edilmesi, yolların uzun süreli korunmasına yardımcı olmaktadır. Ülkemizde ve dünyada mevcut ve planlanan yollar, donma-çözünme sürecinden sonra bozunmaya yol açan yeraltı veya yüzey sularının yol kesitinden uzaklaştırılmasıyla tasarlanmalıdır. Bu şekilde donma-çözünme etkileri azaltılmaya çalışılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Arm, M. (2001). Self-cementing properties of crushed demolished concrete in unbound layers: Results from triaxial tests and field tests. *Waste Management*, 21, 235-239.
- Benoit, G.R., 1973. Effect of freeze-thaw cycles on aggregate stability and hydraulic conductivity of three soil aggregate sizes. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 37, 3-5.
- Binal A., (1996). *Aksaray-Ihlara Vadisindeki Volkanosedimanter Kayaçlarda Görülen Duyarsızlık Mekanizmalarının Araştırılması*. H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Bullock, M.S., Kemper, W.D., Nelson, S.D., 1988, Soil cohesion as effected by freezing, water content, time and tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52, 770-776.
- Bronick, C.J., Lal, R., 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124, 22.
- Cruse, R.M., Roberto, M., Mize, C.W., 2001, Surface residue effects on erosion of thawing soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65, 178-184.
- De Oliveira, T.S., De Costa, L.M., Schaefer, C.E., 2005, Water-dispersible clay after wetting and drying cycles in four Brazilian oxisols, *Soil and Tillage Research*, 83, 260-269.
- Domitrovic, J., Rukavina, T., Dimter, S., (2016). Effect Of Moisture Content and Freeze-thaw Cycles On Bearing Capacity Of RAP/Natural Aggregate Mixtures, *4th International Conference on Road and Rail Infrastructure*, 237-243, Sibenik Croatia
- Ishikawa, T., (2015). Advanced Laboratory Tests On Granular Materials For Transportation Facilities In Cold Regions, *The first China-Japan Mini Workshop on High Speed Railway Geotechnics*, Beijing, CHINA
- Kawabata, S., Ishikawa, T. ve Kamayama, S., 2016. Effects of Freeze-Thaw History on Bearing Capacity of Granular Base Course Materials, *The 3rd International Conference on Transportation Geotechnics*, 143, 828-835
- Kvaerno, S.H., Oygarden, L., 2006. The influence of freeze–thaw cycles and soil moisture on aggregate stability of three soils in Norway, *Catena*, 67 (3),175-182.
- Lindqvist, J.E., Malaga, K., Middendorf, B., Savukoski, M., & Pétursson, P., 2007, ‘Frost resistance of natural stone, the importance of micro and nano porosity’, www.sgu.se/dokument/fou_extern/Lindqvist-et-al_2007.pdf, last visited on 29th of October, 2007.
- Lipson, D.A., Schmidt, S.K., 2004, Seasonal changes in an alpine soil bacterial community in the Colorado Rocky Mountains, *Applied Environmental Microbiology*, 70(5), 2867-2879.

- Mostaghimi, S., Young, R.A., Wilts, A.R., Kenime, A.L., 1988. Effects of frost action on soil aggregate satability, *Trans of ASAE*, 31(2), 435-439.
- Mutlutürk, M., Altındağ, R., Türk, G. 2004. A Decay Function Model for the Itegrity Loss of Rock When Subjected to Recurrent Cycles of FreezingThawing and Heating-Cooling, *Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci.*, 41, 237-244.
- Rajaram, G., Erbach, D.C., 1998, Drying stres effect on mechanical behavior of a clay-loam soil. *Soil and Till. Res.*, 49(1-2), 147-158.
- Rosa, M. (2006). Effect of freeze and thaw cycling on soils stabilized using fly ash (MS Thesis). University of Wisconsin-Madison, Madison, WI.
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., Denef, K., 2004, A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organik matter Dynamics, *Soil and Tillage Research*, 79(1), 7-31.
- Soleimanbeigi, A., Shedivy, R.F., Tinjum, J. F. & Edil, T.B., 2015, Climatic effect on resilient modulus of recycled unbound aggregates, *Road Materials and Pavement Design*, 16:4, 836-853, DOI: 10.1080/14680629.2015.1060250
- Sönmez, K., 1994, *Toprak Koruma*. Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları,169, 192.
- Şahin, Ü., Canbolat, M.Y., Anapalı, Ö., 1999. DÇ koşullarının bazı toprak-su parametreleri üzerine etkisi, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30, 41-47.
- Şenol, A., (2010). *Karayolu Yol Üst Yapısı*. Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 63.
- Utomo, W.H., Dexter, A.R., 1982, Changes in soil aggregate water stability induced by wetting and drying cycles in non-saturated soil, *J. Soil Sci.*, 33, 623-637.
- Yates, T., ve Mauko, A., (2008). Freeze Thaw Susceptibility of Natural Stone Characterization of the Mechanical Strength and Microstructure During Frost Cycling, *11.DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components*, İstanbul.

12. Bölüm

Endüstriyel Tip Ön Isıtıcılı Siklon Ayırıcı Tasarımı ve İmalatı

Alaattin Metin KAYA^{1*}
Salih COŞKUN²

¹ Doç. Dr., Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye

* Corresponding author: Tel.: +90 224 294 06 59, alaattinkaya@uludag.edu.tr

² Prof. Dr., Teknik Bilimler MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye

ÖZET

Siklon ayırıcılar merkezkaç kuvvetin etkisiyle gaz akımından partikülleri ayırmak için kullanılan en yaygın ayırıştırıcılardandırlar. Basit yapılı oluşu, ucuz olması, yüksek sıcaklık ve basınçlarda kullanılabilmesi başlıca tercih edilme nedenleri arasındadır. Çimento endüstrisinde kullanılan ön ısıtıcı siklonlar, kurutma sanayinde kullanılan kurutma siklonlar ve değişik amaçlı siklon tiplerine endüstride sıkça rastlanmaktadır. Siklon ayırıcılar performans açısından değerlendirilirken iki önemli parametre göz önünde bulundurulur. Bunlar basınç kaybı ve toz tutma verimliliğidir. Hem basınç kaybı hem de toplama verimliliği, Siklon ayırıcı boyutları ile birlikte değişebilmektedir. Bu çalışmada endüstriyel tip ön ısıtıcı siklon, ayırıştırıcı siklon performans kriterleri dikkate alınarak tasarlanmış ve başarılı bir şekilde imal edilmiştir. Koni ucu çapının, toplama verimi ve basınç kaybına etkisini daha iyi anlayabilmek amacıyla yapılan deneysel incelemelerde, sistemi ve ölçme aletlerini hiç değiştirmeden sadece ayrılma odasını değiştirerek sonuç elde edebilmek amacıyla flanşlı ayrılma odaları imal edilerek, sistemde sadece söz konusu beş ayrılma odası değiştirilmesiyle ve ölçme aletlerinin sökülüp tekrar takılmasına ihtiyaç duymadan sonuç eldesine olanak tanınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Siklon ayırıcı, basınç kaybı, toz tutma verimliliği, endüstriyel tasarım

1. Giriş

Siklon ayırıcılar merkezkaç kuvvet yardımı ile katının gazdan ayrılması işleminde kullanılan sabit parçalı cihazlardır. Siklon ayırıcılar birçok maksat için kullanılmasından dolayı birçok çeşit siklon tipi vardır [1], [2]. Siklon ayırıcılar, maden endüstrileri, çimento endüstrileri, tekstil, kimya ve ilaç endüstrileri gibi çeşitli endüstrilerde akışkanlardan (gaz-katı) partikül uzaklaştırma için yaygın olarak kullanılmaktadır [3].

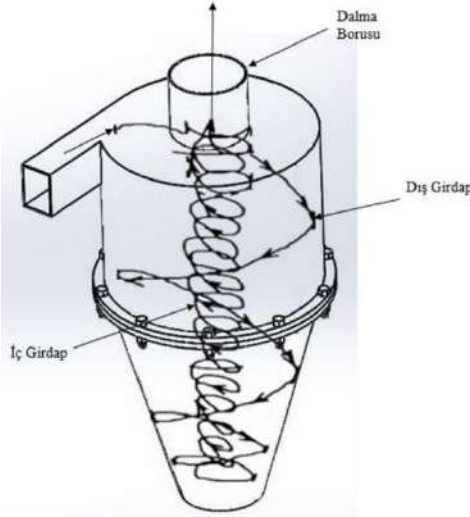
Çimento endüstrisinde ısı değiştirici olarak kullanılan ön ısıtıcı siklonlar, çok kademeli olarak çimento prosesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Döner fırından kullanım sonrası çıkış yapan yüksek sıcaklıktaki baca gazları ısı enerjisini çimento hammaddesi olan farine (kireçtaşı+kil) verir [4]. Bu şekilde geri kazanılan ısı enerjisi ile çimento hammaddesi kalsinasyon sıcaklığına yaklaştırılır. Bu durum enerji tasarrufu ve egzoz gazı emisyonları açısından önemli bir kazanımdır [5]

Siklonlar kullanım amaçlarına göre bir takım avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz [6]:

- ✓ Kurulum maliyetinin düşük olması,
- ✓ Diğer ayırıcı türlerine göre basit yapılı olması,
- ✓ Proses işletimi esnasında tutulan birim toz miktarı başına basınç kaybının düşük olması,
- ✓ Sıcaklık ve basınç kaybı ile kısıtlamaların tasarım parametrelerine ve malzemelerine bağlı olması,
- ✓ Toz tutulumunun ve boşaltılmasının kuru olması,
- ✓ Az yer kaplaması.

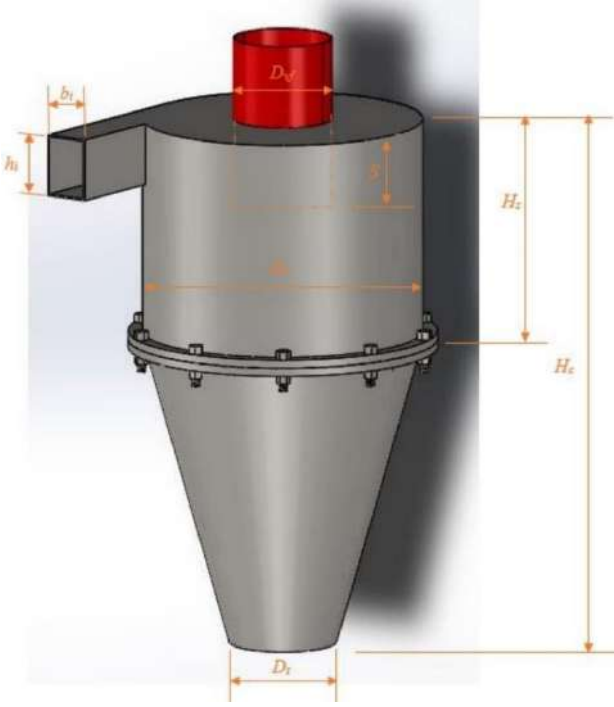
Bir Siklon ayırıcının performansının değerlendirilmesinde kullanılan iki önemli kriter bulunmaktadır. Bunlar basınç kaybı ve toz tutma verimliliğidir [7], [8].

Siklon ayırıcı performansını etkileyen parametrelerin belirlenebilmesi için Siklon ayırıcı içerisinde oluşan akışın mutlaka anlaşılması gerekir. Şekil 1 ters akışlı bir Siklon ayırıcı içerisinde oluşan akış modelini göstermektedir.



Şekil 1 Siklon ayırıcı içerisinde oluşan akış modeli

Siklon ayırıcı içerisindeki akışkan (baca gazı+farin), yüksek dönme bileşenine sahip silindirik hazneye teğetsel olarak girer. Akış, aksel hız bileşeninin kendisini tersine çevirdiği ve böylece akışın yükselmesini sağladığı belirli bir aksel konuma kadar duvarın yakınında dönerek alçalır. Buna girdap son konumu denir. Yükseliş siklon eksenine yakınında ilerler ve akış dönüşü devam ettiği için şekilde gösterildiği gibi çift girdaplı bir yapı oluşur. İç girdap, sonunda akışın dalma borusu adı verilen merkezi bir kanaldan çıkmasına neden olur. Dalma borusu, hem iç girdabı yüksek giriş hızından korumaya hem de stabilize etmeye hizmet eden siklon gövdesi içinde çıkıntı yapar. Bu özel akış yapısına yol açan ters çevirmenin, görünüşe göre siklonun içindeki basınç alanından kaynaklandığını ve konik şekil veya geometrik uzunluktan doğrudan etkilenmediğini de belirtmek gerekir [9].



Şekil 2 Ters akışlı bir siklonun ana parçaları ve boyutları

Şekil 2 ters akışlı bir siklonun ana parçaları ve boyutları üç boyutlu olarak göstermektedir. Bu kısımlar sırasıyla giriş yüksekliği; h_i , giriş genişliği; b_i , gaz çıkış çapı; D_e , çıkış borusu uzunluğu; S , silindir yüksekliği; H_s , siklon yüksekliği; H_c , ve toz çıkış çapı; D_t . Siklon tasarımının hedefi, bu boyutların tespit edilerek verilen işleme maliyetini en büyük verimlilikte elde etmektir.

Siklon performansında önemli olan iki parametre birbirlerine karşı ters açıdan etkilemektedir. Bu iki parametreden biri iyileşirken diğerinde kötüleşme meydana gelmektedir. Bundan dolayı bu iki parametreden basınç kaybının meydana geldiği yerlerin iyi bir şekilde tespit edilerek optimizasyon yapılması gerekir [10], [11]. Siklonlarda basınç kayıplarının meydana geldiği yerler aşağıda sıralanmıştır [12].

- 1) Siklon odasına baca gazı girdiği zaman gazın genişlemesinden kaynaklanan kayıplar,
- 2) Siklon odasındaki rotasyonel kinetik enerji kaybından kaynaklanan kayıplar,
- 3) Siklon odasındaki duvar sürtünmesinden kaynaklanan kayıplar,
- 4) Çıkış borusundaki ilave sürtünme kayıpları,
- 5) Basınç enerjisi olarak rotasyonel kinetik enerjinin tekrar kazanılmasından kaynaklanan kayıplar.

Yapılan literatür çalışması sonucunda siklon basınç kaybına Siklon ayırıcı boyutlarının etkisi aşağıda ifade edilmiştir [13].

1. Diğer boyutlar değiştirilmediği için siklonun silindirik ve konik kesitlerinin uzunluğu artmasıyla teğetsel siklonlarda basınç düşüşü artar.
2. Dalma borusunda temiz gazın artmasıyla basınç düşüşü artar.
3. Yataya göre (horizon) siklonun konik kesitinin eğim açısı β 'la basınç düşüşü azalır.
4. Siklon giriş borusunun kesit alanının azalmasıyla basınç düşüşü artar.
5. Siklonun giriş kanalının şekli basınç düşümünü etkiler.

2. Materyal ve Metot

Basın kaybına neden olan siklonun kesitler göz önünde bulundurularak optimum boyutlarının belirlenmesi gerekir. Endüstriyel tip ön ısıtıcılı siklon üç boyutlu tasarımı yapılmıştır (Şekil 2). Katı model olarak tasarlanan siklon ayırıcı imalat dosyalarına dönüştürülmüştür. Ayrıca alt ve üst kısımların bağlantısını sağlamak için talaşlı imalat yöntemi ile flanş bağlantı elemanları üretilmiştir.

2.1. Siklon Ayırıcı Gövde

Siklon imalatı için siyah çelik (EN10025-2) levha tercih edilmiştir. Lazer kesim ile oluşturulan parçalar istenilen şekillere dönüştürülmüştür. Şekillendirilen bu parçalar kaynaklı imalat ile birleştirilmiştir.



Şekil 3 Siklon ayırıcı gövde

2.2. Flanşlı Ayrılma Odası

Farklı koni ucu çaplarının etkisinin daha kolay incelenebilmesi için, sabit bir sistemde ve düzenekte, sadece farklı koni ucu çaplarına sahip ayrılma odalarının değiştirilmesi ile incelemenin yapılabilmesi amacıyla flanşlı birleştirme yöntemi kullanılarak farklı ayrılma odalarının montaj ve demontaj işlemlerinin gerçekleştirilmesine olanak tanınmıştır. Şekil 4'te hazırlanan flanşlı birleştirme ve flanşlı ayrılma odası gösterilmektedir. Flanşların hava sızdırmasını engellemek için ara yüzeye conta sızdırmazlık elemanı koyularak somun-cıvata bağlantı elemanlarıyla birleştirilmiştir.



Şekil 4 Flanşlı birleştirme (a) ve flanşlı ayrılma odası (b)

2.3. Koni Uçları

Siklonun montajında kullanılmak üzere farklı koni ucu çaplarına sahip flanşlı ayrılma odaları hazırlanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5 Beş farklı koni ucu çapına sahip ayrılma odaları

2.4. Dalma borusu

Siklon performansının incelenmesi sabit değerlerde yapılabileceği gibi, birbirini etkileyen koşullarda incelenmesi daha sağlıklı sonuçlar sağlayacağı nedeniyle farklı dalma borusu uzunluklarında ve farklı hızlarda incelenebilecek siklonlar tasarlanmıştır. Uzunluğu değiştirilebilen dalma borusu Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 6 Dalma borusu

2.5. Siklon Ayırıcı

Daha verimli çalışacak siklon, dolayısıyla da çevresel kirliliğinin önlenmesine katkı sağlamak amacıyla beş farklı koni ucuna sahip siklon, sadece flanşlı bağlantılardan sökülüp bağlanarak incelenmesine olanak sağlanmıştır. Tasarımı ve imaları gerçekleştirilen siklonlar koni ucu çaplarına göre Tip 1-5 sınıflandırılmıştır.

Tip 1: 50 mm çaplı koni ucuna sahip siklon ayırıcı

Tip 2: 70 mm çaplı koni ucuna sahip siklon ayırıcı

Tip 3: 90 mm çaplı koni ucuna sahip siklon ayırıcı

Tip 4: 110 mm çaplı koni ucuna sahip siklon ayırıcı

Tip 5: 130 mm çaplı koni ucuna sahip siklon ayırıcı.

Yapılan montaj sonunda elde edilen ön ısıtıcı siklon ayırıcıya ait gerçek imalat görüntüsü Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7 Siklon ayırıcı montajı

Siklon ayırıcılar ile ilgili çok sayıda mevcut araştırma olmasına karşın, koni ucu çapının etkisi hakkında literatürde eksiklik görülmüştür [14], [15]. Bazı araştırmacılar siklon ayırıcı için matematiksel ifadelerde öneme sahip olduklarını, dolayısıyla verimi etkileyeceğini söylerken, bazı araştırmacılar yapılan hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) analizleri sonucuna dayanarak öneminin az olduğunu, bazıları ise yine aynı CFD analizlerine dayanarak önemli olduğunu söylemektedir. Hem literatürdeki eksikliğe katkı sağlamak hem de siklonların çevresel kirliliği önlemesine katkı sağlamak amacıyla beş farklı çapta koni ucuna sahip siklonlar deneysel olarak incelenebilmektedir.

3. Sonuçlar

Literatürde yapılan incelemeler sonucunda siklon ayırıcıların boyutsal parametreleri üzerinde birçok sayıda hem teorik hem de deneysel çalışmalar yapıldığı ve hatta devam ettiği gözlenmiştir. Özellikle siklon ayırıcıların boyutlarının siklon performansı üzerindeki etkisi ile ilgili teorik yaklaşımlar önem arz etmektedir. Ancak gerçek şartlara uygun deneysel düzeneklerin kurulması ve performans üzerinde etkili olan birçok faktörden dolayı deneysel çalışmalardaki zorluk nedeniyle deneysel çalışmalar kısıtlı sayıda kalmaktadır. Bu çalışmada, endüstriyel amaçlı ön ısıtıcı siklon ayırıcı bilgisayar destekli tasarım sonrasında, tasarlanan bu proje endüstri açısından önemli ve değerli bilimsel sonuçlar elde edilebilmesi için başarılı bir şekilde imal edilmiştir. İmal edilen bu endüstriyel siklon ayırıcı ile literatürden elde edilen sonuçlar da göz

önünde bulundurularak, hızlı, güvenilir ve çok sayıda deney gerçekleştirilmesine olanak tanınmıştır.

Teşekkür:

Bu çalışma Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından KUAP (MH)-2020/13 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi olarak desteklenmiştir.

Referanslar

- [1] H. Yoshida, "Effect of apex cone shape and local fluid flow control method on fine particle classification of gas-cyclone," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 85, pp. 55–61, 2013, doi: 10.1016/j.ces.2012.01.060.
- [2] A. Avci, I. Karagoz, and A. Surmen, "Development of a new method for evaluating vortex length in reversed flow cyclone separators," *Powder Technol.*, vol. 235, pp. 460–466, 2013, doi: 10.1016/j.powtec.2012.10.058.
- [3] O. R. Nassaj, D. Toghraie, and M. Afrand, "Effects of multi inlet guide channels on the performance of a cyclone separator," *Powder Technol.*, vol. 356, pp. 353–372, 2019, doi: 10.1016/j.powtec.2019.08.038.
- [4] P. Saneipoor, G. F. Naterer, and I. Dincer, "Heat recovery from a cement plant with a Marnoch Heat Engine," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 31, no. 10, pp. 1734–1743, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.02.016>.
- [5] S. Karellas, A.-D. Leontaritis, G. Panousis, E. Bellos, and E. Kakaras, "Energetic and exergetic analysis of waste heat recovery systems in the cement industry," *Energy*, vol. 58, pp. 147–156, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.097>.
- [6] D. Leith and D. Mehta, "Cyclone performance and design," *Atmos. Environ.*, vol. 7, no. 5, pp. 527–549, 1973, doi: [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(73\)90006-1](https://doi.org/10.1016/0004-6981(73)90006-1).
- [7] M. Azadi, M. Azadi, and A. Mohebbi, "A CFD study of the effect of cyclone size on its performance parameters," *J. Hazard. Mater.*, vol. 182, no. 1–3, pp. 835–841, 2010, doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.06.115.
- [8] K. W. Chu, B. Wang, D. L. Xu, Y. X. Chen, and A. B. Yu, "CFD-DEM simulation of the gas-solid flow in a cyclone separator," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 66, no. 5, pp. 834–847, 2011, doi: 10.1016/j.ces.2010.11.026.
- [9] C. Cortés and A. Gil, "Modeling the gas and particle flow inside cyclone separators," *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 33, no. 5, pp. 409–452, 2007, doi: 10.1016/j.pecs.2007.02.001.
- [10] S. Demir, "A practical model for estimating pressure drop in cyclone separators: An experimental study," *Powder Technol.*, vol. 268, pp. 329–338, 2014, doi: 10.1016/j.powtec.2014.08.024.
- [11] K. Elsayed Khairy and C. Lacor, "Optimization of the cyclone separator geometry for minimum pressure drop using mathematical models and CFD simulations," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 65, no. 22, pp. 6048–6058, 2010, doi: 10.1016/j.ces.2010.08.042.
- [12] C. B. Shepherd and C. E. Lapple, "Flow Pattern and Pressure Drop in Cyclone Dust Collectors," *Ind. Eng. Chem.*, vol. 31, no. 8, pp. 972–984,

Aug. 1939, doi: 10.1021/ie50356a012.

- [13] B. Hashemi Shahraki, “The Development and Validation of New Equations for Prediction of the Performance of Tangential Cyclones,” *Int. J. Eng.*, vol. 16, no. 2, pp. 109–124, 2003.
- [14] K. Elsayed and C. Lacor, “Numerical modeling of the flow field and performance in cyclones of different cone-tip diameters,” *Comput. Fluids*, vol. 51, no. 1, pp. 48–59, 2011, doi: 10.1016/j.compfluid.2011.07.010.
- [15] J. Gimbut, T. G. Chuah, T. S. Y. Choong, and A. Fakhru’l-Razi, “Prediction of the effects of cone tip diameter on the cyclone performance,” *J. Aerosol Sci.*, vol. 36, no. 8, pp. 1056–1065, 2005, doi: 10.1016/j.jaerosci.2004.10.014.

13. Bölüm

Basit Gözleme Dayalı Elle Taşıma İşlerinde Kullanılan Ergonomik Risk Analiz Yöntemlerinin İncelenmesi

Mustafa GÜNAYDIN¹

Gülseren GÜNAYDIN²

Murat Salih GEDİKLİ³

¹ Öğr. Gör.; Karadeniz Teknik Üniversitesi Araklı Ali Cevat Özyurt MYO, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü. İş Sağlığı ve Güvenliği Programı. mustafagunaydin@ktu.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-7753-8541.

² Öğr. Gör., Trabzon Üniversitesi, Tonya MYO, İlk ve Acil Yardım Programı, gunaydingulseren@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2471-5329.

³ Öğr. Gör.; Karadeniz Teknik Üniversitesi Araklı Ali Cevat Özyurt MYO, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü. İş Sağlığı ve Güvenliği Programı. msgedikli@ktu.edu.tr, ORCID No: 0000-0001-5689-6094.

ÖZET

Ergonomi çalışanların sağlığı ve güvenliği korumak için ideal bir işyeri ortamı oluşturmaktır. Çalışanın makine ve çevreyle uyumunun teknik yöntemlerin kullanılmasıyla çalışana doğal ve risk barındırmayan bir çalışma ortamının oluşturulması gerekir. Teknolojide yaşanan değişimlere rağmen çalışma alanlarında insan faktörü önemli bir yer almaktadır. Üretimden müşteriye kadar olan bütün aşamalarda insan odaklı faaliyetlerin tümünde elle taşıma işleri yapılmaktadır. Malzemelerin yüklenmesi, boşaltılması, bir yerden başka bir yere taşınması, kaldırılması, itilmesi vb. faaliyetlerin çalışma hayatına var olan elle taşıma işlerindedir. Aynı şekilde alış-verişten sonra malzemelerin taşınması, ev eşyalarının temizlenmesi sırasında itilmesi ve kaldırılması gibi durumlarda sosyal hayatımızda yaptığımız elle taşıma işlerindedir. Dolayısıyla elle taşıma işi sadece çalışma hatayı içerisinde yer almayan sosyal yaşantımızda da var olan basit bir eylem değildir. Çalışmamızda literatür taramaları neticesinde elde edilen veriler ışığında iş sağlığı ve güvenliği açısından elle taşıma işinin önemi ve yapılan işin niteliğine göre basit gözleme dayalı elle taşıma işlerinde kullanılan risk analiz yöntemlerini açıklayarak güvenli bir elle taşıma işinin yürütülmesi amaçlanmaktadır. Bu yöntemler içerisinde yürütülen işin türüne uygun risk analizi seçilerek meydana gelebilecek olumsuz durumların proaktif uygulamalarla çalışanlar korunmuş ve işyeri ortamı güvenli hale getirilmiş olacaktır. Bu bakımdan çalışmamızda verilecek olan yöntemlerin kullanılmasıyla iş verimliliği artacak, çalışanların sağlığı korunacak ve işle ilgili zorluklar ortadan kaldırılmış olacaktır.

Anahtar Kelimeler: ACGIH-TLV, Ergonomi, MAC, NIOSH Kaldırma Denklemi, Snook Tabloları, Risk Analizi

GİRİŞ

Elle taşıma işlemleri hemen hemen tüm sektörlerde bulunan faaliyetler içerisinde yer almaktadır. Sektörlerin toplam çalışan sayısı düşünüldüğünde ise elle yapılan taşıma, kaldırma, itme, yer değiştirme işlemleri iş sağlığı ve güvenliği bakımında önemli bir yere sahiptir. Dolayısıyla elle yapılacak olan işlerin kullanılacak olan makinenin, çalışma ortamının ve çalışanın tam bir uyum içerisinde olası gerekmektedir. Sağlıklı bir çalışma ortamı oluşturularak meydana gelebilecek kazalar ve sağlık sorunlarının önüne geçilmiş olacaktır. Bunun sağlanması çalışanın iş yaşam dengesinin sağlanmasına, iş tatmininin artmasına ve tükenmişlik durumlarının azalmasına neden olacaktır. Bu sayede sadece çalışan değil işverenin giderlerinde azalma meydana gelecektir.

Çalışma hayatımızda üretim kaynaklarını verimli kullanarak üretim artışının sağlanması amacıyla teknolojik alt yapıdan yararlanılmaktadır. Üretim kaynaklarının kullanılmasında insan merkezi konumdadır. İnsanın hem üretim kaynaklarının kullanılmasında hem de iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla insanın makine ve çevre ile uyumlu hale getirilmesi önem arz etmektedir (Sabancı ve ark., 2012).

Ergonomi ikinci dünya savaşı sırasında tanınmaya başlayan bir alan olmuştur. Teknoloji ve insan bilimleri ilk defa sistematik ve eşgüdümlü bir şekilde kullanılmıştır. Fizyologlar, psikologlar, antropologlar, tıp doktorları, iş bilim insanları ve mühendisler birlikte sorunlardan kaynaklanan problemleri birlikte değerlendirmeye almışlardır. Bunların sonuçlarında disiplinler arası yaklaşımlar umut verici bir hal almıştır. Dolayısıyla ikinci dünya savaşından sonra da endüstride iş birliği devam etmiştir. 1949 yılında “ergonomi” terimi kabul edildi. Bunu 1961 yılında şu anda ergonomiyi temsil eden “Uluslararası Ergonomi Birliği'nin” (IEA) kurulması izlemiştir. Ergonomi kelimesi Yunanca “ergon” (iş) ve “nomos” (yasa) kelimesinden türetilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nde “insan faktörleri” terimi sıklıkla kullanılmıştır. Ergonomiyi; Cihazları, teknik sistemleri ve görevleri sağlayacak şekilde tasarlamak ve insan güvenliğini, sağlığını, konforunu ve performansını iyileştirmek olarak tanımlayabiliriz. IEA ergonomi tanımı ise insanlar arasındaki etkileşimlerin anlaşılmasıyla ilgilenen bilimsel bir disiplindir ve bir sistemin diğer unsurları ve bunları uygulayan meslektir. Ayrıca insan refahını ve genel sistem performansını optimize etmek için tasarıma yönelik teori, ilke, veri ve yöntemler olarak tanımlayabiliriz (Dul and Weerdmeester, 2001).

Ergonomi, çok sayıda sosyal sorunun çözümüne (güvenlik, sağlık, konfor, verimlilikle vb.) katkıda bulunabilir. Günlük iş, trafik ve ev kazaları gibi olayların yanı sıra vinçler, uçaklar ve nükleer güç istasyonlarını içeren felaketler genellikle insan hatasına atfedilebilir. Bunların analizlerinin sonuçlarında başarısızlıkların

nedeninin genellikle operatörlerin ve operatörlere ait görevlerin arasındaki zayıf ve yetersiz ilişki olduğu görülmektedir. Kazanın meydana gelme olasılığını çalışanların veya insanların yeteneklerinin yaptıkları işlerle ilgili olarak daha uyumlu hale getirilmesiyle azaltılabilir (Babalık, 2018). Dolayısıyla ergonomik bir çalışma sistemi oluşturabilmek için yapılabirlik, dayanıla bilirlilik, kabul edebilirlilik, hoşnutluk ve kendini gerçekleştirire bilirlilik ölçütlerinin sağlanması gereklidir (İncir, 1998; Turan, 2007; Mert, 2014).

ELLE TAŞIMA İŞLERİ VE KAS İSKELET SİSTEMİ RAHATSIZLIKLARI

Resmî Gazetenin 24.07.2013 tarih ve 28717 sayılı “*Elle Taşıma İşleri Yönetmeliği*’ne” göre;

- ✓ Bir veya birden fazla çalışanın bir yükü,
- ✓ Kaldırması,
- ✓ İndirmesi,
- ✓ İtmesi,
- ✓ Çekmesi,
- ✓ Taşınması veya
- ✓ Hareket ettirmesi

gibi faaliyetler esnasında, işin türüne veya uygun olmayan ergonomik koşullar nedeniyle özellikle bel veya sırtın incinmesiyle sonuçlanabilecek riskleri kapsayan nakletme veya destekleme işleri “elle taşıma” işi olarak tanımlanmaktadır (Resmî Gazete Sayısı: 28712). Bu faaliyetlerin yapılması esnasında gerekli önlemlerin alınmaması, uygun yöntemlerin kullanılmaması ve işe uygunsuzluk gibi durumların var olması yapılan işe özgü meslek hastalıklarının ortaya çıkmasını sağlayacaktır.

Uluslararası Çalışma Örgütü (International Labour Organisation-ILO) meslek hastalıklarını dört grup içerisinde sınıflandırmaktadır. Bunlar iş faaliyetlerinden kaynaklanan ajanlara maruziyet ile meydana gelen meslek hastalıkları, hedef organ sistemlerinden kaynaklanan meslek hastalıkları, mesleki kanserler ve diğer hastalıklar olarak sınıflandırmaktadır. Hedef organ sistemlerinden kaynaklanan meslek hastalıkları içerisinde elle taşıma işinin doğru ve etkili yöntemler kullanılmayarak yapılması neticesinde “*kas iskelet sistemi hastalıkları*” meydana gelmektedir. Bağlarda, sinirlerde, kıkırdakta, tendonlarda, kaslarda, disklerde (omurga) ve birleşme noktalarında meydana gelen rahatsızlıklardır. Çalışma hayatımızda elle taşıma işleri esnasında yapılan işler çalışan üzerinde zarar oluşturan durumlar değildir. Fakat rutin hale getirilen, ani hareket olarak yapılan çalışmalar neticesinde kas-iskelet sisteminde bozulmalara ve yırtılmalara neden

oluyor. Bu durumların rutin hale gelmesi ve çalışanların kanıksama durumlarının artması kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının kademe kademe oluşmasına neden olmaktadır. Yani yapılan işe özensiz davranılması ani hareketlerin yapılması ve rutinleştirilmesi neticesinde aylar veya yıllar sonra kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları ortaya çıkmaktadır (Akay ve ark., 2003; Özel ve Çetik, 2010; ÇSGB, 2016; Babalık, 2018)

ELLE TAŞIMA İŞLERİNDE RİSK FAKTÖRLERİ

Elle Taşıma İşleri Yönetmeliğinde, yükün elle taşınmasına ilişkin risk faktörleri; Yükün özellikleri, fiziksel güç gereksinimi, çalışma ortamının özellikleri, işin gerekleri ve bireysel risk faktörleri olarak sınıflandırma yapılmıştır. Yükün özellikleri kısmında eğer yük çok ağırsa, büyükse, kaba veya kavranması zorsa, dengesiz veya içindekiler yer değiştiriyorsa, vücuttan uzakta tutulmasını veya vücudun eğilmesini veya bükülmesini gerektiren bir konumdaysa, özellikle bir çarpma halinde yaralanmaya neden olabilecek yoğunluk ve şekildeyse, elle taşınması, bilhassa sırt ve bel incinmesi riskine neden olabilir. Fiziksel güç gereksiniminde eğer iş çok yorucu ise, gövdenin (belden yukarısı) dönmesi ile yapılabiliyorsa, yükün beklenmedik, ani hareketi ile sonuçlanıyorsa, vücut dengesiz bir pozisyonda iken yapılıyorsa, bedenen çalışma şekli ve harcanan güç, bilhassa sırt ve bel incinmesi riskine neden olabilir. Çalışma ortamının özelliklerinde çalışma ortamı ile ilgili olarak çalışılan yer, işi yapmak için yeterli genişlik ve yükseklikte değil ise, zeminin düz olmamasından kaynaklanan düşme veya kayma tehlikesi varsa ve zemin veya üzerinde durulan yer dengesiz ise, çalışma ortam ve şartları, çalışanların yükleri güvenli bir yükseklikte veya uygun bir vücut pozisyonunda taşınmasına uygun değil ise, işyeri tabanında veya çalışılan zeminlerde yüklerin indirilip kaldırılmasını gerektiren seviye farkı varsa, sıcaklık, nem veya havalandırma uygun değil ise, özellikle sırt ve bel incinmesi riski söz konusudur. İşin gerekleri kısmında özellikle vücudun belden dönmesini gerektiren aşırı sık veya aşırı uzun süreli bedensel çalışmalar, yetersiz ara ve dinlenme süresi, aşırı kaldırma, indirme veya taşıma mesafeleri, işin gerektirdiği, çalışan tarafından değiştirilemeyen çalışma temposu bilhassa sırt ve bel incinmesi riskine neden olabilir. Bireysel risk faktörlerinde çalışanlar yapılacak işi yürütmeye fiziki yapılarının uygun olmaması, uygun olmayan giysi, ayakkabı veya diğer kişisel eşyaları kullanmaları, yeterli ve uygun bilgi ve eğitime sahip olmamaları, durumunda risk altında olabilirler (Resmî Gazete Sayısı: 28712). Dolayısıyla tehlike belirleme ve risk analizi çalışmalarında kişisel risk faktörleri gözden kaçmamalıdır.

RİSK DEĞERLENDİRMESİ

İş sağlığı ve güvenliği (İSG) çalışmalarında işveren ve yönetici pozisyonunda olanlar çalışma alanlarındaki tehlikelerin riske dönüşmesine engel olması gerekir. Yapılacak olan işin türü, niteliği ve maruziyeti gibi durumların belirlenip işe özgü tehlikelerin tespiti yapılması son derece önemlidir. Bu durumların işyeri bünyesinde bir politika oluşturulup amaçlar belirlenmelidir. Amaçlar doğrultusunda hedefler konulmalı ve tüm uygulamalar faal bir şekilde yürütülmelidir. Yapılan tüm bu işlemleri “risk analizi/değerlendirmesi” olarak tanımlayabiliriz. Dolayısıyla 6331 İSG kanunu kapsamında işverenler risk değerlendirmesi yapmak veya yaptırmak zorundadırlar. Risk değerlendirmesini de “İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği” ulusal ve uluslararası kaynakların dokümanlarının kullanılmasıyla gerçekleştirilebilir. Ve bu yönetmelik kapsamında işyerlerinin tehlike sınıflarına göre {az tehlikeli (altı yılda bir), tehlikeli (dört yılda bir) ve çok tehlikeli (iki yılda bir)} gerçekleştirmeleri gerekmektedir (Resmî Gazete Sayısı: 28512).

Çalışma alanlarında yapılacak olan bir risk değerlendirme çalışmasında yürütülen iş ile ilgili tüm faktörlerin değerlendirilerek öncelikle bir tehlike avı yapılması gerekir. Devamında belirlenen tehlikeler için risk değerlendirmesi yapılmalıdır. Sonrasında yapılan faaliyet ve işe özgü risk analizi metodu belirlenerek etkin bir çalışma yapılmalıdır. Yapılan bu çalışmalarla ilgili sürekli olarak iyileştirme (kaize) çalışmaları yapılarak Deming Döngüsü (PUKO) içerisinde aksayan yönere yönelik değerlendirme ve iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır.

Elle yapılacak olan faaliyetlere yönelik risk değerlendirme içerisinde yer verilmeli, problemler ve çözüm önerileri sunulmalıdır. Şekil 1, 2 ve 3’te bu durumlar ile ilgili olarak dikkat edilmesi gereken durumlar ve çözüm önerileri hakkında genel bilgiler verilmiştir (HSE-UK, 2023).

Değerlendirme yapılırken bakılması gereken sorunlar	Riske bağlı yaralanmaları azaltmanın yolları
<p>Görev esnasında;</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Vücuttan uzakta tutulan yük,▪ Bükülme, alçalma ya da yukarı uzama,▪ Uzun taşıma mesafeleri,▪ Yorucu itme ve çekme işlemleri,▪ Tekrarlayan işlemler,▪ Yetersiz dinlenme süreleri,▪ Prosesten kaynaklı hızlı çalışma gerekliliği, mevcut müdür?	<p>Aşağıda belirtilen düzenlemeler yapılabilir mi?</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Kaldırma ekipmanı kullanmak,▪ Verimliliği arttırmak için işyeri düzenini iyileştirmek,▪ Bükülme ve alçalma miktarını azaltmak,▪ Özellikle ağır yüklerde zemin seviyesinden ve omuz hizasının üstünden kaldırmadan kaçınmak,▪ Taşıma mesafelerini azaltmak,▪ Tekrarlayan hareketleri azaltmak,▪ Bir grup kas çalışırken diğer grup dinlenecek şekilde işi çeşitlendirmek,▪ İtme yerine çekme işi gerçekleştirmek
<p>Yük;</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Ağır ve hantal,▪ Kavranması zor,▪ Dengesiz ya da beklenmedik anda hareket edebilen (hayvan gibi),▪ Zararlı (keskin, sıcak veya soğuk),▪ Biçimsiz bir yığın,▪ Gürtüş alanını kapatacak kadar hacimli, özelliğini taşımakta mıdır?	<p>Yük;</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Daha hafif ya da daha az hacimli,▪ Daha kolay kavranabilir,▪ Daha dengeli,▪ Eşit yığılmış <p>hale getirilebilir mi?</p> <p>Eğer yük farklı bir yerden alınıyorsa, kavranması kolay ve daha küçük paketler halinde tedarik edilip edilemeyeceği sorgulanabilir.</p>

Şekil 1. Görev Esnasında ve Yük Varlığında Dikkat Edilmesi Gereken Durumlar

Çalışma ortamında var olan durumların değerlendirilmesinde termal koşullar, zemin, aydınlatma gibi durumların değerlendirilmesi; bireysel durumlar için çalışanın fiziki durumu, işe uygunluğu, sağlık durumu, yaş, cinsiyet vb. durumların değerlendirme yapılırken dikkat edilmesi gerekmektedir (Şekil 2).

Değerlendirme yapılırken bakılması gereken sorunlar	Riske bağlı yaralanmaları azaltmanın yolları
<p>Çalışma ortamında;</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Duruş kısıtlamaları, ▪ İnşili-çıkışlı, kaygan ya da engel bulunan zeminler, ▪ Zeminde seviye farkları, ▪ Sıcak, soğuk, nemli koşullar, ▪ Rüzgar ya da diğer güçlü hava hareketleri, ▪ Zayıf aydınlatma koşulları, ▪ Hareketlerde kişisel koruyucu donanım ya da kıyafetlerden kaynaklı kısıtlamalar <p>mevcut müdür?</p>	<p>Aşağıda belirtilen düzenlemeler yapılabilir mi?</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Serbest dolaşım engellerini kaldırmak, ▪ Daha iyi bir zemin sağlamak, ▪ Seviye farkları ve dik rampaları engellemek, ▪ Aşırı soğuk ve sıcaklığı engellemek, ▪ Aydınlatma ile ilgili şartları geliştirmek, ▪ Daha az kısıtlayıcı KKD sağlamak, ▪ Çalışanların kıyafet ve ayakkabılarının işe uygunluğundan emin olmak.
<p>Bireysel kapasite ile ilgili olarak görev ve/veya görevden kaynaklı;</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ortalama kuvvet ve becerinin üstünde bir yetenek mi gerektirir? ▪ Sağlık problemi olanlar ve öğrenme ya da fiziksel olarak yetersiz kişiler tehlike içinde midir? ▪ Hamileler tehlike içinde midir? ▪ Özel bilgi ve eğitim gerektirmekte midir? 	<p>Aşağıda belirtilen düzenlemeler yapılabilir mi?</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sağlık problemi olanlar ve öğrenme ya da fiziksel olarak yetersiz kişiler için görev tanımlarını daha dikkatli belirlemek, ▪ Hamileler için ekstra özen göstermek, ▪ Çalışanlara özellikle sık karşılaşılabilecek durumlarla ilgili daha detaylı bilgi vermek, ▪ Daha fazla eğitim vermek, ▪ İşyeri hekiminden tavsiyeler almak.

Şekil 2. Çalışma Ortamında ve Bireysel Yeterlilikle İlgili Dikkat Edilmesi Gereken Durumlar

Çalışma esnasında kullanılacak yardımcı ekipmanlar ve özellikleri, çalışmaya başlamadan önce iş organizasyonu ise çalışanın, makinelerin ve çalışma ortamının (çevrenin) en ince ayrıntısına kadar çalışma yapılmalıdır (Şekil 3).

Değerlendirme yapılırken bakılması gereken sorunlar	Riske bağlı yaralanmaları azaltmanın yolları
Yardımcı taşıma ekipmanları:	Aşağıda belirtilen düzenlemeler yapılabilir mi?
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alet iş için doğru tür müdür? ▪ Korunaklı mıdır? ▪ Alet üzerindeki tekerlekler zemin için uygun mudur? ▪ Tekerlekler rahatça hareket edebilmekte midir? ▪ Tutmayı sağlayan kulplar sağlam ve kullanışlı mıdır? ▪ Herhangi bir fren sistemi var mıdır ve uygun durumda mıdır? 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Çalışma hızını ayarlamak, ▪ Görev için daha uygun bir ekipman sağlamak, ▪ Planlı önleyici bakım yapmak, ▪ Donanımın kolayca hareket edebilmesi için tekerlek, lastik ya da zemini değiştirmek, ▪ Daha kullanışlı kulplar sağlamak, ▪ Fren sistemlerini güvenli ve etkili biçimde kullanılacak şekilde düzenlemek
İş organizasyon faktörleri:	Aşağıda belirtilen düzenlemeler yapılabilir mi?
<ul style="list-style-type: none"> ▪ İş tekrarlamalı ve sıkıcı mıdır? ▪ Makine ya da sistemin çalışması tempolu mudur? ▪ Çalışanlar iş taleplerini fazla bulmakta mıdır? ▪ Çalışanların iş ve metotlarla ilgili kontrol yetkileri az mıdır? ▪ Yönetici ve çalışanlar arasındaki iletişim yetersiz midir? 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Monotonluğu azaltmak için görev değişikliği yapmak, ▪ Çalışanların becerilerinden daha fazla yararlanabilmek, ▪ İş yükünü ve tarihleri daha ulaşılabilir hale getirmek, ▪ İyi iletişim ve takım çalışmasına teşvik etmek, ▪ Alınacak kararlarda çalışanların da katılımını sağlamak, ▪ Daha iyi eğitim ve bilgi sağlamak.

Şekil 3. Yardımcı Taşıma Ekipmanları ve İş Organizasyonu Faktörleriyle İlgili Dikkat Edilmesi Gereken Durumlar

ELLE TAŞIMA İŞLERİNDE KULLANILAN RİSK DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Elle taşıma işlerinin yapılması esnasında vücuda binen fiziksel yükün insan vücudunda oluşturabileceği olumsuz durumlar kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına neden olmaktadır. İlgili durumlar bel, omurga ve sırt incinmelerine neden olacaktır. Bunun önüne geçebilmek için proaktif uygulamaların geliştirilmesi ve uygulanması gereklidir. Bu çalışmamızda basit gözleme dayalı olarak yapılan elle taşıma işlerinde kullanılan ergonomik risk değerlendirme yöntemlerine yer verilmiş [(Tablo 1), (Mert, 2014; ÇSGB, 2016; Tol ve ark. 2019; Şahin ve Top, 2021)] ve kendi aralarında bazı parametrelerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 1: Basit Gözleme Dayalı Elle Taşıma İşlerinde Kullanılan Ergonomik Risk Analiz Yöntemleri

Amerikan Endüstriyel Hijyenistler Konferansı Yük Kaldırma Eşiği	American Conference of Governmental Industrial Hygienists Threshold Limit Values-ACGIH TLV
Amerika Ulusal İş Güvenliği ve Sağlığı Enstitüsü Yük Kaldırma Endeksi	The National Institute for Occupational Safety and Health Lifting Equation – NIOSH Lifting Equation
Snook Tabloları	Snook Tables
Mital ve Arkadaşları Tabloları	Mital et. al. Tables
Anahtar Gösterge Yöntemi	Key Indicator Method-KIM
El ile Taşıma Değerlendirme Çizelgeleri	Manual Handling Assessment Charts-MAC

1. Amerikan Endüstriyel Hijyenistler Konferansı Yük Kaldırma Eşiği (American Conference of Governmental Industrial Hygienists Threshold Limit Values-ACGIH TLV):

ACGIH Kaldırma TLV'si, kaldırma işlemleri sırasında kabul edilebilir ağırlık sınırlılıkları konusunda işyerlerine rehberlik sağlamak amacıyla 2004 yılında yayınlanmıştır. Belirli kaldırma işlemleri için ağırlık TLV'leri sağlamak üzere tasarlanmıştır. Neredeyse tüm çalışanların işle ilgili bel ve/veya omuz rahatsızlıklarından koruyacak, tekrarlı kaldırma işlemleriyle ilişkili koşulların değerlendirilmesinde kullanılır. Kaldırma TLV'sini geliştiren ekip doğru, güncel ve kullanımı kolay bir kılavuz geliştirmeyi hedeflemesi gerekmektedir. Değerlendirilen vücut bölümleri öncelikle bel ve aynı zamanda omuzlardır. Bu yöntem çoğu kaldırma işlemlerini değerlendirmek için kullanılabilir ayrıca her türlü çalışma ortamında faydalı olacaktır. Kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarında ortaya çıkabilecek olumsuz tehlikeler için kuvvet, duruş, tekrarlama ve süre parametreleri dikkate alınır (ÇSGB, 2016; OHSCO, 2023).

Yöntem Uygulaması:

Kullanıcı öncelikle yöntemin değerlendirilen kaldırma işlemi için kullanılmak üzere tasarlanıp tasarlanmadığını göz önünde bulundurmalıdır. Yöntem uygunsuzsa, kullanıcının belirlemesi gerekir.

Kaldırma süresi: Kaldırma işlemi günde/vardiyada iki saatten az veya eşit süreyle mi yoksa günde/vardiyada iki saatten fazla süreyle mi yapılıyor?

Kaldırma sıklığı: Bir çalışanın saat başına gerçekleştirdiği kaldırma sayısı.

Kaldırma yükseklik bölgesi: Kaldırma yüksekliği bölgesi, kaldırma işleminin başlangıcında ellerin bulunduğu yere göre belirlenir.

Yatay konum: Çalışanın ayak bileklerinin ortasındaki bir noktadan çalışanın ellerinin ortasındaki bir noktaya kadar olan mesafe.

Kullanıcı, görev için kaldırma TLV'sini belirlemek üzere;

Gerekli ekipman:

- Mesafe ölçümü için bir şerit metre gereklidir.
- Kaldırılan nesnenin/nesnelerin ağırlığını ölçmek için bir tartı veya kuvvet ölçer gereklidir.

Sonuçların yorumlanması:

Yukarıda belirtildiği gibi, ACGIH tabloları, göreve özgü kaldırma koşulları için neredeyse tüm çalışanlar için güvenli olduğu düşünülen ağırlık değerleri sağlar (örn.: İşle ilgili bel ve omuz rahatsızlıkları geliştirmeden her gün tekrar tekrar kaldırma). Kaldırma TLV'lerinin aşıldığı her durumda uygun kontrol önlemleri uygulanmalıdır.

Sınırlamalar:

Aşağıdakilerden herhangi biri doğruysa bu yöntem kullanılmamalıdır:

- Gövde/bel her iki tarafa doğru 30 dereceden fazla dönüyorsa,
- Kaldırma işlemi günde sekiz saatten fazla yapılıyorsa,
- Kaldırma sırasında kısıtlı bir vücut duruşu kullanılır (diz çökme, kısıtlı baş mesafesi, oturma, çömelme),
- Tek elle kaldırma gereklidir,
- Kaldırma işleminin yüksek ısı ve/veya nemde yapılması,
- Kaldırılan nesnelerin dengesiz olması (kütle merkezi değişen konteynerler, insanlar, hayvanlar),
- Kaldırılan nesnenin el tutma veya kavrama noktalarının zayıf olması,
- Çalışanların ayakları dengesizse (kaygan zemin, dengesiz zemin/yüzey) bu yöntem tercih edilmez. Bu yöntem özel olarak indirme görevleri için tasarlanmamıştır ancak uygulanabilir. Ayrıca taşıma gibi diğer malzeme taşıma işlerinde kullanılamaz (itme ve/veya çekme). Çoğu risk değerlendirme yöntemlerinde olduğu gibi genel bir risk seviyesi belirlenir ancak bu seviye bireysel operatörlerin yaralanmaları çoğu risk değerlendirme yöntemlerinde olduğu gibi, bu yöntemde de bireysel faktörleri (cinsiyet, yaş veya tıbbi geçmiş gibi) hesaba katmaz (ACGIH, 2023).

2. Amerika Ulusal İş Güvenliği ve Sağlık Enstitüsü Kaldırma Eşitliği (The National Institute for Occupational Safety and Health Lifting Equation – NIOSH Lifting Equation):

NIOSH Kaldırma Denklemi ilk defa 1981 yılında yenilenmiş/geliştirilmiş ve 1991 yılında ek parametreler (bükülme, kavrama) içerecek şekilde yenilenmiştir. Bu yöntem, işyerlerine kabul edilebilir çalışma koşulları hakkında rehberlik

sağlamaktadır. Yöntemi geliştirenlere göre, kaldırma görevleri için ağırlık sınırları neredeyse tüm çalışanların kaldırma ve indirme ile ilişkili işle ilgili bel rahatsızlıklarından korunması amaçlanmıştır. Değerlendirilen vücut bölümleri bel ile sınırlıdır. Bu yöntem, bazı sınırlamalarla birlikte iki elle kaldırma ve indirme işlemlerinin değerlendirmesi için kullanılabilir. Kaldırılan öğelerin ağırlığının tutarlı olduğu işler için en kullanışlıdır. Çalışma ortamları, çalışanların “canlı olmayan” yükleri iki elle kaldırma/indirme işlemlerinin yerine getirildiği tüm çalışma ortamlarında fayda sağlamaktadır. Kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarında ortaya çıkabilecek olumsuz tehlikeler için kuvvet, duruş, tekrarlama ve süre parametreleri dikkate alınır (Waters, et. al., 1993; ÇSGB, 2016; OHSCO, 2023).

Yöntemin Uygulanması:

Kullanıcı öncelikle kaldırma görevinin NIOSH Kaldırma Denklemi kullanılarak değerlendirilip değerlendirilemeyeceğini belirlemelidir. Kullanıcı daha sonra denkleme giriş için gerekli verileri toplamalıdır.

İhtiyaç duyulan veriler:

Kaldırılan/indirilen nesnenin kg cinsinden ağırlığı. Kaldırılan nesnelerin ağırlığı kaldırılan/indirilen ağırlık farklarının, maksimum ve ortalama ağırlıklarının hesaplanması.

Kaldırma/indirme işleminin hem başlangıcında hem de sonunda ellerin cm cinsinden yüksekliği (V).

Kaldırma işleminin başlangıcından sonuna kadar ellerin cm cinsinden dikey hareket mesafesi (D).

Kaldırmanın başlangıcında ve sonunda ayak bilekleri arasındaki orta noktadan yük üzerindeki ellerin cm cinsinden yatay mesafesi (H).

Çalışan nötr bir duruşta duruyorsa, yükün çalışanın göbeğinden “dışarı çıkan” bir çizgiye göre açılma konumu. Kaldırma işleminin hem başlangıcında hem de sonunda derece cinsinden ölçülmesi (A).

Kaldırma sıklığı (dakika başına ortalama kaldırma sayısı ve toplam kaldırma süresi) (F).

Yükün ne kadar iyi kavranabildiği (tutamakların varlığına ve türüne bağlı olarak) (C).

Tüm değişkenler daha sonra çarpanlara dönüştürülür ve NIOSH Kaldırma Denklemi oluşturulur.

$$\text{Önerilen Ağırlık Limiti (RWL)} = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM$$

(LC = Yük Sabiti = 23 kg)

RWL, her bir kaldırma/indirme görevi için görevin hem başında hem de sonunda hesaplanmalıdır. Bu, özellikle çalışanların kaldırma/indirme sırasında büküldüğünde veya ellerin yatay mesafesinde kaldırma/indirme işleminin başında veya sonunda farklılık gösterir. RWL hesaplandıktan sonra, NIOSH her görev için kaldırma/indirme işleminin hem başında hem de sonunda bir *Kaldırma Endeksi (LI)* hesaplanmasını önermektedir. Kaldırma Endeksi, hesaplanan RWL'nin bir oranıdır ve kaldırılan/indirilen nesnenin gerçek ağırlığıdır.

Kaldırma Endeksi (LI) = Gerçek Yük Ağırlığı/Tavsiye Edilen Ağırlık Sınırı
Gerekli ekipman:

- Mesafe ölçümü için bir şerit metre gereklidir.
- Kaldırılan/indirilen nesne(ler)in ağırlığını ölçmek için bir kantar veya kuvvet ölçer gereklidir.
- Asimetri açısını ölçmek için bir açıölçer veya gonyometre kullanılabilir veya bu açı tahmin edilebilir.

Sonuçların yorumlanması:

NIOSH Kaldırma Denklemi ideal koşullar altında 23 kg kaldırma limitini varsayar. Koşullar idealin altına düşükçe, görev için önerilen ağırlık sınırı 23 kg'lık bu temel değerden düşürülür. NIOSH'a göre hesaplanan RWL, sağlıklı çalışanların (erkek ve kadın) yüzde 90'ı tarafından, kaldırma ile ilişkili bel ağrısı riskinde artış olmaksızın, göreve özgü koşullar altında kaldırılabilen/indirilebilen ağırlıktır (Waters, et. al., 1993; OHSCO, 2023).

3. Snook Tabloları (Snook Tables) / Liberty Mutual Elle Malzeme Taşıma Tabloları:

Yaygın olarak bilinen adıyla Snook Tabloları, farklı elle taşıma işlemleri için kabul edilebilir maksimum ağırlık limitleri (MAWL) sağlamak üzere geliştirilmiştir. Tablolardaki veriler, deneklerden ağırlık/kuvvet ayarlamaları yapmalarının istendiği "*psikofiziksel bir yaklaşım*" kullanılarak elde edilmiştir. Böylece "zorlanmadan veya olağandışı bir şekilde yorulmadan, zayıf düşmeden, nefes nefese kalmadan veya aşırı ısınmadan '*teşvik esasına*' göre tüm gün mümkün olduğunca sıkı çalışmaları sağlanacaktır". Değerlendirilen vücut bölümleri öncelikle bel, omuzlar, bacaklar ve kardiyovasküler sistem üzerindeki yüklerdir. Bu yöntem, uygun tablolar kullanılarak kaldırma, indirme, taşıma, itme ve/veya çekme görevlerinin çoğunu değerlendirmek için kullanılabilir. Her türlü çalışma ortamında faydalı bir yöntem olarak kullanılabilir (Snook and Ciriello, 1991; OHSCO, 2023).

4. El ile Taşıma Değerlendirme Çizelgeleri (Manual Handling Assessment Charts-MAC):

MAC aracı, kullanıcının yüksek riskli iş yeri elle taşıma faaliyetlerini belirlemesine yardımcı olmak için geliştirilmiştir ve kaldırma, taşıma ve ekip elle taşıma faaliyetlerinin ortaya çıkardığı riskleri değerlendirmek için kullanılabilir. Elle taşıma faaliyetleriyle ilişkili bilinen çeşitli risk faktörlerinin risk düzeyini anlamanıza, yorumlamanıza ve kategorize etmenize yardımcı olmak için tasarlanmıştır. Yüksek riskli manuel taşıma görevlerini vurgulamak için sayısal ve renk kodlamalı bir skor sistemi içerir. MAC'in kullanılması, işyerindeki yüksek riskli elle taşıma faaliyetlerinin belirlenmesine yardımcı olacaktır. Ancak MAC tüm manuel teslim işlemleri için uygun değildir ve tam bir risk değerlendirmesi içermeyebilir. Bu nedenle, tek başına güvenilmesi halinde kabul edilebilir olması muhtemel değildir. Bir risk değerlendirmesinin '*uygun ve yeterli*' olması için normalde bireysel yetenekler gibi ek bilgileri hesaba katması ve Manüel İşleme İşlemleri Düzenlemelerine (MHOR) gerekliliklere uyması gereklidir (HSE, 2023).

MAC değerlendirmesi nasıl tamamlanır?

Değerlendirmenin amacı, görevin genel risk düzeyini belirlemek ve ardından azaltmaktır. Tespit ettiğiniz riskleri kontrol altına almak için önlemler almanız gereklidir.

- Değerlendirilecek görevleri belirleyin. Zor iş olduğunu bildiğiniz veya çalışanların şikâyet ettiği şeyleri seçin.
- İşlerinden kaynaklanan elle taşıma riskleri ve bu riskleri yönetmenin ve/veya kontrol etmenin yolları hakkında çalışanlara ve temsilcilerine danışın.
- Görevi yerine getiren tüm çalışanların bakış açılarından işin gereklerine ilişkin öngörü kazanmayı hedefleyin.
- Görevi dikkatlice gözlemleyin (video çekmek yardımcı olabilir) ve normalde nasıl yapıldığına baktığınızdan emin olun.
- Uygun değerlendirme türünü seçin (kaldırma, taşıma veya ekip taşıma). Bir görev kaldırmayı ve taşımayı içeriyorsa, ikisini birden düşünün.
- Her bir risk faktörü için risk düzeyini belirlemek üzere uygun değerlendirme kılavuzunu ve akış şemasını izleyin. Emin değilseniz daima en kötü durum senaryosunu değerlendirin.
- Müsabaka kağıdına renk bantlarını ve sayısal puanları girin ve bunları hangi risk faktörlerinin incelenmesi gerektiğini ve toplam riske maruz kalma seviyesini belirlemek için kullanın.

- Kırmızı risk faktörlerini sarı veya yeşile ve sarı risk faktörlerini yeşile düşürmek için görevi değiştirmenin yollarını arayın.
- Kişi birkaç görev yapıyorsa, her birini ayrı ayrı değerlendirin.
- Önce en yüksek toplam puana sahip görevi ele alarak eylemi önceliklendirin (HSE, 2023).

MAC aracı etkileşimli puan tablosu / Kullanıcılar için yönergeler:

MAC skor tablosunun bu etkileşimli versiyonu, renk bantlarını bilgisayarınıza girmenizi sağlayacaktır. Ardından, renk bantlarından ilgili puanları otomatik olarak toplar ve bunu kopya olarak saklamak yerine kaydetmenize olanak tanır. Aşağıda interaktif müsabaka cetvelinin nasıl kullanılacağına dair bazı yönergeler bulunmaktadır.

- Şirket adını ve görev tanımını girin.
- Bu görev için geçerli olan ilgili yüksek risk gösterge kutularından herhangi birini işaretleyin.
- Önemli psikososyal faktörleri listeleyin, örneğin yüksek iş yükü, sıkı teslim tarihleri, iş ve çalışma yöntemleri üzerinde kontrol eksikliği.
- Tam bir risk değerlendirmesi yapmanız gerekip gerekmediğini kontrol edin. Bunu yaparsanız, çevrimiçi kontrol listelerine gidebilirsiniz.
- Tabloda (MAC'ın basılı kopyasındakiyle aynıdır) uygun sütuna her bir risk faktörü için renk bandı (HSE)*, (2023) harfini girin. MAC ile V-MAC kullanıyorsanız, V-MAC özet tablosundaki genel renk bandı harfini yük ağırlığı/frekans kutusuna girin.
- Müsabaka kâğıdı rengi ve skoru girecek ve renk bandı harfleri girildiğinde skorları otomatik olarak toplayacaktır.
- Riski azaltmak için alabileceğiniz tüm kontrol önlemlerini listeleyin.
- Ardından, üstteki araç çubuğunu kullanarak müsabaka cetvelini yazdırmak veya kaydetmek için seçeneklere sahip olacaksınız.
- MAC aracı puan tablosu (HSE, 2023).

5. Mital ve Arkadaşları Tabloları (Mital et. al. Tables):

Mital Tabloları 1993 yılında Mital, Nicholson ve Ayoub tarafından geliştirilmiştir. Snook ve Ciriello'nun verilerini kullanarak, fizyolojik, epidemiyolojik ve çeşitli biyomekanik kriterlere göre ayarlanmış bir dizi kabul edilebilir maksimum ağırlık limiti tablosu oluşturmuşlardır. Ayrıca, sanayi çalışanlarının kabul edilebilir maksimum ağırlığını önemli ölçüde etkileyebilecek diğer faktörlere dayalı çalışma süresi, sınırlı tavan boşluğu, asimetrik kaldırma (bükme ve kaldırma/indirme), yük asimetrisi (eşit olmayan yükler/dengesiz yükler), kaplinler (kavrama karakteristiği), yük yerleştirme boşluğu, ısı stresi gibi

ağırlık limitlerini sağlamaktadır. Mital tabloları, elle taşıma (kaldırma, indirme, itme, çekme ve taşıma) görevlerinin değerlendirilmesi ve tasarımı için kullanılabilir (Mital et. al. 1997; ÇSGB, 2016; OHSCO, 2023).

6. Anahtar Gösterge Yöntemi (Key Indicator Method-KIM):

Yüklerin elle kaldırılması, tutulması ve taşınması, itilmesi ve çekilmesi, tüm vücut kuvvetleri, vücut duruşları ve vücut hareketlerinden oluşan fiziksel iş yükünü içeren talimatlardan oluşur. Anahtar gösterge yöntemlerini uygulamadan önce işyerinde fiziksel iş yükü olup olmadığı hakkında bir fikir edinmek gereklidir. Kısacası yüklerin taşınmasında oluşabilecek risklerin tespit edilmesinde ve yüklerin manuel ortamlarda ortaya çıkabilecek risklerin tespit ve değerlendirilmesinde kullanılır (Klussmann aet. al. 2010; Klussmann et. al. 2012; Erceylan, 2022).

Elle taşıma işlerinde kullanılan risk değerlendirme yöntemlerinin kendi içerisinde bazı değerlendirme araçları kullanılarak bir değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirme araçları olarak yük, hareket frekansı, duruş, süre, görev türevleri, eğitim, çalışma koşulları, fiziksel risk faktörleri ve değerlendirilen vücut bölgesi bazında karşılaştırma yapılmıştır (Şekil 4) (Özel ve Çetik, 2010; OHSCO, 2023).

SONUÇ

Sanayileşme ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte her ne kadar mekanik bir düzen meydana gelse de insan faktörü önemini korumaktadır. Yüklerin elle kaldırılması, bir yerden başka bir yere taşınması, itilmesi, çekilmesi vb. işerin yürütümü için gereklidir. Sadece çalışma ortamlarında değil sosyal yaşantımız içerisinde de elle taşıma işlerini aktif olarak kullanmaktayız. Bu gibi durumlarda yapılan işin sağlıklı ve güvenli bir şekilde yürütülebilmesi için yapılan işe özgü birtakım uygulamaları aktif olarak kullanmamız gereklidir. Bunların yürütümü esnasında ergonomi kurallarına uygun bir şekilde hareket tarzı belirlemesi gerekir. Aksi durumda kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına maruz kalmak kaçınılmazdır. Bu bakımdan elle taşıma işleri yapılırken basit gözleme dayalı ergonomik risk analizi yöntemlerinin çalışanlar, çalışma ortamı ve makinalar arasındaki uyumun sağlanması gerekir. Yapılan işe özgü özel yöntemler tespit edilerek tehlike belirleme çalışmaları yapılmalıdır. Tehlikeler arasındaki etkileşimin değerlendirilmesi için iş görevleri ve bunların nasıl gerçekleştirildiği, kullanılan alet, ekipman ve nesnelere, fiziksel çalışma ortamı ve çalışma sistemleri (psikososyal faktörler dahil) etkin bir şekilde değerlendirilmesi gerekir. Ayrıca işin yürütümü esnasında itme, çekme, kaldırma ve kavrama gibi kuvvetli eforlar, eğilme, uzanma ve dönme gibi garip duruşlar, ellere, kola veya vücuda titreşimler ve tekrarlayan hareketlerin tespiti son derece önemlidir. Sonraki aşamada

oluşabilecek risklerin değerlendirme aşamasına geçilmelidir. Bu kısımda yürütümü yapılan işin hangi duruşlarının, hareketlerinin ve güçlerinin risk oluşturduğunu belirlemenize yönelik olarak işin yürütümü sırasında nerede risk oluşturdukları, neden oluyorlar ve neyin tamir edilmesi gerekiyor durumlarının değerlendirilmesi gibi sorulara yanıt aranmalıdır. Tekrarlayan hareket (bir hareketin veya kuvvetin dakikada iki defadan fazla gerçekleştirilmesi anlamına gelir), sürekli veya garip duruşlar (Sürekli duruş; vücudun bir kısmının veya tümünün uzun bir süre boyunca aynı pozisyonda tutulduğu yerdir. Garip duruş, vücudun herhangi bir bölümünün dengesiz veya asimetrik duruşlar aşırı eklem açıları veya eğilme ve bükülme gerektiren duruşların rahatsız veya doğal olmayan bir konumda olduğu yerdir.) ve tekrarlayan veya sürekli kuvvetler. Devamında ilgili risklerle ilgili en doğru risk analizi yönteminin belirlenmesi ve belgelenmesi gerekir. Son aşamada ise alınan kontrol önlemlerinin gözden geçirilmesidir. Alınan önlem işe yaradı mı yoksa aksayan bir yön var mıdır?

Tüm bunların yapılmasındaki temel amaç çalışanların, makinelerin ve çevrenin çalışma ortamları içerisinde tam bir uyum içerisinde olmasını sağlamak ve yaşanabilecek bütün olumsuzlukların önüne geçilmesi içindir. Yani tam bir iyilik halinin sağlanmasıdır. İş yaşam dengesinin oluşturularak çalışanların iş tatmin düzeylerinin artırılması, tükenmişlik durumlarının ortadan kaldırılması, iş veriminden maksimum seviyede faydalanılması ve yaşanabilecek iş kazası ve meslek hastalıklarının önüne geçilmesini amaçlamaktadır.

Değerlendirme Aracı	ACGIH-TLV	NIOSH	Snoek Tabloları	MAC	Mital ve Arkadaşları Tabloları	KIM
Duruş	X	X	X	X	X	X
Yük/Güç	X	X	X	X	X	X
Hareket Frekansı	X	X	X	X	X	X
Süre	X	X	X	-	X	X
Çalışma Koşulları	-	-	-	X	X	X
Görev Türleri	Kaldırma	İndirme/ kaldırma	İndirme/ kaldırma/ taşıma/ itme/çekme	İndirme/ kaldırma/ taşıma /takım çalışması	İndirme/ kaldırma/ taşıma/ itme/çekme	İndirme/ kaldırma/ taşıma/ itme/çekme
Analiz Zamanı	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
Eğitim Gereksinimi	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Orta	Düşük
Değerlendirilen Vücut Bölgesi	Boyun/omuz/ sırt/ gövde/ kalça	Boyun/ omuz/sırt/ gövde/ kalça	Boyun/omuz/ sırt/gövde/ kalça/bacak/ diz/ayak bileği	Boyun/omuz /sırt/gövde/ kalça	Boyun/omuz /sırt/gövde/ kalça/bacak/ diz/ayak bileği	Boyun/omuz /sırt/gövde/ kalça/bacak/ diz/ayak bileği

Şekil 4. Elle Taşıma İşlerinde Kullanılan Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

KAYNAKLAR

- Akay, D., A., Dağdeviren, M., Kurt, M. (2003). Çalışma Duruşlarının Ergonomik Analizi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18(3), 73-84.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) (2023). *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices, Cincinnati, OH.* <https://www.worldcat.org/title/tlvs-and-beis-threshold-limit-values-for-chemical-substances-and-physical-agents-and-biological-exposure-indices/oclc/35800769?page=citation>, Erişim tarihi: 24.06.2023.
- Babalık, F.C. (2018). *Mühendisler için Ergonomi*. Bursa: Dora Yayıncılık.
- ÇSGB. (2016). *Elle Taşıma İşleri Yönetmeliği Uygulama Rehberi*. Ankara: İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü.
- Dul, J. and Weerdmeester, B. (2001). *Ergonomics for Beginners: A quick reference guide*. London and New York: Taylor & Francis
- Erceylan, C. (2022). Bir İmalat İşletmesi İçin Ergonomik Risk Haritasının Oluşturulması. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.
- Health and Safety Executive (HSE) (UK), (2023). *Manual Handling at Work A Brief Guide*, London, 2002. <https://www.hse.gov.uk/pubns/indg143.PDF>, Erişim tarihi: 24.06.2023.
- Health and Safety Executive (HSE)*, (2023). *Manual Handling Assessment Charts (the MAC tool)*. <https://www.hse.gov.uk/pubns/indg383.pdf>, Erişim tarihi: 25.06.2023.
- Health and Safety Executive (HSE), (2023). <https://www.hse.gov.uk/msd/mac/index.htm>, Erişim tarihi: 25.06.2023.
- İncir, G. (1998). *Çoklu Vardiya Çalışmasının Ergonomik Tasarımı*. Ankara: Milli Produktivite Merkezi Yayınları, No.624, 29-38.
- Klussmann, A., Gebhardt, H., Riege, M., Liebers, F., Steinberg, U. (2012). Evaluation of objectivity, reliability and criterion validity of the key indicator method for manual handling operations (KIM-MHO), draft 2007. *BMC Musculoskelet Disord.*, 41: 3997-4003.
- Klussmann, A., Steinberg, U., Liebers, F., Gebhardt, H., Riege, M. (2010). The key indicator method for manual handling operations (KIM-MHO)-evaluation of a new method for the assessment of working conditions within a cross-sectional study. *BMC Musculoskelet Disord.*, 11: 272.
- Mert, E.A. (2014). *Endüstri İşletmelerinde Günlük İş Yaşamında Uygulanan Ergonomi Metotlarının İncelenmesi*. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi. Ankara, ÇSGB, İSGGM.

- Mital, A. and Nicholson and Ayoub, M.M. (1997). *A Guide to Manual Materials Handling* (2nd Edition). Taylor & Francis.
- Occupational Health and Safety Council of Ontario (OHSCO), (2023). *Musculoskeletal Disorders Prevention Series, Part 3C:MSD Prevention Toolbox More on In-depth Risk Assessment Methods*. https://www.iwh.on.ca/sites/iwh/files/iwh/tools/msd_prevention_toolbox_3c_2007.pdf, Erişim tarihi: 24.06.2023.
- Özel, E., Çetik, O. (2010). Mesleki Görevlerin Ergonomik Analizinde Kullanılan Araçlar Ve Bir Uygulama Örneği. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22.
- Resmî Gazete Sayısı: 28512, (2012). İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği. Resmî Gazete Tarihi: 29.12.2012, T.C. Resmî Gazete, Ankara.
- Resmî Gazete Sayısı: 28712, (2013). Elle Taşıma İşleri Yönetmeliği, Resmî Gazete Tarihi: 24.07.2013, T.C. Resmi Gazete, Ankara.
- Sabancı, A., Sümer, S.K. ve Say, S.M. (2012). *Endüstriyel Ergonomi*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Snook, S. H. and Ciriello, V. M. (1991). The Design of Manual Handling Tasks: Revised Tables of Maximum Acceptable Weights and Forces, *Ergonomics*, 34:9 1197-1213.
- Şahin, İ. ve Top, N. (2014). *Ergonomik Risk Değerlendirmesi İçin Dijital İnsan Modellerin Kullanımı*. Ankara: İksad Yayınevi.
- Tol ve ark. (2019). Gemi İnşa Sektöründe Ergonomik Risk Analiz Yöntemlerinin Uygulanması ve Yöntem Sonuçlarının Karşılaştırılması. *The Journal of Academic Social Science*. 7(92), 308-323.
- Turan, D. (2007). *Endüstri İşletmelerinde Günlük İş Yaşamında Uygulanan Ergonomi Metotlarının İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği ABD.
- Waters, T.R., Putz-Anderson, V., Garg, A. and Fine, L.J. (1993). Revised NIOSH Equation for The Design and Evaluation of Manual Lifting Tasks, *Ergonomics*, 36(7): 749-776.

14. Bölüm

Süperiletkenlerin Kriyojenik Sistemle Soğutulması

Muhammed ŞULE¹

Zuhal OKTAY²

Can COŞKUN³

Bahadır BİRECİKLİ⁴

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi; İzmir Demokrasi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, muhammed_sule2000@hotmail.com ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-7987-5181>

² Prof. Dr.; İzmir Demokrasi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, zuhal.oktay@idu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-6167-7048>

³ Doç. Dr.; İzmir Demokrasi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, can.coskun@idu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-4100-0296>,

⁴ Dr.; Batman Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Batman, Türkiye Bahadır. Birecikli@batman.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-6765-0097>

ÖZET

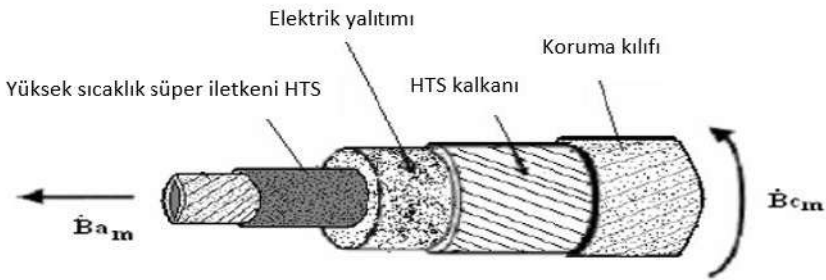
1.GİRİŞ

Süperiletkenler üzerine yapılan ilk çalışmalar 1911 yılındadır. Metalik civa üzerinde yapılan deneyler neticesinde ‘Süperiletkenlik’ kavramı ortaya çıkmıştır. Sonraki yıllarda metal alaşımlar üzerinde, süper iletkenlik noktasında çalışmalar devam etmiştir. Süperiletkenlik kavramı; maddelerin belli bir kritik sıcaklığın altına soğutulması sonucunda elektriksel direncin sıfıra inmesi ile manyetik değişim alanlarının ortadan kalkması durumu olarak tanımlanabilir. Günümüzde süperiletkenliğin ortaya koyduğu avantajlar sağlık, ulaşım, elektronik gibi birçok alanlarda kullanılmaktadır. Süperiletkenlerde enerji kaybının olmamasının bir neticesi olarak enerji depolanması için kurulan sistemlerde Süperiletken sistemler önemli bir seçenek haline gelmektedir. Yüksek sıcaklıklı süper iletkenler (HTS) daha yüksek kritik manyetik alan ve kritik akıma sahiptirler. 10 ile 20 T aralığındaki yüksek manyetik alan uygulamalarında kullanılabilmeleri, termal iletkenliklerinin iyi olması ve yüksek akım yoğunluğuna sahip olmaları birçok alanda uygulama imkânı sağlamaktadır. Düşük sıcaklıklarda Al ve Cu gibi stabilize malzemelerinin termal iletkenlikleri 10 kata kadar artmaktadır. Düşük sıcaklık süper iletkenler (LTS) ile karşılaştırıldıklarında soğutma kaynaklı güç tüketimi azalmaktadır. Kriyojen malzeme olarak HTS ve LTS kablolarında sıvı nitrojen ve sıvı helyumdan faydalanılmaktadır. Sıvı nitrojen sıvı helyuma göre ucuzdur bundan dolayı HTS kabloları LTS kablolarına göre az maliyetlidir. LTS'nin kritik sıcaklığı HTS ye göre daha azdır. Ek olarak HTS kabloları güç sistemindeki uygulama için daha caziptir. Güç taşıma bakımından güç taşıma kapasitesi HTS kablolarda konveksiyonel kablolardan 10 kat daha fazladır. Akım taşıma kapasitesi konveksiyonel kablolara göre 150 kat daha fazladır. Bilindiği üzere kriyojenik soğutma, gıdaların dondurulması gibi çeşitli alanlarda faydalanılan bir soğutma tekniğidir. Bu teknikte soğutulmak istenen malzemenin sıcaklığı kriyojen adı verilen sıvılaştırılmış gaz kullanımıyla düşürülmektedir. Bu yöntem ayrıca talaşlı imalat sektöründe aşınma direnci noktasında kesici takımların aşınmasını önleyebilmek için de düşünülmektedir. Özellikle yeraltı şebekelerinde kullanılan kablolar ciddi bir şekilde ısınmaktadır. Bunun en büyük sebebi, tel direncinin fazla olmasıdır. Tabi ki bu durum enerji kaybına da neden olmaktadır. Kriyojenik soğutma kullanılarak süper iletken malzemeden imal edilen kablolarda hem direnç sıfırlanabilmekte hem de enerji kayıpları ortadan kaldırılabilmektedir. Süperiletken konuda yapılması çalışmaların artırılması enerjinin etkin ve tasarruflu bir biçimde kullanımı için büyük önem arz etmektedir. Yapılan bu çalışmada süperiletkenlere kriyojenik sistemin uygulanmaları incelenmiştir.

2.YAPILAN ÇALIŞMALAR

Terzioğlu'nun (2017:149) yapmış olduğu çalışmasında yüksek sıcaklık süperiletkenlerin ve süperiletken kabloların özelliklerine değinilmiştir. 1986 yılında Zürih'te Yüksek Sıcaklık Süperiletkeni olarak Lantan baryum bakır oksit (LBCO) keşfedilmiştir. En önemli HTS'ler; itriyum baryum bakır oksit (YBCO) ve bizmut stronsiyum kalsiyum bakır oksit (BSCCO)'dir. Yüksek sıcaklık süper iletken kablo türleri başlıca; RACC Kablo, TSTC kablo, CORC kablo 'dur. Roebel kablonun özelliği akımı tek bir parça iletken ile aktarmak yerine, çok flamanlı yapısal özelliğe sahip farklı bir şekilde sarılmış ve akımı kollara ayrılmış iletkenle taşımastır. TSTC kablolarda uzun kablo yapımı bakımından RACC kablolara göre daha basittir. CORC kablolar ise düşük alternatif akım kayıplı, yüksek alan bobin uygulamalarında yer edinebilecek yeni bir YBCO şerit kablo türüdür.

Kanbur (2016) yapmış olduğu çalışmasında yüksek sıcaklık süperiletken materyallerinin özelliklerinden ve bu süperiletkenliğe sahip kablo modeli üzerine incelemelerde bulunmuştur. Yüksek sıcaklık süperiletken geçiş sıcaklığı 30 Kelvin sıcaklığın üzerinde olan malzemelerdir. Düşük sıcaklık süper iletkenlerinin kritik sıcaklığı 30 Kelvin sıcaklığının altında yer almaktadır. Civa ve kurşun ise düşük sıcaklık süperiletkeni olarak bilinen elementlerdir. Bu tanımlamalardan sonra HTS kablo yapısından bahsedilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü üzere; elektrik izolasyon malzemesi HTS sargısına konumlandırılmaktadır. Bunlar polipropilen lamine kâğıdından imal edilmektedir ve bazı durumlarda sıvı nitrojen lamine kağıdına konsantre edilmektedir. Bir üst katmanda ise HTS koruyucusu bulunmaktadır.



Şekil 1. Süperiletken Kablo Yapısı (Kanbur, 2016)

Alkusal yapmış olduğu çalışmasında kriyojenik sistemin gıda ürünlerinin dondurulmasında kullanılabileceğinden bahsetmiştir. Ürünün dondurulması kriyojenik sistemde sıvılaştırılmış gaz ortamından geçirilmesi sonucunda gerçekleşmektedir. Sıvıya daldırılarak dondurma: sıvı karbondioksit, sıvı azot,

freon-12 gibi kaynama noktaları çok az olan kriyojenik sıvılara daldırılarak yapılan dondurma tekniğidir (Alkusal, 2006:67).

Van Sciver yapmış olduğu çalışmada süperiletken cihazlar için kriyojenik sistemler üzerine incelemede bulunarak süperiletken mıknatıs sistemleri için kriyojenik soğutma türlerinin incelemesini yapmıştır. Süperiletken mıknatıslar, farklı boyut ve şekillerde olmasından dolayı soğutma sistemlerinde de farklılaşmalar söz konusudur. Süperiletken mıknatıs soğutması için üç ana tespit yapılmıştır: (i) sıvı helyum veya sıvı nitrojen gibi kaynayan bir kriyojen ile doldurulması; burada ısı, sıvının buharlaşmasıyla uzaklaştırılmaktadır, (ii) kriyojeni mıknatıs içinde dolaştıran ve mıknatıs kabının dışında bulunan bir sıvılaştırıcı/buzdolabındaki ısıyı uzaklaştıran kapalı çevrim soğutma, (iii) özel bir soğutma döngüsü tarafından sağlanan mıknatıs ile soğuk bir yüzey arasındaki direkt temas ile ısıyı çeken kriyo-soğutucu soğutma şeklindedir. İlk ve en genel yaklaşım, mıknatıs sistemi kabını kriyojenik sıvı olarak adlandırılan çoğunlukla sıvı helyum ile toplu şekilde doldurmaktır. Mıknatıs bu yolla izotermal özellikteki banyoya daldırılıp biriken ısı sıvının buharlaşmasını sağlayacaktır. Ancak çalışma sıcaklığı dar bir aralıkta sınırlandırılmış olmasından her mıknatıs için uygun olmayabilmektedir. Mıknatısların kapalı çevrim soğutması, soğutucu sıvıyı mıknatısa iletmek ve buharı geri kazanmak için bir helyum sıvılaştırıcı/buzdolabından yararlanmak en yaygın olan yöntemdir (Van Sciver, 2001:129-135).

Harrison ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada; uzayda bir süper iletken sistemi çalıştırmanın zorluklarını yenmek için tasarlanmış kriyojenik sistemi açıklamaktadırlar. Kriyojenikler için geliştirilen bazı yeni teknikleri ifade eden deneylerden elde edilen sonuçları paylaşmaktadırlar. Bu çalışma Alfa Manyetik Spektrometre (AMS) ve Uluslararası Uzay İstasyonunda (ISS) kullanılmak üzere gerçekleştirilen bir parçacık fiziği deneyidir. Dedektörün merkezinde 2500 litre süper akışkan helyum ile 1,8 K sıcaklığa soğutulmuş büyük bir süperiletken mıknatıs bulunmaktadır. Mıknatıs on dört bobinden meydana gelmekte olup bu bobinler seri şekilde birbirlerine bağlanmıştır. Büyük olan iki bobin alanın çoğunluk kısmını meydana getirmektedir. Bu bobinler dedektörün eksenine ulaşan parçacıkları saptırmak amacıyla kullanılmaktadır. Diğer on iki bobin, bu dikey alana küçük bir miktar etki sağlar, ancak ilk görevi, daha büyük bobinlerden gelebilecek manyetik alanı en aza düşürmektir (Harrison vd., 2003: 1381-1384).

Yoshida yapmış olduğu çalışmasında HTS güç uygulama sisteminin, enerji tasarrufu bakımından çok etkili olduğunu ve gelecek için önemli teknolojilerden biri olacağını vurgulamıştır. Bu çalışmada temelde alt soğutmalı LN soğutma sistemi incelenmiştir. Yazar birkaç örnekle konuyu detaylandırmıştır. Ayrıca

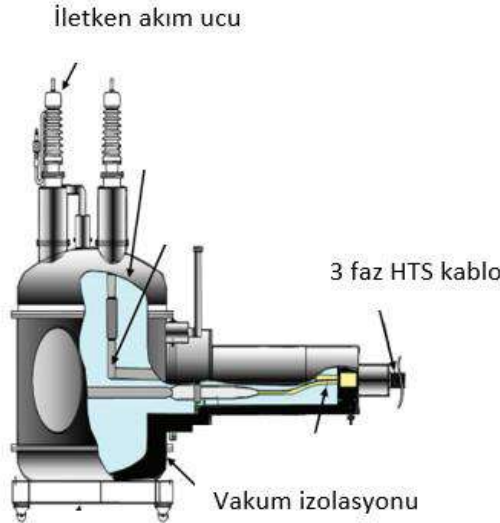
makale bu sistemlerin nasıl dizayn edileceğini ve sıcaklığın 77 K'nin altında nasıl tutulacağını açıklar niteliktedir. Alt soğutmalı LN; doymuş LN'ye karşın soğutma sıvısı biçiminde daha iyi niteliklere sahiptir. Bunlar maddeler halinde kısaca şu şekilde açıklanabilir: (i) Alt soğutmalı LN sıcaklığı, doymuş LN ye kıyasla daha düşük bir sıcaklık imkânı verebilir. HTS malzemesinin kritik akım artışı ise daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. (ii) Alt soğutmalı LN'de daha yüksek atmosferik basınca çıkarılabilmektedir. Ayrıca HTS ekipmanı daha yüksek basınç şartlarına çıkarak hava bileşenlerinin yayılma göstermesini engeller. (iii) Alt soğutmalı LN'de nitrojen gazı kabarcıkları hemen ortadan kaldırılabılır ve soğutma sıvısının dielektrik dayanımı uygun bir seviyede tutulabilir. HTS ekipmanı için soğutma sisteminde iki temel seçenek mevcuttur. Bunlardan ilki kondüksiyon soğutma tekniği iken ikincisi daldırma ile soğutma tekniğidir. İki tekniğin de kendine özgü avantajları vardır. İletim soğutma tekniğinde, HTS ekipmanı, bakır ve/veya alüminyum gibi iyi termal özelliğe sahip iletken malzeme vasıtasıyla buzdolabının soğuk kafasına montajlanır. Çalışma sıcaklığı, buzdolabının soğutma gücüyle ilişkilidir ve çoğunlukla çalışma sıcaklığı 77 K'den azdır. HTS malzemesi için bu sıcaklık değeri daha uygundur. Daldırma soğutma tekniğinde, en düşük sıcaklık, LN donma sıcaklığı olan 63 K ile sınırlandırılmıştır. Isı transfer süreci çoğunlukla konveksiyon ile bağlantılıdır. Sıcaklık farkı, konveksiyonda, kondüksiyonla ısı transferinden daha azdır. Bunun yanında, HTS malzeme sıcaklığı çok fazla değişmez. Kriyojenik sistemde bir problem oluştuğu takdirde, LN sıcaklığını belli bir süre muhafaza edebilmektedir. İletimle soğutma tekniğinde, buzdolabı devreden çıktığı zaman, HTS malzeme sıcaklığı hemen artış gösterir ve kritik sıcaklığın altında bekletilebilmesi için güç bir durum ortaya çıkar (Yoshida, 2017:8).

Das ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmalarında bir HTS kablusunun yapısı üzerine incelemede bulunmuşlardır. Standart bir HTS kablosu, bir Cu oluşturuca, HTS iletken katmanı, dielektrik yalıtım katmanlarından (Polipropilen lamine kâğıt, PPLP) meydana gelir. HTS kablosu eş eksenli olarak düzenlenmiş ve içine yerleştirilmiş HTS ve Cu Kalkan katmanlarından meydana gelmektedir. HTS ayrıca bir adet termal yalıtımlı çift cidarlı kriyostattan oluşmaktadır. Boru içinde yer alan bakır, kabloda arıza akımı şartı esnasında, HTS kablo katmanını yanma tehlikesine karşı muhafaza etmek amacıyla bir elektriksel baypas vazifesi üstlenmektedir (Şekil 2). Bunun sebebi bakırın elektrik direncinin normal durum direncine kıyasla çok daha az olmasıdır.



Şekil 2. HTS kablo yapısı (Das vd., 2015:311-322)

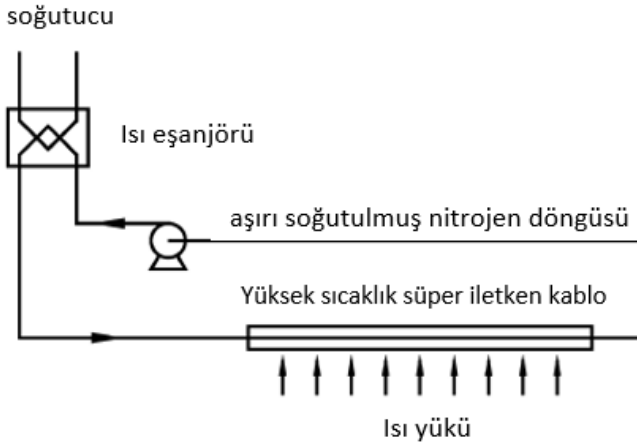
Sonlandırma adı verilen yapı, termal olarak yalıtılmış bir kriyojenik kap içinde inşa edilir. Sistemde bulunan sonlandırma ünitesi iki amaca hizmet eder, bunlar: (i) Kriyojenik sıcaklıktaki HTS kablosunun ortam sıcaklığındaki elektrik hattına bağlanması, (ii) LN_2 sirkülasyonu için HTS kablosunun kriyojenik soğutma sistemine termal olarak bağlanmasıdır. LN_2 , HTS'yi soğutmak ve konvansiyonla ısı ileten malzemelerden kaynaklı damar duvarları boyunca ısı enerjisini uzaklaştırmak için sonlandırma ünitesi içinde dolaştırılır (Şekil 3).



Şekil 3. Sistemin Şematik Gösterimi (Das vd., 2015:311-322).

İlk soğuma süreci esnasında, 77 K ile 300 K arasındaki sıcaklık farkının yüksek olmasının bir sonucu olarak termal şokun oluşması ve HTS kablusunun hasar görme ihtimali bulunmaktadır. Bu olumsuz durumu önleyebilmek için, kablo sistemi ilk başta soğuk nitrojen gazı ile yavaş bir şekilde soğutulma işlemine tabi tutulur. Sonrasında kablo boyunca sıcaklık farkı yeterince küçük olunca LN₂ iletimi gerçekleştirilir. LN₂'nin kablodan çıktığı zamanki sıcaklığının, kritik sıcaklığından daha az olması gerekmektedir (Das vd., 2015:311-322).

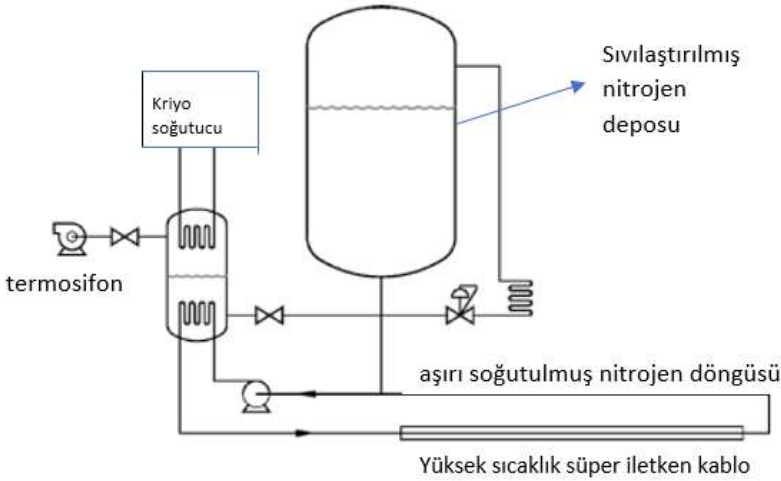
Lee ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada New York Albany NY semtinde 350 m HTS kabloda kullanılacak olan kriyojenik soğutma sisteminin (CRS) tasarımını ve ilk test sonuçlarını ortaya koymuşlardır. 34,5 kV/800A HTS kablusunun, Niagara Mohawk elektrik dağıtım şebekesine kurulması planlanmıştır. CRS, 77 K'de nominal 6 kW kapalı çevrim soğutma oluşturacak olup, 66 K'lik daha düşük bir çalışma seçeneği de mevcuttur. HTS herhangi bir mekanik soğutma ünitesine sahip değildir ve bir çekirdek ısı eşanjörü vardır. Şekil 4'de; dolaştırılan bir aşırı soğutulmuş sıvı nitrojen döngüsü ile HTS kablusunun soğutma işlemi görülmektedir. Kriyojenik soğutma sıcaklık aralığı, sıvının kaynamasına imkân vermeyecek şekilde 68-75 K'dir. Projelerde farklı olarak değerlendirilebilecek bir özellik ise soğutucu olarak kullanılan sıvı nitrojenin yönlendirme tertibatıdır.



Şekil 4. HTS kablusu aşırı soğutulmuş sıvı nitrojen soğutma döngüsü
(Lee vd., 2005:1798-1801)

HTS'nin temel elemanları, Şekil 5'de sunulmaktadır. Sistem kriyojenik soğutucu kullanılarak 70 K'e kadar devamlı soğutma işlemine tabi tutulur. HTS'nin önemli bir niteliği, soğutma kaynakları (açık ve kapalı) vasıtasıyla aşırı

şekilde soğutulmuş nitrojen döngüsü arasında kompakt ve ısııl şekilde verimli bir ara yüz imkanı veren termosifon kabıdır.



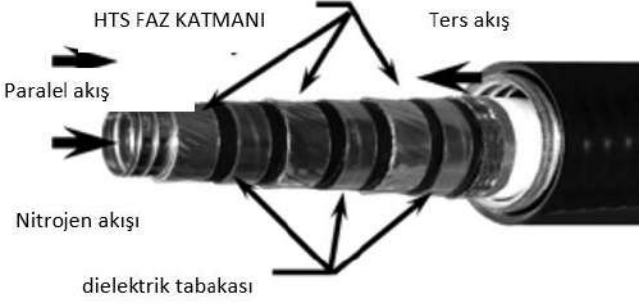
Şekil 5. Kriyojenik soğutma sisteminin şematik gösterimi
(Lee vd., 2005:1798-1801)

Sıvı nitrojen depolama tankından faydalanılarak döngü basıncı yüksek tutulur ve böylece nitrojenin aşırı soğutma süreci gerçekleşmiş olur. Isıl geçişler esnasında normal sıvı genleşmesine ve büzülmesine imkân vermek amacıyla sıvı nitrojen tankı tampon vazifesi görmektedir. Aşırı soğutulmaya tabi tutulmuş çevrim sıvısından depolama tankındaki sıvı daha sıcaktır. Lakin sıvının tanktan sisteme aktarılması koşulunda termosifon ısı eşanjöründe çevrim sıcaklığına soğutulduğu için kablo soğutmasına etki etmemektedir. İkili soğutma modları (kriyo-soğutucu ve sıvı nitrojen depolama) arasında ara yüz meydana getiren sistemin temel unsuru termosifon bileşenidir. Termosifon normal çalışırken, kablo soğutma çevrimindeki sıvı nitrojenden komple ayrı, sabit nicelikte basıncı düşük sıvı nitrojen içeren kapalı bir kaptan meydana gelir. Termosifondaki sıvı, Şekil 5’ de gösterilen alt ve üst ısı değişim bobinlerinin birlikte hareketinden kaynaklı sabit yoğuşma ve buharlaşma durumundadır. Alt bobin, daha sıcak aşırı soğutulmuş sıvıyı kablodaki ısı ile temaslandırır. Bu ısı değişimi esnasında, termosifon banyosu sıvısının buharlaşmasına karşın (kaynarak) aşırı soğutulmuş çevrim sıvısı soğutulmaktadır. Kaynama, doyma eğrisini (basınçla birlikte artan sıcaklık) takip edeceğinden dolayı, banyo sıvı nitrojeninde buna karşılık gelen bir sıcaklık artışıyla birlikte hazne içinde basıncın yükselmesine yol açabilir. Kriyo-soğutucunun direkt üst yoğuşurma bobinini soğutur ve bu bobinin hareketiyle basıncın yükselmesi engellenmektedir. Sonuçta termosifon

ısı değişim kısmı, aşırı soğutulmuş sıvı nitrojen döngüsü ve açık/kapalı soğutma kaynakları arasında termal olarak verimi yüksek ve esnek bir ara yüz imkânı verir. Termosifonun düzeninden dolayı, HTS kablosuna soğutmayı devam ettirirken kriyo soğutucunun bakımını yapabilme ve gerekirse değiştirebilmesi olasıdır (Lee vd., 2005: 1798-1801).

Volkov ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, Rus HTS güç uygulama programı, 200 m HTS kablo, kriyojenik sistem tasarımları ve test sonuçları hakkında bazı detaylara yer vermişlerdir. Devam eden Rusya Ar-Ge Programında 1,5/2 KA-20 kV değerlerine sahip bir kablo geliştirilmesiyle birlikte, kablo soğutması için de yenilikçi bir kriyojenik sistem tasarlanmıştır. Bu sistemde neon çalışma sıvısı olarak seçilmiş ve buzdolabında radyal turbo makinelerden yararlanılmıştır. Soğutma gücü 65 K'de ~8 kW'a kadar, bakımlar arası süre ~30.000 saattir. Aşırı soğutulmuş sıvı nitrojen aktarımı amacıyla süperiletken motorlu kriyojenik pompa, 0,1-2,5 MPa basınçta süperiletken motorlu kriyojenik pompadan yardım alınabilmektedir. Kriyojenik sistemin teknik özellikleri ise şu şekildedir: (i) 20 Bar çalışma basıncı (ii) 65 ile 75 Kelvin arası çalışma sıcaklığı (iii) 0,1 ile 2 kg/s arası kütle akışı, (iv) 380 V 100 kW üç faz elektrik güç talebi (v) sistem su soğutma barındırmaz, kurulumu basittir ve küçük boyutlara sahiptir. Çalışmadan elde ettikleri sonuçlar geliştirilen kriyojenik sistem ve 5/2 KA-20 kV 3×200 m uzunluklu güç kablosunun kullanılabilir olduğunu ve sanayide imalatının yapılabileceğini göstermiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda kablo ve kriyojeniklerin Moskova elektrik şebekesinde kurulumunun yapılması düşünülmüştür (Volkov vd., 2012: 87-91).

Demko ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada yeni bir tasarım olan kriyojenik soğutmalı HTS kablodan bahsetmektedirler. Üç eksenli kablo üç eş merkezli elektrik fazını tek bir kabloya yerleştirmek için yenilikçi bir soğuk dielektrik model geliştirmişlerdir. Üç sarmal olarak tasarlanmış yapıda yüksek sıcaklık süper iletken faz katmanından ve bir kriyojen yapıdaki dielektrik, Cryoflex ile bölünmüş bir dış bakır kalkandan meydana gelmektedir. Kabloya bakır stabilizör eklenerek aşırı akımdan kaynaklı arızalardan korunma sağlanmıştır. Üç eksenli HTS kablosu, halka çizgisinde aynı istikamette ilerleyen ve başka bir hattan geri gelen akışla paralel akış biçiminde soğutulur. Üç eksenli kablonun ölçüleri üç koaksiyel kablodan daha ufak ve tek bir kriyostat içine konumlandırılarak daha az bir ısı yükü oluşmuştur. Bu durum ısı kayıplarda azalma meydana getirmektedir. Sistem ayrı dönüş hattı kriyostatında, ters akışa sahip bir soğutma ünitesi kullanılarak ortadan kaldırılırsa, artı bir enerji tasarrufuna imkân verilebilir (Demko vd., 2009: 1752-1755).



Şekil 6. Üç eksenli HTS kablo modeli (Demko vd., 2009:1752-1755)

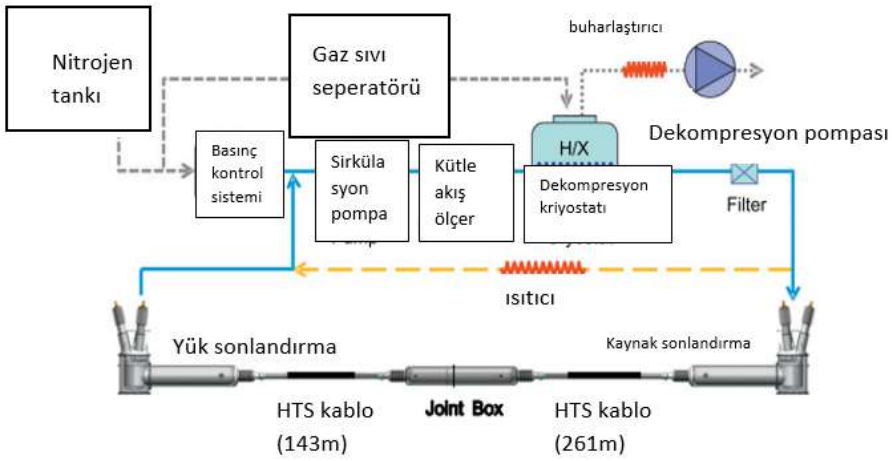
Kim ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada LS Cable & System tarafından üretilmiş 410 m uzunluğunda güç kablosu ve kriyojenik sistemden oluşan 22,9 KV/50 MVA AC HTS güç kablosu sistemini incelemişlerdir. Sistem 2010 yılı sonunda KEPCO şebekesinin Icheon trafo merkezine uygulanmıştır. Süper iletkenliği muhafaza edebilmek maksadıyla kriyojenik siteme ihtiyaç duyulmaktadır. Ichoen trafo merkezinde yer alan HTS güç kablosu sisteminin görseli Şekil 7’de sunulmaktadır. Kriyojenik sitem açık döngüden meydana gelmektedir. Açık döngü tipi olan kriyojenik sistem; Basınç Kontrol Sistemi (PCS), Gaz/sıvı ayırıcı, Sirkülasyon Pompası, Dekompresyon (Basınçlı bir ortamdaki gazın bırakılması sonucu basıncın azaltılması) ünitesi, Filtre vb. 'den meydana gelmektedir. Kriyojenik sistemin yerleşimi ekilde 8’de gösterilmektedir.



Şekil 7. Ichoen trafo merkezi (Kim vd., 2012:661-666)

Bu bileşimde PCS, HTS güç kablosu sisteminin basıncını oluşturulması ve arıza durumunda bir denge görevi görmektedir. Gaz/sıvı ayırıcısı,

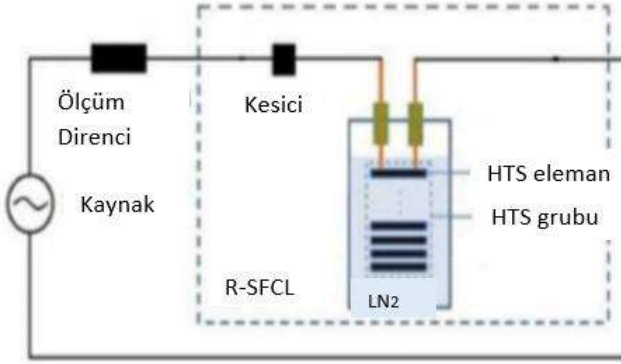
dekompresyon ünitesine LN₂ aktarmaktadır. Sirkülasyon Pompası, HTS güç kablosu vasıtasıyla LN₂ çevrimini devam ettirmek için ihtiyaç duyulan basınç miktarını ve kütleli akış oranını ayarlamaktadır. Dekompresyon bölümü, dekompresyon kriyostatının basıncını azaltmak amacıyla ısı eşanjörü ve vakum pompası ile dekompresyon kriyostatından oluşur. Kriyojenik sistemin aksamaması için ana parçalar (Sirkülasyon Pompası ve dekompresyon pompası) arıza olduğu ya da bakım olduğu zaman yedekleri olan parçalardır. Sonuçta bu tasarımın devreye alınması ve sonuçları başarılı olmuştur ve kriyojenik sistem, HTS güç kablosu sisteminin şebeke işletimi sırasında bu aşama boyunca önemli bir aksaklık olmamıştır (Kim vd., 2012: 661-666).



Şekil 8. Kriyojenik sistemin yerleşimi (Kim vd., 2012:661-666)

Yılmaz ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada modern arıza akımı sınırlandırma yöntemlerinden biri olan Rezistif Süper iletken Arıza Akımı Sınırlayıcıların (R-SFCL) yapısını ve çalışma prensiplerini incelenmişlerdir. Farklı sebeplerle meydana gelen arızaların yol açtığı yüksek akım düzeyleri, sistemdeki elemanlar için tehlikeli durumlara yol açmaktadır. Bu arızalara yol açacak akımların sınırlandırılabilmesi için rezistif süper iletken arıza akımı sınırlayıcıları kullanılmaktadır. Çünkü bu yol beraberinde sistem elemanlarının akımların zorlayıcı ısıl ve dinamik etkilerden korunmasını sağlamaktadır. Bu akım sınırlayıcılarda kriyojenik çevrimler kullanılmaktadır. R-SFCL'nin, diğer türlere göre boyut olarak daha düşük ve daha az yatırım maliyeti gibi üstünlükleri mevcuttur. Normal çalışma koşullarında, süper iletken malzeme süper iletkenlik halindedir ve nominal akım teorisine bakıldığı zaman kayıp yaşanmadan aktarılmaktadır. Arıza olduğu zaman, akım hızla artar ve süper iletken malzeme

süper iletkenlik halinden hızlı bir şekilde uzaklaşmış olur. Bundan dolayı ortaya çıkan lineer olmayan direnç değeri arıza akımına sınır çekmiş olur.

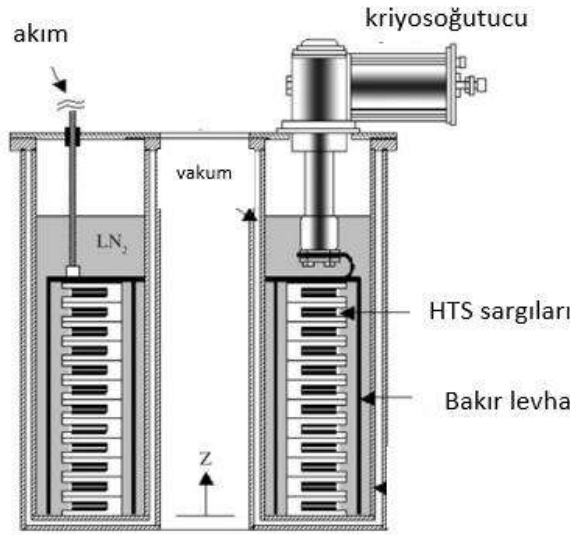


Şekil 9. R-SFCL kriyojenik soğutma (Yılmaz vd., 2022:803-815)

HTS (Yüksek sıcaklık süper iletken) gruplarındaki elemanlar gerilim seviyesi artığı durumunda seri bağlanırken, akım seviyesi artığı durumunda paralel şekilde bağlanmaktadır. Kritik akım HTS malzemelerde iletken hattınca $1 \mu\text{V}/\text{cm}$ gerilim düşümüne yol açan akımdır. Arıza olduğu zaman süper iletkenin kritik değerinden yüksek bir değere varan akım veya sıcaklık malzemenin rezistif (direnç) hale gelmesini sağlar. Bunun sonucunda arıza akımının genliği kısa bir süreçte sınırlanmış olmaktadır. Arıza giderildikten sonra süper iletken malzemenin arıza olmadan önceki özelliğine çevrilmesi için hızlıca soğutulması gerekmektedir. Bu işlem uygulanmadığı zaman sistem içerisinde gerilimde kayda değer bir azalma ve kayıpların oluşması kaçınılmazdır. Bundan dolayı kriyojenik sistem en kısa sürede süper iletkeni kritik sıcaklığının aşağısına soğuma işlemine tabi tutulmalıdır. Arıza gerçekleşmesinden sonra kritik sıcaklığın altına düşene kadar olan sürece 'toparlanma süresi' (recovery time) denilmektedir (Yılmaz vd., 2022: 803-815).

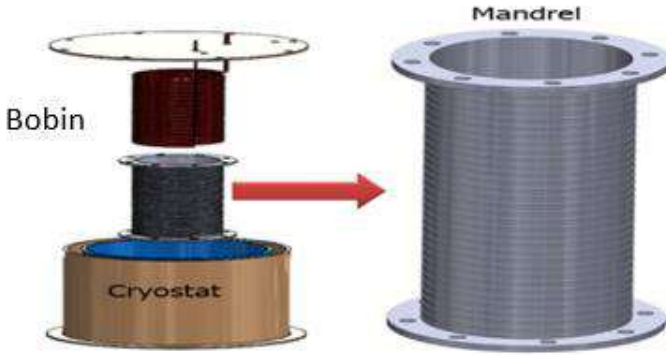
Chang ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada 63-66 K'de aktif hale geçecek HTS transformatörleri için yeni bir kriyojenik soğutma sistemi hakkında ısıl analizler gerçekleştirmişlerdir. Tavsiye edilen sistem içerisinde, HTS sargılarına, sıvının dikey yol ile daha soğuk bakır levhalar vasıtasıyla soğutulduğu bir sıvı nitrojen banyosuna daldırma işlemi bulunmaktadır. Sargılar ve bakır levhalar arasında bulunan sıvı nitrojen, aşırı soğutulmuş şartlarda kaldırma kuvveti yardımıyla sirküle eden bir akış yaratmaktadır. Sargılardaki dağılan alternatif akımdaki kayıplar ve sıvı kabının duvarlarındaki termal radyasyon göz önünde tutulup eksenal sıcaklık dağılımları analitik ve sayısal

şekilde hesaba katılmaktadır. Hesaplama sonuçlarına bakıldığı zaman HTS sargılarının sıcak ucunun, HTS sargılarının yüksekliği ve bakır levhaların kalınlığı için kabul edilebilir değerlerle nitrojenin donma sıcaklığının yalnızca 2-3 K üzerinde olabileceğini göstermektedir. Aşırı soğutulmuş sıvı nitrojenin doğal taşınım yoluyla soğutulmasının, verim ve güvenilir olması bakımından önemli bir alternatif olacağı kanısına varılmıştır (Chang vd., 2003: 589-596).



Şekil 10. HTS transformatörlerinin kriyojenik soğutulması
(Chang vd., 2003:589-596)

Killi yapmış olduğu bir çalışmada süper iletken manyetik enerji depolama sisteminin kriyostat yardımıyla soğutulmasına değinmiştir. Süper iletken manyetik enerji depolama sistemlerinde kriyostat, çelik göbek ve bobin gibi unsurlar mevcuttur. SMES (Süper iletken manyetik enerji depolama sistemleri) bobini, YBCO ($T_c:90$ K) yüksek sıcaklık süper iletkeninden (HTS) meydana gelmektedir. Kullanılan bu iletken, 77 K'de aktif olan sıvı nitrojen gibi kriyojenik sıvı yardımıyla kritik sıcaklıklarının altında soğutulmaya tabi tutulur. Bu bobin, şekilde gösterildiği gibi vakumlu bir kriyostat içerisine konumlandırılmaktadır (Killi, 2022:58).



Şekil 11. SMES depolama sistemi (Killi, 2022:58)

Sadık yapmış olduğu bir çalışmada MR cihazlarında süper iletken kullanımı ve soğutulması üzerine incelemelerde bulunmuştur. MRG cihazlarının yaklaşık %90'ında süper iletken mıknatıslar yer almaktadır. Çoğunlukla niyobyum-titanyum ya da niyobyum-kalay alaşımından imal edilen mıknatısların çalışması dirençli mıknatıslar gibidir. Bu alaşımların farkı belirli sıcaklığın (yaklaşık 4 K) aşağısında elektrik akımına karşı dirençli değildir. Bundan dolayı düşük güç sonucunda manyetik alan gücü yüksek olabilir. Bu denli bir soğutma sağlayabilmek için, süper iletken sargılar kriyojen olarak tanımlanmış sıvı helyum banyosuna konumlandırılır. İşletme maliyetleri az fakat satın alma maliyeti yüksektir (Sadık, 2011:85).

3.SONUÇ

Süper iletken malzemeler birçok alanda avantajlarından dolayı tercih edilmektedirler. Bu çalışma sonucunda süper iletken malzemelerin sağlık, ulaşım ve elektronik gibi alanlarda niçin tercih edildiği ortaya konmaya çalışılmıştır. Yüksek sıcaklık süper iletkeni olarak YBCO VE BSCCO üzerine bilgi verilmiştir. Süper iletken malzemeler doğru akıma karşı dirençsiz göstermezler ve bunun bir sonucu olarakta yüksek akım taşıyabilme özelliğine sahiptirler. Ayrıca verimlilik bakımından önemli malzemelerdir. Bu çalışmada süper iletken kablo tasarımları ve kriyojenik soğutma yöntemi üzerine birçok projeye değinilmiştir. Yapılan projeler değerlendirildiğinde süper iletken kablolar soğutulurken kriyojen olarak sıvı helyum ve sıvı nitrojenden faydalandığı sonucuna varılmıştır. Kriyojenik sistem yardımıyla süper iletken malzemeler kritik sıcaklığın altına düşülmektedir. Kriyojenik soğutmanın uygulamalarında temel olarak daldırma ve iletim tekniği kullanıldığı görülmüştür.

REFERANSLAR

- Alkusal, M. (2006). Dondurulmuş gıda sektöründe bütünleşik lojistik ilişkilerin lojistik hizmet kalitesine ve performansına etkisi (Doktora Tezi, DEÜ Sosyal Bilimleri Enstitüsü).
- Chang, H. M., Choi, Y. S., Van Sciver, S. W., ve Dal Choi, K. (2003). Cryogenic cooling system of HTS transformers by natural convection of subcooled liquid nitrogen. *Cryogenics*, 43(10-11), 589-596.
- Das, I., Rao, B. N., Rajan, J. S., Seetharamu, S., ve Rao, V. V. (2015). Cryogenic cooling aspects of hts power cables-A review. *Power Research-A Journal of CPRI*, 311-322.
- Demko, J. A., ve Duckworth, R. C. (2009). Cooling configuration design considerations for long-length HTS cables. *IEEE transactions on applied superconductivity*, 19(3), 1752-1755.
- Harrison, S. M., Ettlinger, E., Kaiser, G., Blau, B., Hofer, H., Horvath, I. L., ve Viertel, G. (2003). Cryogenic system for a large superconducting magnet in space. *IEEE transactions on applied superconductivity*, 13(2), 1381-1384.
- Kanbur, H. (2016) İkinci kuşak giydirilmiş iletkenlerden dizayn edilen çok tabakalı HTSC güç iletim kablolarında altlık manyetizmasının AC kayıplara etkisi (Yüksek Lisans Tezi, RTEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Killi, H. (2022). Yüksek ve Kararlı Elektrokimyasal Enerji Depolaması İçin Co@WO 3/Ni Kompozit Elektrodunun Fabrikasyonu (Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi).
- Kim, Y. H., Lee, S. K., Jang, H. M., Kim, Y. W., Lee, K. T., Choi, C. Y., ve Lim, J. H. (2012). The application of the cryogenic system on the HTS power cable circuit in actual grid. *Cryogenics*, 52(12), 661-666.
- Lee, R. C., Dada, A., ve Ringo, S. M. (2005). Cryogenic refrigeration system for HTS cables. *IEEE transactions on applied superconductivity*, 15(2), 1798-1801.
- Sadik, E. (2011) MR uygulamalarının dental amalgamdaki faz değişiklikleri ve cıva buharlaşması üzerine etkilerinin XRD ve XPS yöntemleri ile incelenmesi (Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi).
- Terzioğlu, R. (2017). Merkez iletkeni bakır olan süperiletken CORC kabloların alternatif akım kayıpları (Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi)
- Van Sciver, S. W. (2001). Cryogenic systems for superconducting devices. *Physica C: Superconductivity*, 354(1-4), 129-135.
- Volkov, E. P., Vysotsky, V. S., ve Firsov, V. P. (2012). First Russian long length HTS power cable. *Physica C: Superconductivity and its Applications*, 482, 87-91.

- Yılmaz, B., Gençoğlu, M. (2022) Rezistif Süperiletken Arıza Akımı Sınırlayıcı MATLAB-Simulink Modeli ve Uygulaması-Son Hali. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 34(2), 803-815.
- Yoshida, S. (2017). Cryogenic cooling system for HTS cable. Progress in superconductivity and cryogenics, 19(2), 1-8.

15. Bölüm

Polilaktik Asit Temelli Kanama Durdurucu Ve İz Giderici Nanofiber Membran Üretimi

Erdi BULUŞ¹
Gülseren SAKARYA BULUŞ²
Mehmet AKKAŞ³

¹ Öğr.Gör.: İstanbul Arel Üniversitesi, ArelPOTKAM (Polimer Teknolojileri ve Kompozit Uygulama ve Araştırma Merkezi), İstanbul, 34537, Türkiye, erdibulus@arel.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-2045-2499
İstanbul Arel Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Ulaştırma Hizmetleri Bölümü, Sivil Havacılık Kabin Hizmetleri Programı, İstanbul, 34295, Türkiye, buluserdi@gmail.com

² Uzman: İstanbul İl Sağlık Müdürlüğü, Ar-Ge Projeler Birimi, İstanbul, 34093, sakaryagulseren1@gmail.com, ORCID No: 0000-0001-6096-8177

³ Doç.Dr.: Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, 37150, Türkiye, mehmetakkas@kastamonu.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-0359-4743
İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya ve Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 34467, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada kanama durdurucu ve yara izi giderici özellikleri bulunabilen yara örtülerinin elektroğirme tekniği ile elde edilmesinden bahsedilmektedir. Polilaktik asit (PLA) polimeri, kolay spinlenebilmesi ve kaliteli nano elyaf yüzeyler oluşturması nedeniyle tercih edilmiştir. Hassas terazide 10 gr PLA tartılarak, 40/60 oranında dimetilformamid (DMF)/kloroform çözücülerini içerisinde ağırlıkça % 10 olacak bir kütle karışımı hazırlanmıştır. Karışım, manyetik bir karıştırıcıda 60-70 °C'de 60-70 dakika karıştırıldı ve 24 saat oda sıcaklığında beklemesi sağlandı. % 10'luk PLA çözeltilisine havlıcan kökü, meyan kökü, arnavut biberi, kekik, ısırgan, asma yaprağı katkı maddeleri ilave edildi. %10 PLA-%5 Havlıcan Kökü, %10 PLA-%5 Meyan Kökü, %10 PLA-%5 Arnavut Biberi, %10 PLA-%5 Kekik, %10 PLA-%5 Isırgan, %10 PLA-%5 Asma Yaprığı ve %10 PLA-%1 Havlıcan Kökü-%1 Meyan Kökü-%1 Arnavut Biberi-%1 Kekik-%1 Isırgan-%1 Asma Yaprığı kompozitleri nanoteknolojik elektroğirme yöntemi ile elde edildi. Nanoteknolojik elektroğirme tekniği ile tüm numunelerden başarılı bir şekilde nanofiber membran üretimi gerçekleştirilmiştir. Numunelere morfolojik, mekanik ve biyolojik karakterizasyon çalışmaları sağlanarak malzeme özellikleri belirlenmiştir. Malzeme özellikleri esas alındığında, morfolojik analiz sonucuna göre 40-220 nm nanofiber çap ortalama değeri, mekanik analiz sonucuna göre çekme mukavemet değeri 62,89 MPa ve biyolojik hücre kültürü sonucuna göre 72 saat süre sonunda hücre canlılık değeri %97 oranı ile en ideal kompozit yapısı %10 PLA-%1 Havlıcan Kökü-%1 Meyan Kökü-%1 Arnavut Biberi-%1 Kekik-%1 Isırgan-%1 Asma Yaprığı numunesinde olduğu tespit edilmiştir. Elektroğirme tekniği ile kanama durdurucu ve iz giderici doğal yara iyileştirici özellikleri barındıran nanoteknolojik yara örtüleri çalışma kapsamında üretilmiş ve ideal bir yara örtüsü olması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Doğal yara iyileştirici, kanama durdurucu, iz giderici, polimer, elektroğirme, nanofiber membran

GİRİŞ

Yara dokusu oluşumu, kaza ve/veya yaralanma sonrası dokunun bütünlüğünün bozulması durumu olarak tanımlanmaktadır. Yara oluşumlarında evreleri bulunmaktadır. Bu evreler bazen sancılı olabilmektedir. Bu evrelere yönelik yenilikçi malzemelere giderek artan bir talep bulunmaktadır. Bu taleplere karşılık verecek olarak kompozit malzemeler bulunmaktadır [1-5].

Kompozit; iki ya da daha fazla malzemenin kendi sınırlarını koruyarak oluşturdukları bir biyomalzeme çeşitidir. Takviye ve matris yapılarından meydana gelebilmektedir. Elektrospinning yönteminde polimerler matris malzemesi olurken, katkı maddeleri takviye elemanı olarak kullanılmaktadır [7-9].

Nanolif tanımı, ortalama olarak lif çapları nanometre seviyesine sahip olan yaklaşık olarak insan saç telinin binde biri olarak tanımlanır. Genel anlamda “nano” terimi, lif çapının büyüklüğünü ifade etmektedir. Lifleri oluşturmak için geliştirilen en önemli tekniklerden birisi elektroçirime tekniğidir.

Günümüzde nanolif üretimi; fibrilasyon, meltblowing, bikomponent, spunbond ve elektroçirime yöntemleri kullanılmak suretiyle sağlanmaktadır. Elektroçirime sistemi polimer çözeltilerden elektriksel alan yardımı ile nanolif membrane üretimidir. Burada basitçe sistemi anlatmak gerekirse şırınga pompası, yüksek voltaj güç kaynağı ve toplayıcı plaka yer almaktadır [10-12].

Bu çalışmada, kanama durdurucu ve iz giderici doğal yara iyileştiricilerin katkı olarak kullanılması ile polimerik nanofiber üretimi elektroçirime tekniği ile gerçekleştirilecektir. Elde edilecek nanofiber membranların ideal bir yara iyileştirici olması ve fonksiyonel özellikleri ile çeşitli sektörlerde kullanımı hedeflenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Kullanılan malzemeler

Havlıcan kökü, meyan kökü, arnavut biberi, kekik, ısırgan, asma yaprağı çevremizdeki aktarlar ve bitki yetiştiricilerinden temin edilmiştir. Jel kromatografi sonucu 15 kDA olan polilaktik asit (PLA), kloroform ve dimetilformamid (DMF) Sigma/Aldrich firmasından temin edilmiştir. Elektroçirime aşamasında altlık yüzey olarak yağlı kağıt kullanılmıştır.

Deneysel plan ve teknikler

Kanama durdurucu ve iz giderici yara iyileştirici çözeltilerin hazırlanması

Kanama durdurucu ve iz giderici doğal yara iyileştirici özellikleri bilinen katkı maddeleri -20 °C’de buzdolabında 24 saat süre bekletildikten sonra

dondurarak kurutma işlemi sağlanarak içerisinde bulunan tüm sıvı yapı giderilerek seramik havan aracılığı ile toz haline getirilmiştir. Tablo 1.1.'de yer alan değerlerde çeşitli polimerlere takviye edilerek yara iyileştirici solüsyonlar hazırlanmıştır.

Tablo 1.1: Kanama durdurucu ve iz giderici doğal yara iyileştirici çözeltilerin hazırlanma parametreleri

Polimer / Katkı maddesi	Çözücü	Karışım sıcaklığı (°C)	Karıştırma süresi (dakika)
%10 PLA	DMF/Kloroform (40/60)	60	60
%10 PLA-%5 Havlıcan Kökü	DMF/Kloroform (40/60)	60	60
%10 PLA-%5 Meyan Kökü	DMF/Kloroform (40/60)	60	60
%10 PLA-%5 Arnavut Biberi	DMF/Kloroform (40/60)	60	65
%10 PLA-%5 Kekik	DMF/Kloroform (40/60)	70	70
%10 PLA-%5 Isırgan	DMF/Kloroform (40/60)	70	70
%10 PLA-%5 Asma Yapağı	DMF/Kloroform (40/60)	70	70
%10 PLA-%1 Havlıcan Kökü-%1 Meyan Kökü-%1 Arnavut Biberi-%1 Kekik-%1 Isırgan-%1 Asma Yapağı	DMF/Kloroform (40/60)	70	70

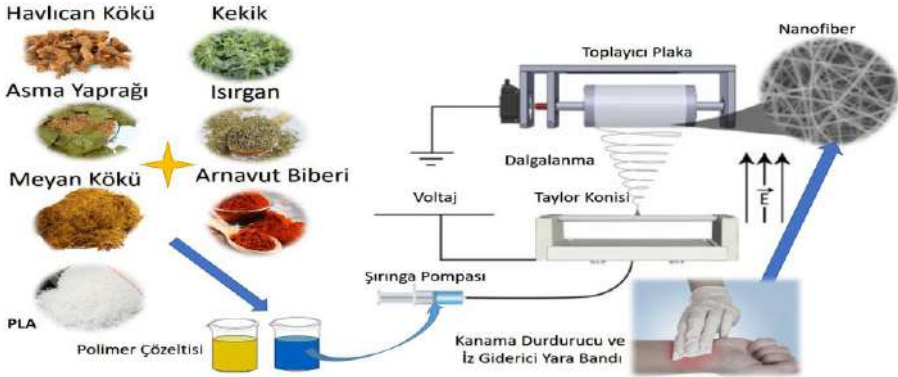
Elektroegirme yöntemiyle kanama durdurucu ve iz giderici doğal yara iyileştirici nanofiber membran üretimi

Kanama durdurucu ve iz giderici doğal yara iyileştirici nanofiber membran üretimi için gerekli elektroegirme parametreleri Tablo 1.2'de gösterilmektedir.

Tablo 1.2: Kanama durdurucu ve iz giderici doğal yara iyileştirici nanofiber membran üretimi için gerekli elektroöğirme parametreleri

Polimer / Katkı Maddesi	İğne ucu ile toplayıcı arası mesafe (cm)	Debi (ml/saat)	Voltaj (kV)
%10 PLA	15	2.5	30
%10 PLA-%5 Havlıcan Kökü	15	2.5	30
%10 PLA-%5 Meyan Kökü	15	3.0	30
%10 PLA-%5 Arnavut Biberi	15	3.0	30
%10 PLA-%5 Kekik	15	2.5	30
%10 PLA-%5 Isırgan	15	2.5	30
%10 PLA-%5 Asma Yaprığı	15	3.0	30
%10 PLA-%1 Havlıcan Kökü-%1 Meyan Kökü-%1 Arnavut Biberi-%1 Kekik-%1 Isırgan-%1 Asma Yaprığı	15	3.0	30

Elektroöğirme yöntemiyle kanama durdurucu ve iz giderici doğal yara iyileştirici nanofiber membran üretim aşamaları Şekil 1.1’de yer almaktadır.



Şekil 1.1: Elektroöğirme yöntemiyle kanama durdurucu ve iz giderici doğal yara iyileştirici nanofiber membran üretim aşamaları

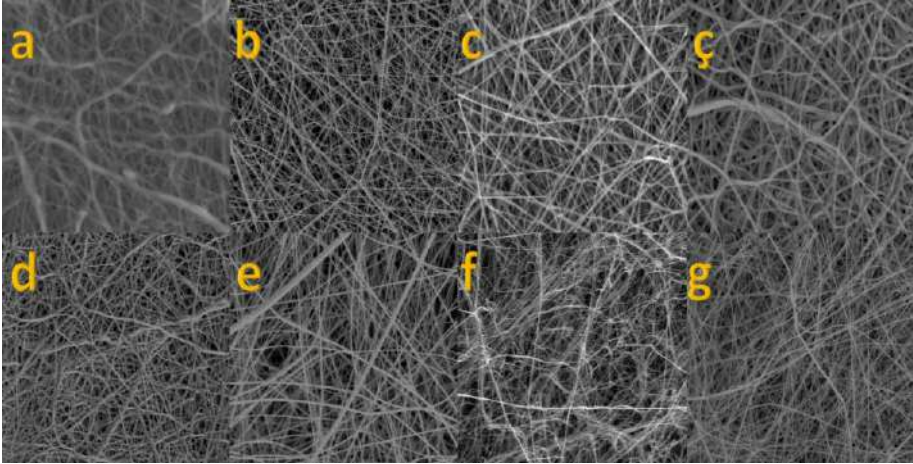
Karakterizasyon çalışmaları

Üretilen membranların morfolojik özellikleri FEGSEM analizi ile, mekanik analizleri çekme testi ve biyolojik özellikleri hücre kültürü çalışmaları ile tespit edilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

FEGSEM analizi

En ince nanolifler 40-220 nm değeri ile %10 PLA-%1 Havlıcan Kökü-%1 Meyan Kökü-%1 Arnavut Biberi-%1 Kekik-%1 Isırgan-%1 Asma Yaprağı numunesinde olduğu tespit edilmiştir. Tablo 1.3.'de membranların lif çapları yer almaktadır [11-15]. FEGSEM morfolojik görüntüleri Şekil 1.2'de gösterilmektedir.



Şekil 1.2: (a) %10 PLA, (b) %10 PLA-%5 Havlıcan Kökü, (c) %10 PLA-%5 Meyan Kökü, (ç) %10 PLA-%5 Arnavut Biberi, (d) %10 PLA-%5 Kekik, (e) %10 PLA-%5 Isırgan, (f) %10 PLA-%5 Asma Yaprağı, %10 PLA-%1 Havlıcan Kökü-%1 Meyan Kökü-%1 Arnavut Biberi-%1 Kekik-%1 Isırgan-%1 Asma Yaprağı SEM görüntüleri

Tablo 1.3: Membranların mukavemet değerleri

Numune adı	Numunelerin nanofiber çap dağılım aralığı (nm)
%10 PLA	150-350
%10 PLA-%5 Havlıcan Kökü	40-240
%10 PLA-%5 Meyan Kökü	110-500
%10 PLA-%5 Arnavut Biberi	135-345
%10 PLA-%5 Kekik	250-545
%10 PLA-%5 Isırgan	90-450
%10 PLA-%5 Asma Yaprığı	155-300
%10 PLA-%1 Havlıcan Kökü-%1 Meyan Kökü-%1 Arnavut Biberi-%1 Kekik-%1 Isırgan-%1 Asma Yaprığı	40-220

Hücre kültürü testi

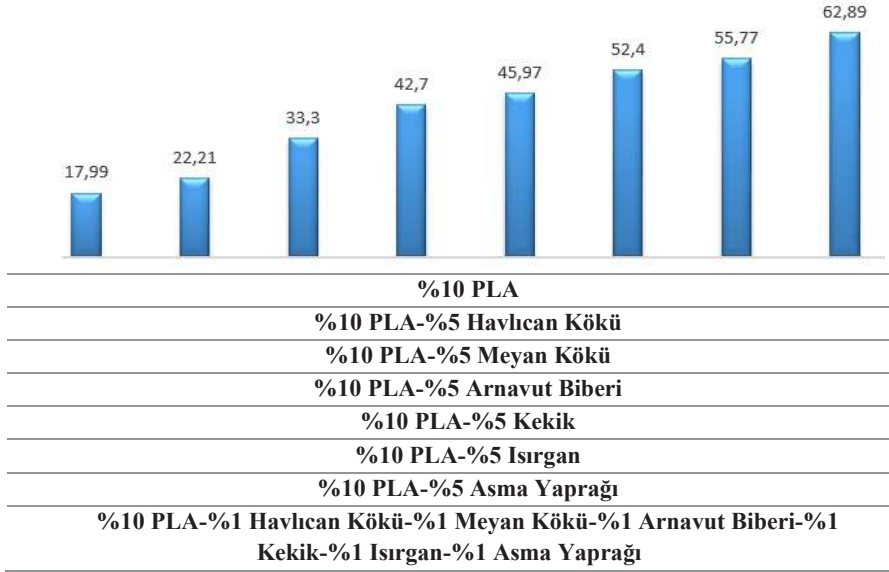
Numunelerin hücre canlılığı değerleri biyolojik hücre kültürü çalışmaları ile belirlenmiştir. 72 saat süresine kadar incelemelerde bulunarak üç günlük periyotta gözlemlene çalışmaları sağlanmıştır [12-15]. Nanofiber membranların hücre canlı/ölü değerleri Tablo 1.4’de gösterilmektedir.

Tablo 1.4: Nanofiber membranların hücre canlı/ölü değerleri

Numune adı	24 saat	24 saat	48 saat	48 saat	72 saat	72 saat
	Hücre canlılık değeri (%)	Hücre ölümlük değeri (%)	Hücre canlılık değeri (%)	Hücre ölümlük değeri (%)	Hücre canlılık değeri (%)	Hücre ölümlük değeri (%)
%10 PLA	92	8	90	10	88	12
%10 PLA-%5 Havlıcan Kökü	94	6	93	7	92	8
%10 PLA-%5 Meyan Kökü	94	6	93	7	92	8
%10 PLA-%5 Arnavut Biberi	96	4	94	6	92	8
%10 PLA-%5 Kekik	97	3	97	3	95	5
%10 PLA-%5 Isırgan	97	3	97	3	95	5
%10 PLA-%5 Asma Yaprığı	98	2	97	3	95	5
%10 PLA-%1 Havlıcan Kökü-%1 Meyan Kökü-%1 Arnavut Biberi-%1 Kekik-%1 Isırgan-%1 Asma Yaprığı	99	1	98	2	97	3

Çekme testi

ASTM standartlarına göre test işlemi üçerkez tekrar edilerek nanolif membranların mekanik çekme mukavemetleri tespit edilmiştir. Etken madde katıldıkça membrane mukavemeti artmıştır. Hepsinin olduğu kompozit çalışmadaki en yüksek mukavemete sahiptir [16-18]. Kanama durdurucu ve iz giderici nanofiber membranların çekme mukavemet grafiği Şekil 1.3 de yer almaktadır.



Şekil 1.3: Kanama durdurucu ve iz giderici nanofiber membranların çekme mukavemet grafiği

SONUÇ

Numunelerde lif oluşumu yapılan FEGSEM analizine göre tespit edilmiştir. Polimere nazaran kanama durdurucu ve iz giderici doğal yara iyileştiricilerin katılması ile nanofiber çapları incelmıştır. Bunun yanı sıra elektroçirme çalışma parametreleri membranların morfolojilerini değiştirebilmektedir. Çalışmadaki en ince nanofiberler 40-220 nm aralığında olup, %10 PLA-%1 Havlıcan Kökü-%1 Meyan Kökü-%1 Arnavut Biberi-%1 Kekik-%1 Isırgan-%1 Asma Yaprağı numunesinde gözlemlenmiştir. Biyolojik hücre kültürü sonuçları incelendiğinde PLA'ye katılan kanama durdurucu ve iz gidericilerin sinerjik etkileri ile hücre canlılık değerleri PLA ve diğer kompozitlere göre daha çok artmıştır. Mekanik özellikler bakımından incelendiğinde tüm numunelerin olduğu sinerjik etkili kompozit malzememiz çalışmadaki en mukavemetli malzeme olmuştur. Bunun asıl sebebi ise morfolojik görüntülerde sinerjik maddelerin PLA liflerinin etrafını sarmasıyla doğrusal bir mukavemet

sağlaması olarak açıklanmaktadır. PLA tek başına belirli bir mukavemeti varken katkıların birer birer katılması mukavemeti artışı sağlarken katkıların birarada olması ile daha sıkı paketli nanofiber örgülerinden oluşması meydana gelmiştir. Çalışmadaki en mukavemetli malzeme %10 PLA-%1 Havlıcan Kökü-%1 Meyan Kökü-%1 Arnavut Biberi-%1 Kekik-%1 Isırgan-%1 Asma Yaprağı numunesi olup 62.89 MPa çekme mukavemetine sahiptir. Elde edilen sonuçlara göre üretilen polimerik matrisli kompozitlerin ideal bir yara iyileştirici olarak sağlık sektörünün yanı sıra, tekstil, gıda, tarım, filtrasyon, savunma gibi sektörlerde kullanılması düşünülmektedir. Sadece yara özelliğinin olduğu düşünülmediği göz önüne alındığında birçok sektöre hitap edebilecektir. Kelebek hastalığı gibi derin yaraları iyileştirirken filtrasyon uygulamalarında da maske veya kirli su arıtımında da kullanımı sözkonusu olabilecektir. Tekstil sektöründe ter emici olabilirken, kozmetik sektöründe cilt maskesi özelliğide gösterebilmektedir.

REFERANSLAR

- [1] Rosińczuk, J., Taradaj, J., Dymarek, R., & Sopel, M. (2021). Mechanoregulation of wound healing and skin homeostasis. *Chronic Wounds, Wound Dressings and Wound Healing*, 461-477.
- [2] Thaarup, I. C., & Bjarnsholt, T. (2021). Current in vitro biofilm-infected chronic wound models for developing new treatment possibilities. *Advances in Wound Care*, 10(2), 91-102.
- [3] Ergin, M., & Özer, N. (2021). Comparison of hemostatic efficacy of topical Ankaferd Blood Stopper on heparinized and nonheparinized rats in bleeding related to liver injury. *Acta Cirúrgica Brasileira*, 36(1).
- [4] Abdel-Tawwab, M., & El-Araby, D. A. (2021). Immune and antioxidative effects of dietary licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) on performance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) and its susceptibility to *Aeromonas hydrophila* infection. *Aquaculture*, 530, 735828.
- [5] Kondo, F., Hatakeyama, K., Sakai, A., Minami, M., Nemoto, K., & Matsushima, K. (2021). Parthenocarpy Induced Fluctuations in Pungency and Expression of Capsaicinoid Biosynthesis Genes in a Japanese Pungency-variable Sweet Chili Pepper ‘Shishito’(Capsicum annum). *The Horticulture Journal*, 90(1), 48-57.
- [6] Tessema, Z., Yibeltal, D., & Molla, Y. (2021). Evaluation of the wound healing activity of the crude extract of root bark of *Brucea antidysentrica*, the leaves of *Dodonaea angustifolia* and *Rhamnus prinoides* in mice. *Heliyon*, 7(1), e05901.
- [7] Rouhi-Broujeni, H., & Namjou, A. (2021). Antihyperglycemic, antihyperlipidemic and wound healing of *Boswellia serrata* on experimentally induced diabetic rats. *Abanico Veterinario*, 10(1), 1-17.
- [8] Fama, G., Tagliapietra, J., Belluzzi, E., Pozzuoli, A., Biz, C., & Ruggieri, P. (2021). Mid-Term Outcomes after Arthroscopic “Tear Completion Repair” of Partial Thickness Rotator Cuff Tears. *Medicina*, 57(1), 74.
- [9] Piontek, T., Ciemniowska-Gorzela, K., & Bąkowski, P. (2021). Biomaterials in Meniscus Repair. In *Lower Extremity Joint Preservation* (pp. 147-160). Springer, Cham.
- [10] TÜYLEK, Z. Sağlık Alanında Kullanılan Polimerik Biyomateryaller. *Tıp Fakültesi Klinikleri Dergisi*, 3(2), 67-76.
- [11] ERDOĞDU, Y. E., & TEMİZ, Ş. Doğal Elyaf Takviyeli Grafen Nanoplatelet Dolgulu Epoksi Matrisli Kompozitlerde Abrazif Aşınma. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 440-449.

- [12] Caillol, S. (2021). Special Issue “Natural Polymers and Biopolymers II”.
- [13] aqueous solution. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 2492-2501.
- [14] Dziadek, M., Dziadek, K., Kopec, A., Zagrajczuk, B., & Cholewa-Kowalska, K. (2017). Antioxidant activity of novel PLA/bioactive glass composites enriched with polyphenolic compounds extracted from fruits and leaves of sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Materials Letters*, 203, 28-31.
- [15] Suryamathi, M., Viswanathamurthi, P., & Seedeve, P. (2021). Herbal Plant Leaf Extracts Immobilized PLA Nanofibrous Mats as Skin-Inspired Anti-infection Wound Healing Material. *Regenerative Engineering and Translational Medicine*, 1-12.
- [16] Bellu, E., Garroni, G., Cruciani, S., Balzano, F., Serra, D., Satta, R., ... & Maioli, M. (2020). Smart Nanofibers with Natural Extracts Prevent Senescence Patterning in a Dynamic Cell Culture Model of Human Skin. *Cells*, 9(12), 2530.
- [17] Adeli-Sardou, M., Torkzadeh-Mahani, M., Yaghoobi, M. M., & Dodel, M. (2018). Antibacterial and Anti-biofilm Investigation of Electrospun PLA/gelatin/Lawsone Nano Fiber Scaffolds against Biofilm Producing Bacteria. *Biomacromolecular Journal*, 4(1), 46-57.
- [18] Dziadek, M., Dziadek, K., Checinska, K., Zagrajczuk, B., Golda-Cepa, M., Brzywczy-Wloch, M., ... & Cholewa-Kowalska, K. (2021). PLA and PLA/bioactive glass biomaterials as carriers for biologically active polyphenolic compounds: Comprehensive physicochemical and biological evaluation. *Bioactive Materials*, 6(6), 1811-1826.

16. Bölüm

Yara İyileştirici Özelliği Bulunan Nanoteknolojik Biyomalzemeler

Erdi BULUŞ¹
Gülseren SAKARYA BULUŞ²
Mehmet AKKAŞ³

¹ Öğr.Gör.: İstanbul Arel Üniversitesi, ArelPOTKAM (Polimer Teknolojileri ve Kompozit Uygulama ve Araştırma Merkezi), İstanbul, 34537, Türkiye, erdibulus@arel.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-2045-2499
İstanbul Arel Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Ulaştırma Hizmetleri Bölümü, Sivil Havacılık Kabin Hizmetleri Programı, İstanbul, 34295, Türkiye, buluserdi@gmail.com

² Uzman: İstanbul İl Sağlık Müdürlüğü, Ar-Ge Projeler Birimi, İstanbul, 34093, sakaryagulseren1@gmail.com, ORCID No: 0000-0001-6096-8177

³ Doç.Dr.: Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, 37150, Türkiye, mehmetakkas@kastamonu.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-0359-4743
İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya ve Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 34467, Türkiye

ÖZET

Resveratrol ve timokinon birçok bitkinin yapısında bulunan çok güçlü bir antioksidandır. Son yıllardaki araştırmalarda resveratrol ve timokinon içeren etken maddelerin insan sağlığına yararlı birçok etkisi olduğu tespit edilmiştir. Etken maddelerinin, hücre yenileyici, yara ve yanık iyileştirici, antiseptik, kanser önleyici, kalp krizini engelleyici, kalp hastalıklarına karşı koruyucu, ülsere karşı iyileştirici ve yaşlanmayı geciktirici etkilerinin olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada çörek otu ve kuru üzüm çekirdeği gibi farklı etken madde yüklü biyomalzemelerin nano boyutlardaki üretimi gerçekleştirilmiştir. İki farklı yöntem kullanılmış olup, bu yöntemlerden birincisi yara iyileştirici bantların üretilmesinde kullanılacak nanoteknolojik bir üretim yöntemi olan elektroçirime yönteminin tercih edilmiş olması ve diğer bir yöntem ise, kontrollü ilaç salımı yapabilen nanopartiküllerin üretilmesinde kullanılacak olan elektro-hidrokinamik atomizasyon yönteminin kullanılmış olmasıdır. Etken madde yüklü polimerik yara iyileştirici bantların ve partiküllerin eldesinde, çörek otu ve kuru üzüm çekirdeği gibi farklı etken maddeleri farklı konsantrasyonlarda (%0.1, %0.3, %0.5, %1 w/v) %10'luk polikaprolakton (PCL) FDA (Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi) onaylı polimer çözeltilerine takviye edilmiştir.

Üretilen bu malzemelerin morfolojik, biyolojik ve mekanik karakterizasyonları yapılmıştır. Resveratrol ve timokinon gibi farklı etken madde yüklü biyomalzemelerin yara iyileştirici ve kontrollü ilaç salımı özellikleri araştırılmıştır. Sonuçta üretilen biyomalzemelerin başlıca doku mühendisliği uygulamalarında ideal özellikleri sağlayacak yara iyileştirici olarak kullanımı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Resveratrol, timokinon, nanopartikül, yara, nanolif, biyomalzeme

GİRİŞ

Doku mühendisliği uygulamalarında yara iyileştirici bant ve kontrollü ilaç salımı yapabilen nanopartiküller ile düşük maliyetli, hızlı ve etkili biyomalzemelerin üretilmesi sağlanabilmektedir. Etken maddelerin sahip olduğu antikanser, antimikrobiyal, antioksidan, antiaging gibi özellikler sayesinde ilaç sektörüne katma değer getirmesi sonucunda ülke teknolojisine ve ekonomisine getiriler gerçekleştirilmektedir. Yara iyileştirici ve ilaç salım özelliği bulunan malzemelerden biyoyumlu ve biyobozunur polimer nanolifleri ve ilaç salımı yapabilen nanopartiküller literatür araştırmalarınınca birçok çalışmanın ana konusu olmuştur [1-7]. Etken madde yüklü yara iyileştirici ve ilaç salım özelliği bulunan biyomalzemeler yara ve yanıkların iyileştirilmesi süresince özelliklerini yitirmezler, biyoaktif, antimikrobiyal ve biyobozunur olmaları sayesinde yara ve yanık bölgesinde hızlıca hücre yenilenmesi oluşturarak mikropların yok olması sağlanır bu sırada üretilen yara örtücü bant yavaş yavaş bozunarak yok olmaya başlamaktadır. Vücutta ilaç olarak kullanılan etken madde yüklü polimer nanopartiküller hedef bölgeye salındıktan sonra biyobozunur olan malzemeler yavaş yavaş bozunarak idrarla kolaylıkla dışarı atılması sağlanabilmektedir.

Literatür çalışmalarınca çörek otu tohumu ve bileşenlerinin antikanser [1], antitümöral [2], antiülserojenik [3], antibakteriyel [4], antiinflamatuvar ve analjezik [5], antioksidan [6], hipoglisemik [7,8], bağışıklık sistemini güçlendirici [4] etkilerinin olduğunu göstermektedir.

Resveratrol ve timokinon içeren etken maddeleri, yara iyileşmesini sağlayan bantlar ve ilaç salımı yapan nanopartiküller birçok makaleye konu olmuştur. Makale bulguları bu malzemelerin başarılı sonuçlar sağladığını göstermektedir. Hedeflenen proje ile literatür çalışmaları göz önünde bulundurularak PCL gibi FDA onaylı polimer çözeltileri ve bu polimer çözeltilerine farklı oranlarda bu etken maddelerinin yüklenmesi ile hücre yenilenmesi hızını ve etkisini artırıp en kısa sürede en iyi yara iyileşmesi elde etmek çalışma kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Kanama durdurucu etkisi olan etken maddelerinin kolajen üretimini artırarak cildin daha sağlıklı ve elastan olmasına yardımcı olmaktadır. Özellikle yanık tedavisinde sıkça kullanılan bu etken maddeleri, yanığın acısını dindirip, tedavi sürecini hızlandırır. Yanığın bulunduğu bölgedeki iltihaplanmayı da geçiren antiseptik özelliği sayesinde mikropları öldürmektedir. Etken madde yüklü polimer kompozitlerin üretilmesiyle ithal ikamelerinin yerine geçebilecek, mukavemetli ve özgün biyokompozitlerin üretilip, geliştirilmesiyle sağlık sektörünün birçok alanında kullanılabilecek biyomalzemelerin eldesi bu çalışmanın ana odak noktasıdır. Ayrıca etken

maddelerinin antitoksit (zehire karşı koyma) özellikleri sayesinde daha etkili sonuç alınabileceği literatürde yapılan diğer çalışmalarca ortaya konulmuştur [2-5].

Elektroçirme ve elektro-hidrokinamik atomizasyon yöntemiyle biyoyumlu, biyobozunur polimer ve resveratrol ile timokinon içeren etken madde yüklü polimerik yapılardan üretilen kompozit biyomalzemeler vücudumuzdaki kolajen üretimini hızlandırıcı etkiye sahiptir. Bunun sebebi etken maddelerinin yapısal etkileri olarak görülmektedir. Kolajen üretimini hızlandırmaları sayesinde yara ve yanık bölgelerinde hücre yenilenmesini arttırdığından hızlı ve etkili iyileşme olanağı sağlamaktadır. Bunun yanında resveratrol ve timokinon içeren etken maddelerinin antikanser-antioksidan gibi etkilerinin son zamanlarda yaygın olarak bilinmesi ve tercih edilimleri ile kontrollü ilaç salımı yapabilmeleri sayesinde tedavi amaçlı ilaç olarak kullanılacak hızlı ve etkili özellikler sergilenmektedir.

Literatür çalışmaları incelendiğinde morfin benzeri ilaçların erkek farelerin karaciğerlerini hasara uğrattığı gözlemlenmiştir [3]. Etken madde yapısında yer alan timokinon antioksidanı ile morfin kaynaklı hasarların iyileştirildiği saptanmıştır. İşte bu özellikleri sayesinde çalışmamız kapsamında üretilen yara örtücülerin ve ilaç salım yeteneği olan nanopartiküllerin yara ve yanık başta olmak üzere kullanılması sağlanarak morfin benzeri ilaçların etkilerini azaltmaları beklenen hedefler arasındadır. Ayrıca açık yaralarda uygulanan morfin benzeri ilaçların yarada serbest radikal oluşturma riskleri söz konusudur. Bu risklerin timokinon içeren etken maddeler sayesinde ortadan kalkması sağlanabilecektir. Timokinon biyofilm oluşumunu inhibe eder ve ROS (reaktif oksijen türleri) oluşumundan dolayı seçici antibakteriyel aktiviteye sahiptir [4]. Bu özelliklerinden dolayı yara örtücü malzememiz antibakteriyel özelliği kazanmıştır. Timokinon (TQ) özellikle antioksidan, antihiperlipidemik, antidiyabetik, antiinflamatuar, gastroprotektif, hepatoprotektif gibi pek çok yararlı etkilere sahiptir.

Eklem iltihabına yönelik resveratrol ve timokinon içeren etken maddelerinin yararlı olacağını göstermiştir. Glasgow Üniversitesinde sürdürülen bilimsel çalışmada iltihaplanmada etkili iki adet proteine resveratrol ve timokinon içeren etken maddelerin iyi geldiğini belirlemişlerdir. 20 kişi üzerinde gerçekleştirilen bir dizi bilimsel faaliyet, günde 40 mg oranında 6 hafta boyunca resveratrol ve timokinon etken madde alımını gerçekleştirmişlerdir. Kan damalarında oluşacak iltihaplanmayı engellediği belirlenmiştir. Çeşitli özelliğinden dolayı yara örtücü bandımız iltihaplanmaya dirençli hale gelmiştir. Resveratrol ve timokinon içeren etken maddelerinin hidrofilik ve lipofilik özelliklerinden dolayı C ve E vitaminleri gibi iyi bilinen antioksidanlardan daha iyi etki gösterecektir.

Yapılan bu çalışmada resveratrol ve timokinon etken maddeleri içeren yara bandı üretimi sağlanmıştır. Üretilen biyomalzemelerin karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İdeal bir yara örtüsünün tüm işlevlerini yerine getireceğinden yara iyileştirici olarak kullanımı hedeflenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Çörek otu ve kuru üzüm çekirdeği çevremizdeki aktardan temin edilmiştir. Mw: 80.000 g/mol olan polikaprolakton (PCL) Sigma/Aldrich firmasından temin edilmiştir. Etanol, kloroform ve dimetilformamid solventler tercih edilmiştir. Altlık malzeme olarak yağlı kağıt kullanılmıştır.

Metot

Elektroegirme çözeltilerinin hazırlanması

Resveratrol ve timokinon içeren etken madde yüklü polimerik yara iyileştirici bantlar, çörek otu ve kuru üzüm çekirdeği gibi farklı etken maddeleri farklı konsantrasyonlarda (%0.1, %0.3, %0.5, %1 w/v) %10'luk PCL gibi FDA (Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi) onaylı polimer çözeltilisine takviye edilerek manyetik karıştırıcı yardımı ile homojen karışımı sağlanana kadar karışım işlemi sağlanmıştır. Elde edilen çözelti elektroegirme işlemine hazır hale getirilmiştir.

Elektro-hidrokinamik atomizasyon çözeltilerinin hazırlanması

Resveratrol ve timokinon içeren farklı etken madde yüklü kontrollü ilaç salımı yapabilecek nanopartiküller, çörek otu ve kuru üzüm çekirdeği gibi farklı etken maddeleri farklı konsantrasyonlarda (%0.1, %0.3, %0.5, %1 w/v) %10'luk PCL FDA (Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi) onaylı polimer çözeltilisine takviye edilerek manyetik karıştırıcı yardımı ile homojen karışım sağlanıncaya kadar işleme devam edilmiştir. Elde edilen etken madde yüklü polimer çözeltisi elektro-hidrokinamik atomizasyon için hazır hale getirilmiştir.

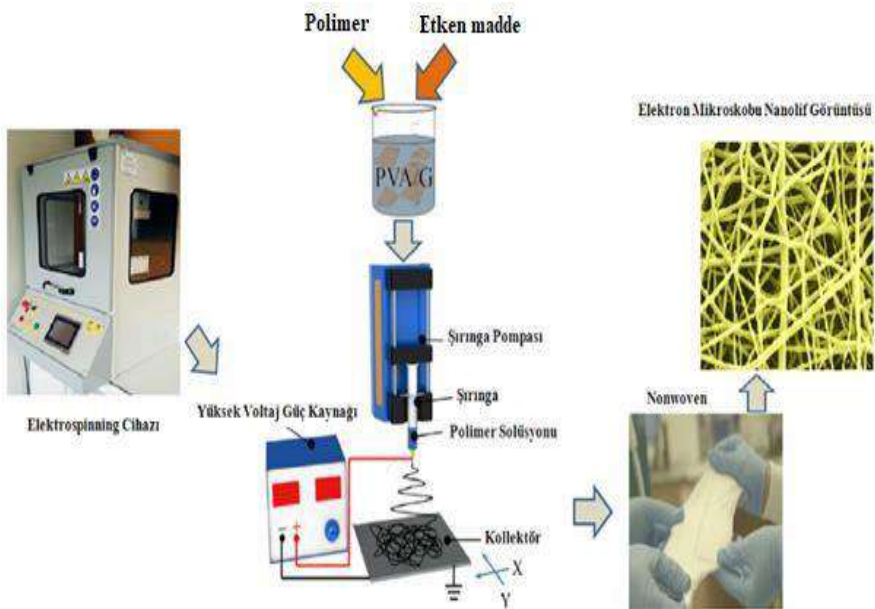
a. Etken madde yüklü polimerik yara iyileştirici malzemelerin üretimi

Tablo 1.1'deki değerler ışığında polimer ve etken madde yüklü polimer çözeltilerinden elektroegirme yöntemiyle yara iyileştirici polimerik biyomalzemeler elde edilmiştir. Çalışma koşullarında olası yaşanabilecek olumsuzluklara göre polimerin viskozitesi, etken madde yükleme oranı, voltaj, debi ve çalışma mesafesi optimizasyonları sağlanarak başarılı bir şekilde yara örtücü malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir.

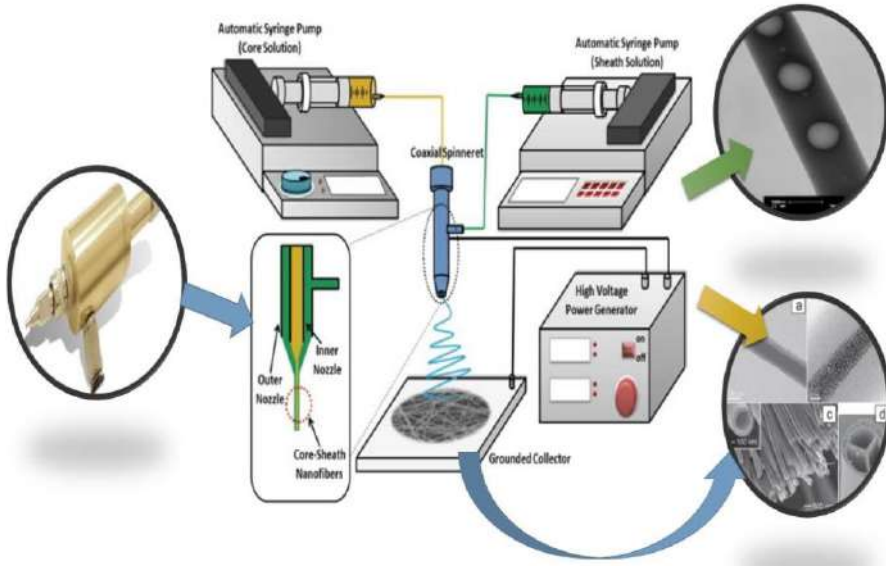
Tablo 1.1: Elektroeğirme çözeltileri ve parametre değerleri

Bileşim		Parametre	
PCL (wt.%)	Çörek otu-Kuru üzüm çekirdeği (wt.%)	Voltaj (kV)	Debi (ml/saat)
10	-	23.8	1.0
10	0.1	23.8	1.0
10	0.3	23.8	1.0
10	0.5	23.8	1.0
10	1	23.8	1.0

Polimer ve resveratrol ile timokinon içeren farklı etken madde yüklü polimerlerden elektroeğirme yöntemi ile yara iyileştirici bantların üretilmesi iki şekilde de sağlanmıştır. Bunlar; Şekil 1.1’de yer alan tek şırınga/çift şırınga tipi ile yara iyileştirici bant üretim sistemi ve Şekil 1.2’de görülen ko-aksiyal (iç içe geçmiş iğne) tipi ile yara iyileştirici sistemleridir. Koaksiyal sistem ile çalışılarak üretilen malzemenin hidrofilik ve hidrofobik özelliğe sahip olması gerçekleştirilmiştir. Gerekli görüldüğü zaman gözenekli yara örtücü bantların üretimi sağlanarak yaranın nefes alma kabiliyeti artırılarak yara iyileştirme özellikleri üzerine hız kazandırılabilir.



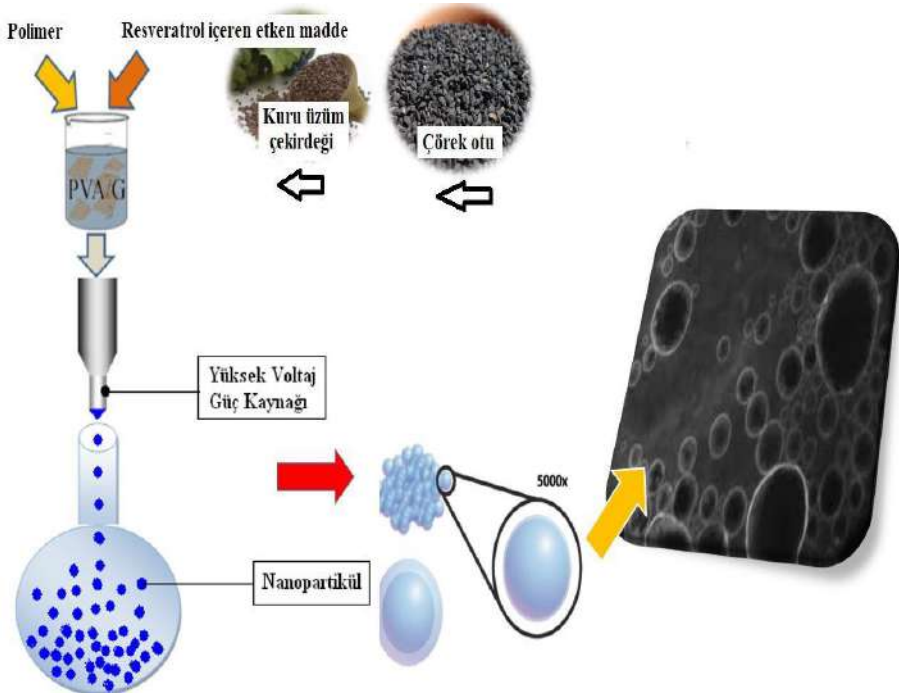
Şekil 1.1: Elektroeğirme cihazı ile etken madde yüklü yara iyileştirici sistem üretim aşamaları



Şekil 1.2: Elektroçirime cihazı koaksiyel tipi ile etken madde yüklü gözenekli/gözeneksiz yara iyileştirici sistem üretim aşamaları

b. Etken madde yüklü kontrollü ilaç salımı yapabilen nanopartikül üretimi

Hem polimer hem de etken madde yüklenmesi ile polimer malzemelerden nanopartikül üretimi elektro-hidrokinamik atomizasyon yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu sistem ile mikro/nano boyutlarda içi ilaç dolu polimerik kürecikler üretilecek ve ilaç salım sistemi olarak davranacaklardır. Şekil 1.3’de elektro-hidrokinamik atomizasyon yöntemi ile nanopartikül üretim sistem akış şeması gösterilmektedir. Partikül üretim yöntemlerinden elektro-hidrokinamik atomizasyon yöntemi dijital pompa, güç kaynağı ve iğneden oluşmaktadır. Sistem parametreleri voltaj değerleri, polimer solüsyonun sisteme besleme hızı, iğne çap kalınlığı ve solüsyonun fiziksel özelliklerine (yoğunluk, elektrik özelliği, yüzey basıncı, viskozitesi) bağlı olarak partikül boyut ve şeklini etkilemektedir. Çok girişli iğne tasarımı ile birden fazla solüsyon sisteme besleme imkanı sağlayabilmektedir.



Şekil 1.3: Elektro-hidrokinamik atomizasyon cihazı nanopartikül üretim sistem akış şeması

Nanopartikül üretim metodu olarak elektro-hidrokinamik atomizasyon sistemi kullanılmıştır. Elde edilen polimer ve etken madde yüklü polimer yapısı hem hidrofilik hem de hidrofobik bölgeleri olması nedeni ile aynı anda yağda ve suda eriyen maddeleri taşıyabilme özelliğine sahip olmuştur. Aynı şekilde bu sistemde biyouyumlu polimerler ve etken madde yüklü polimerlerden üretilecek nanopartiküllerin de ilaç salım sistemi olarak davranması bazı faktörlere (polimer viskozitesi, akış hızı vb. gibi) bağlıdır. Böylelikle elektro-hidrokinamik atomizasyon yöntemi ile üretilen etken madde yüklü polimer nanopartiküllerin sistematik olarak önceden belirlenmiş oranlarda ve spesifik zaman aralıklarında salınım yapması sağlanabilecektir. Resveratrol ve timokinon içeren etken madde salımı dozaj formu içinde kullanılan polimerin özellikleri ile bağlantılıdır ve fizyolojik koşullardan etkilenir. Böylelikle vücudun belirli bölgelerinde kontrollü bir şekilde belirli zamanlarda etken ilaç maddesinin salımı gerçekleşecektir. Ayrıca tedavi edici oranda ilaç düzeyinin korunması sağlanabilecektir.

Üretilen malzemelerin morfolojik, mekanik ve biyolojik karakterizasyonlarının yapılması:

Morfolojik karakterizasyon

Elektroegirme yöntemi ile hazırlanan resveratrol ve timokinon içeren farklı etken madde yüklü yara iyileştirici bant ve elektro-hidrokinamik atomizasyon yöntemi ile üretilen kontrollü ilaç salımı yapabilen nanopartiküllerin yüzey morfolojileri ve lif çapları, taramalı elektron mikroskobu (FEI-SEM, Quanta 450) yardımıyla, 3kV'lık hızlandırma voltajında farklı magnifikasyonlarda analiz edilmiştir. Polimer ve resveratrol ile timokinon içeren etken madde yüklü polimerik yapıların ortalama lif çapları Image J programı kullanılarak tespit edilmiştir.

Mekanik karakterizasyon

Polimer ve resveratrol ile timokinon içeren farklı etken madde yüklü polimerik yapıların mekanik özellikleri (Elastik Modülüs, Gerilim Kuvveti, Maksimum Uzama) çekme test cihazıyla incelenmiştir. Polimer ve resveratrol ile timokinon içeren etken madde yüklü polimerik yapıların, ASTM D683-Tip V standartlarına uygun olarak kesilerek hazırlanmıştır. Kesilen örnekler uç kısımlarından çekme test cihazının tutma birimlerine monte edilerek ve 10 kN'lık kuvvetle çalışılarak test işlemi gerçekleştirilmiştir.

Biyolojik (İn-vitro) karakterizasyon

İn-vitro sitotoksikite test işlemleri:

Yara örtücü bantlar ve ilaç salımı yapabilecek partiküller analiz işlemi için hazırlanmıştır. Yara örtücü bantlar ve ilaç salımı yapabilecek partiküller %70'lik alkolde 3 kez yıkanır. 3. yıkamada örnekler alkolde 30 dk bekletilmiştir. Örnekler PBS ile 3 kez yıkanır ve son PBS'de 20 dk bekletilmiştir. Son olarak örnekler 24 kuyucuklu hücre kültür kaplarına alınarak kabın tabanına yayılmıştır. Pasaj 4'te, %80 konfluenside toplanan insan fibroblast hücreleri sayılarak kuyucuk başına 100.000 hücre olacak şekilde örneklerin üzerine ekilmiştir. Ekilen hücreler 5 dk bekletildikten sonra üzerlerine 1'er ml kültür medyumunu (DMEM, %10 FBS, %1 Penisilin/Streptomisin, Gibco, USA) eklenmiştir. Birer kuyucuğa polimer konmadan sadece hücre ekimi sağlanmıştır. (pozitif kontrol). Polimerler, hücreler ile birlikte 72 saat kültüre edilmiştir. 24, 48 ve 72. saatlerde inverted mikroskopta gözlem yapılmış olup, 72 saat sonunda hücreler canlılık açısından mikroskopta değerlendirme yapılarak, numuneler fotoğraflanmıştır. Hücrelerin üzerindeki besiyeri toplanarak, kuyucuklar PBS ile yıkanmıştır.

Hücre ölüm testi:

Tutunmuş hücrelerin tespiti için boyama; Canlı ve ölü hücrelerin tespiti için içeriğinde 300 nM DAPI ve 100 ng/ml Propidium iodid (PI) solüsyonu içeren besiyeri ilave edilerek, örnekler inkübatöre kaldırılmıştır (overstaining). İnkübatörde 2 saat bekletilmekte olan örnekler üzerindeki besiyeri çekilir ve hücreler %70'lik metanol ile 20 dk buzdolabında bekletilir ve fikse edilmiştir. Tutunmuş hücreler Florasan mikroskopta incelenerek fotoğraflanmıştır.

Canlı/ölü hücre oranını belirlemek için boyama; Hücrelerin üzerindeki besiyeri toplanır ve kuyucuklar PBS ile yıkanmıştır. Canlı ve ölü hücrelerin tespiti için içeriğinde 1 µg/ml DAPI ve 1 µg/ml Propidium iodid (PI) solüsyonu içeren PBS ilave edilerek, karanlıkta oda ısısında 5 dk bekletilmiştir. Ardından boya solüsyonu çekilerek örnekler iki kez PBS ile yıkanır ve florasan mikroskopta görüntüleme yapılmıştır. Kuyucuklar 385 ve 555 nm dalga boylarında florasan ışımaya açısından değerlendirilir ve canlı (DAPI pozitif) ve ölü (PI pozitif) hücreler sayılmıştır. Deneyler biyolojik duplike olarak yapılması sağlanmıştır.

Hücre Proliferasyonu: Üzerlerine hücre tutunmuş resveratrol ve timokinon içeren farklı etken madde yüklü polimer örneklerinin birer kopyaları PBS ile yıkanarak %70 metanolde 20 dk süre ile fikse edilmiştir. Ardından ependorf tüplere alınan örnekler SEM analizleri için saklanmıştır. İlk deney ile aynı yöntemle hazırlanan hücreler örneklerin üzerlerine ekilir ve 37°C inkübatörde 48 saat süre ile kültüre edilmesi gerçekleştirilir. Ardından örnekler canlı /ölü hücrelerin sayımı amacıyla boyamaya alınması sağlanmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Morfolojik karakterizasyon

Çörek otu ve kuru üzüm çekirdeğinden resveratrol ve timokinon etken maddeleri süperkritik ekstraksiyon sistemi ile sağlanmıştır. Elektrohidrodinamik atomizasyon sistemi ile resveratrol ve timokinon maddeleri nanopartikül formuna getirilmiştir. Resveratrol ve timokinon etken maddeleri etanol de çözülmüştür. Ve sisteme bu şekilde beslenmiştir. Resveratrol ve timokinon %50-50 oranında kullanılmıştır. Elektrohidrodinamik atomizasyon sistemi ile elde edilen nanopartiküllerin boyutları Tablo 1.2 de yer almaktadır.

Tablo 1.2: Elektro-hidrokinamik atomizasyon sistemi ile elde edilen nanopartiküllerin boyutları

Bileşim		Boyutları (nm)
Çörek Kuru çekirdeği (wt.%)	otu- üzüm	
0.1		500-750
0.3		400-650
0.5		300-500
1		200-500

Tablo 1.2 de yer alan nanopartiküller sırasıyla %10 PCL polimer çözeltisine katılarak Tablo 1.3 de yer alan nanolif boyutları elektroçirime tekniğı ile sağlanmıştır. PCL polimeri 60 ml kloroform/40 ml dimetilformamid solvent karışımında çözelti haline getirilmiştir.

Tablo 1.3: Elektroçirime tekniğı ile elde edilen nanolif boyutları

Bileşim		Boyutları (nm)
PCL-Çörek otu-Kuru çekirdeği (wt.%)	üzüm	
10-0.1		500-900
10-0.3		375-482
10-0.5		245-400
10-1		175-256

Tablo 1.3 de yer alan değerler nanoteknolojik elektroçirime tekniğı ile üretim sonucunda ortaya konmuştur.

Mekanik karakterizasyon

ASTM standartlarına göre üçerkez ölçüm sağlanmıştır. Aritmetik ortalamaları alınarak mekanik özellikler belirlenmiştir.

Tablo 1.4: Elektroğirme tekniği ile elde edilen membran mukavemet değerleri

Bileşim		Çekme mukavemetleri (MPa)
PCL-Çörek otu-Kuru çekirdeği (wt.%)	üzüm	
10-0.1		24.50
10-0.3		27.45
10-0.5		33.04
10-1		38.96

Tablo 1.4 de yer alan değerler incelendiğinde etken madde oranı arttıkça mukavemet artmıştır. Etken madde polimer liflerinin etrafını homojen sararak yüzey alanını arttırmış, bu durumda mukavemetin artmasını sağlamıştır.

Biyolojik karakterizasyon

Hücre canlılık değerleri incelendiğinde Tablo 1.5 de yer alan değerlere göre en yüksek hücre canlılığı %10 PCL-%1 Resveratrol-Timokinon kompozitinde olmuştur. 72 saat süre sonunda hücre canlılığı %91 olduğu belirlenmiştir.

Tablo 1.5: Elektroğirme tekniği ile elde edilen nanolif boyutları

Bileşim	Günlere Göre Canlılık Değerleri (%)		
	24 Saat	48 Saat	72 Saat
PCL-Çörek otu-Kuru çekirdeği (wt.%)			
10-0.1	96	90	85
10-0.3	96	91	87
10-0.5	97	93	90
10-1	98	95	91

SONUÇ

Elektroğirme yöntemi ile resveratrol ve timokinon içeren farklı etken madde yüklü polimerik yara iyileştirici bantların üretilmesi sağlanmıştır. Elektro-hidrokinamik atomizasyon yöntemi ile kontrollü ilaç salım özelliği sağlayabilecek etken madde yüklü polimer nanopartiküllerin elde edilmesi gerçekleştirilmiştir. Üretilen malzemelerin morfolojik karakterizasyonunun FEGSEM yardımıyla, mekanik karakterizasyonunun çekme testi yardımıyla,

biyolojik karakterizasyonunun insan fibroblast hücreleri üzerinde sitotoksik etkilerinin incelenmesi amacıyla in-vitro çalışmalarının yapılması sağlanmıştır. Sonuçlar resveratrol ve timokinon kombinasyonunun ideal bir malzeme özelliği oluşturduğunu ortaya koymuştur. Etkin madde oranı arttıkça hücre canlılığı 72 saat sonunda %91 devam etmiştir. Çalışmamızda yapılan testlere göre en ideal özellikteki kompozitimiz %10 PCL-%1 Resveratrol-Timokinon numunesi olmuştur. Sonuçlar incelendiğinde etkin madde katılması PCL numunesine göre daha belirgin ve üstün özelliklerin artmasını sağlamıştır. İdeal bir yara iyileştirici nanofiber membran olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında biyomalzemeler alanında Ar-Ge ve yenilik kültürünü geliştirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca çalışmanın devamında üretilen etkin madde yüklü biyomalzemelerin biyobozunurluk testlerinin yardımıyla safra sıvısı ortamında in-vitro olarak belirleyecek süreçlerin geliştirilmesi ve vücut içindeki biyobozunurluğunun hayvan deneyleri ile doğrulamasının yapılması ulaşılmış istenilen hedef ve çalışmalardandır.

REFERANSLAR

- [1] GÜZELSOY, P., AYDIN, S., & BAŞARAN, N. (2018). Çörek otunun (*Nigella sativa* L.) aktif bileşeni timokinonun insan sağlığı üzerine olası etkileri. *Literatür Eczacılık Bilimleri Dergisi*, 7(2), 118-135.
- [2] Kaseb, A. O., Chinnakannu, K., Chen, D., Sivanandam, A., Tejwani, S., Menon, M., ... & Reddy, G. P. V. (2007). Androgen receptor–and E2F-1–targeted thymoquinone therapy for hormone-refractory prostate cancer. *Cancer research*, 67(16), 7782-7788.
- [3] Badary, O. A. (1999). Thymoquinone attenuates ifosfamide-induced Fanconi syndrome in rats and enhances its antitumor activity in mice. *Journal of ethnopharmacology*, 67(2), 135-142.
- [4] Kanter, M., Demir, H., Karakaya, C., & Ozbek, H. (2005). Gastroprotective activity of *Nigella sativa* L oil and its constituent, thymoquinone against acute alcohol-induced gastric mucosal injury in rats. *World Journal of Gastroenterology: WJG*, 11(42), 6662.
- [5] Halawani, E. (2009). Antibacterial activity of thymoquinone and thymohydroquinone of *Nigella sativa* L. and their interaction with some antibiotics. *Adv Biol Res*, 3(5-6), 148-52.
- [6] Abdel-Fattah, A. F. M., Matsumoto, K., & Watanabe, H. (2000). Antinociceptive effects of *Nigella sativa* oil and its major component, thymoquinone, in mice. *European journal of pharmacology*, 400(1), 89-97.
- [7] Badary, O. A., Abdel-Naim, A. B., Abdel-Wahab, M. H., & Hamada, F. M. (2000). The influence of thymoquinone on doxorubicin-induced hyperlipidemic nephropathy in rats. *Toxicology*, 143(3), 219-226.
- [8] Badary, O. A., Al-Shabanah, O. A., Nagi, M. N., Al-Bekairi, A. M., & Elmazar, M. (1998). Acute and subchronic toxicity of thymoquinone in mice. *Drug development research*, 44(2-3), 56-61.

17. Bölüm

Biyolojik Sentez Yöntemiyle Nanomalzemelerin Üretimi Ve Kullanım Alanları

Mine KIRKBINAR¹

Erhan İBRAHİMOĞLU²

Fatih ÇALIŞKAN³

¹ Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, mnekrkbnr@hotmail.com – ORCID ID 0000-0001-8703-1421

² Arş.Gör. Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, erhanibrahimoglu@subu.edu.tr - ORCID ID 0000-0002-8073-5570

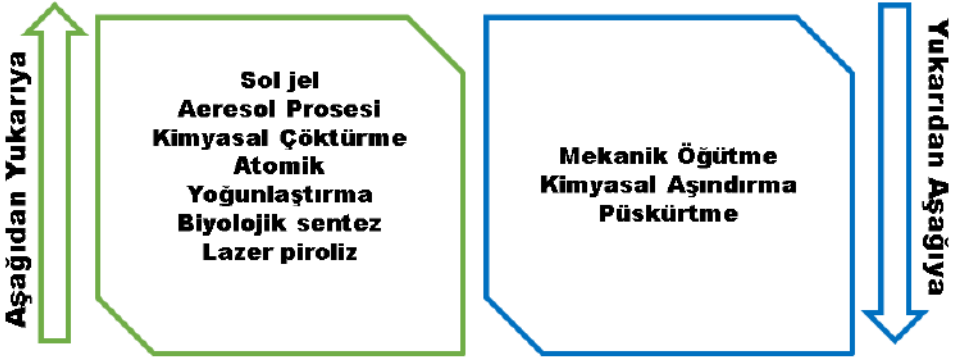
³ Prof.Dr. Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, fcaliskan@subu.edu.tr - ORCID ID 0000-0002-9568-7049

ÖZET

Son dönemlerde trend uygulamalarda nanopartiküller (NP) sıklıkla kullanılmaktadır. Nanopartiküller arasında yer alan metalik ve metalik olmayan NP'lerin farklı uygulama alanlarında kullanımı oldukça yaygındır. Metal oksitler şimdiye kadar geleneksel yöntemlerle üretilmesine rağmen; artan çevre kirliliği, yüksek enerji tüketimi ve potansiyel sağlık problemleri nedeniyle yeni yaklaşımları geliştirilmektedir. Nanopartiküllerin biyolojik yöntemle üretimi, toksik olmayan stabilizer ve indirgeyici ajanlar kullanıldığı için son zamanlarda dikkat çekmektedir. Biyolojik sentez yaklaşımı; çevre dostu, uygun maliyetli ve sürdürülebilir bir yöntem olduğu için, fiziksel ve kimyasal yöntemlere kıyasla pek çok avantajlara sahiptir. Geleneksel yöntemlerde kullanılan yüksek sıcaklıklar ve vakum sistemleri gibi gerekliliklere ihtiyaç duyulmadığından biyolojik yöntem daha düşük maliyetle üretime imkân sağlamaktadır. Ayrıca geleneksel yöntemlerde kullanılan toksik kimyasallar artan çevre kirliliği nedeniyle büyük endişe uyandırmaktadır. Biyolojik yöntemde toksik kimyasallar yerine doğal hammaddeler (bitki ekstraktı, bakteriler, algler, mantarlar gibi) kullanılması bu endişeleri giderebilmek adına önem arz etmektedir. Doğal hammaddeler içerisinde sıklıkla bitki yaprakları, kök, meyve ve çiçekler kullanılarak farklı boyut ve şekillerde metal ve metal olmayan NP'ler üretilebilmektedir.

1. NANOMALZEMELER

Nanomalzeme alanı, 1-100 nm (atomik ve moleküler düzeyde) boyutlarında farklı özelliklere sahip malzemelerin üretimine odaklanan multidisipliner bir araştırma dalıdır [1]. Nanomalzemeler yüksek boyutlu malzemelere oranla; yüksek katalitik aktivite, termal iletkenlik, mekanik özellik ve kimyasal kararlılık sergilemektedir [2]. Ayrıca nanomalzemelerin farklı boyut ve şekillerde (üçgensel, hegzagonal, küresel vb) üretimi mümkündür. Bu nedenlerle nano boyutlu malzemeler; bilgisayarlar, nanodiyotlar, bataryalar, yakıt hücreleri, güneş panelleri gibi farklı alanlarda kullanılmaktadırlar [3]. Ayrıca, tıp ve farmasötik alanlarında kullanımları da oldukça yaygındır.



Şekil 1. Nanopartikül üretim metotları

Nanopartiküller iki yaklaşım ile üretilmektedir. Şekil 1’de üretim yaklaşımları verilmiştir. Bunlar[4,5,6];

a-Yukarıdan Aşağıya Yaklaşımı: Bu yaklaşım; parçacığın küçük boyutlara gelmesi için yüksek enerjiler gerektiren kimyasal ya da mekanik yöntemlerden oluşmaktadır. Kırma, öğütme, buhar biriktirme yöntemleri yukarıdan aşağıya yaklaşımlara örnektir.

b-Aşağıdan Yukarıya Yaklaşımı: En çok kabul gören ve en etkili yöntemlerdendir. Küçük boyutta olan atom, molekül veya küçük nanopartiküllerin çekirdek oluşturarak birleşmesi temeline dayanmaktadır. Sol-jel, aerosol prosesi, biyolojik sentez yöntemi aşağıdan yukarıya yaklaşımlara örnektir.

2. BİYOLOJİK SENTEZ YÖNTEMİ

Biyolojik sentez yöntemi, minimum tehlikeli kimyasal kullanımı ile insan sağlığı ve çevreye zararı azaltarak üretime imkân sağlayan bir yaklaşımdır [7] . Biyolojik yollarla kararlı nano partiküllerin sentezi yeşil nano biyoteknoloji

olarak isimlendirilmektedir [3]. Biyolojik sentez yaklaşımının nanoteknoloji alanına girmesi, risklerin azalmasını sağlayan bir atılım olmuştur. Biyolojik sentez yöntemi 12 temel yaklaşımı esas almaktadır ve bunlar:

1. Atıkları önleme: Biyolojik sentez yöntemi, atık üretimini en aza indirir ve kirliliği azaltarak biyolojik nanopartiküllerin üretimini sağlamaktadır.
2. Daha güvenli kimyasal ve ürün imalatı: Bu yöntem, çok az ya da hiç toksisite olmadan istenilen özelliklere sahip nanopartiküllerin üretimini sağlamaktadır.
3. Daha az kimyasal sentez tasarımı: Daha düşük toksisiteyle daha verimli ürünlerin üretimi sağlanmaktadır.
4. Yenilenebilir hammadde kullanımı: Üretim esnasında çevreyi tüketen yerine, yenilenebilir ve çevreye zarar vermeyen hammadde kullanımı tercih edilmektedir.
5. Katalizör kullanımı: Katalizör kullanımı ile daha çevreci ürünler elde edilmektedir.
6. Türevlerin azaltılması: Gereksiz tüketimden kaçınılmaktadır.
7. Kayıpların azaltılması: Kullanılan başlangıç malzemeler maksimum kullanılmaktadır.
8. Kirlilik kontrolü ve azaltılması: Daha az toksik kimyasal kullanımıyla kirlilik riskini en aza indirmektedir. Sentez aşamasında gereksiz stabilizör ve indirgeyici gibi kimyasalların kullanımından kaçınılmaktadır.
9. Artan enerji verimliliği: Reaksiyon oda sıcaklığı ve basıncında yürütülmektedir. Prosedür böylece minimum enerji tüketimi sağlamaktadır.
10. Daha güvenli çözücü ve reaksiyon şartları kullanımı: Tehlikeli çözücüler ve stabilizörlerin kullanımından kaçınılmaktadır. Aşağıdan yukarıya yaklaşımının genellikle malzemelerin verimliliklerini arttırdığı ve işlem adımlarını ortadan kaldırdığı düşünülmektedir. Üretim esnasında kullanılan çözücüler genellikle su, metanol gibi zararsız çözücülerdir.
11. Geri dönüştürülebilir tasarım: Her şeyin geri dönüştürülemeyeceği ilkesi baz alınır ve kullanım ömrü sonunda bozulacak şekilde tasarlanmaktadır.
12. Kaza olasılığını minimize etme: Kimyasal kullanımına bağlı olarak oluşabilecek olan patlama, yangın gibi riskli durumların olasılıklar minimize edilmektedir [8].

Hem fiziksel hem de kimyasal yöntemlerde toksik çözücü ve kimyasallar kullanılmaktadır. Bu proseslerde yüksek enerji tüketimi gerçekleşmektedir. Biyolojik yöntem ise, güvenli ve toksik olmayan reaktifler kullanılır ve çevre dostudur [3]. Biyolojik sentez yaklaşımı ile üretilen NP'lerin daha stabil olduğu gözlemlenmektedir. Bu yaklaşımda bakteriler, algler, mantarlar ve bitkiler gibi

doğal ham maddeler kullanılmaktadır. Biyolojik yöntemde üretilen tozlar basit/pratik üretilebilir ve karakterizasyonu kolaydır. Ayrıca bu yöntemle üretimin başarısız olma imkânı yoktur. Biyolojik yöntemin ana avantajı düşük toksisiteye sahip nanopartiküllerin üretilmesi ve doğaya daha az zararlı malzemelerin üretilmesidir [9].

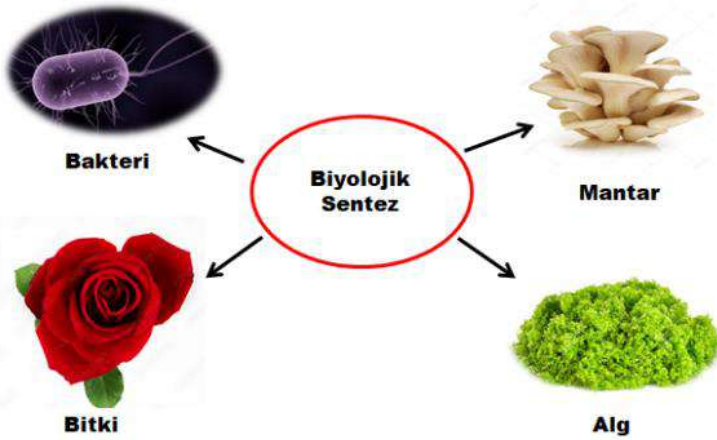
Biyolojik sentez yöntemi, gelecek neslin ihtiyaçlarını karşılayan sürdürülebilir kalkınmanın bir yan ürünüdür [10]. Bu yaklaşım çevre kirliliğini azaltır, çevre kalitesini artırır ve doğanın dengesini korumak için minimum doğal kaynakların kullanımı sağlamaktadır [11]. Biyolojik sentez yönteminin temel avantajı; doğal hammadde ve minimum toksik kimyasal kullanımı, taşınım ve depolamanın kolay olmasıdır. Bu yöntemin avantaj ve dezavantajları Tablo 1’de verilmiştir. Biyolojik yöntemde; protein, enzim, flavonoidler, şekerler, fenolikler indirgeyici ve stabilizör ajan olarak kullanılmaktadır.

Tablo 1. Biyolojik sentez yönteminin avantaj ve dezavantajları

Avantaj	Dezavantaj
Kolay üretim ve düşük maliyet	Çalışmaların sınırlı olması
Toksik olmayan kimyasalların kullanımı nedeniyle çevre dostu	Üretilen tozlar çok ince boyutlu olduğu için insan vücuduna girer ve solunum hastalıklarına neden olabilir.
Spesifik boyut ve şekilde nanopartikül üretimine imkân vermesi	Diğer yöntemlere oranla yaygın değildir.
Geleneksel yöntemlere kıyasla kontaminasyon azdır	
Atık miktarı düşüktür	
Yüksek sıcaklık ve basınç gerekmez	
Kaza vakaları azdır	
Kolay erişilebilir ve yenilenebilir hammadde kullanımı	
Nanoparçacıklar büyük ölçekte üretilebilir	

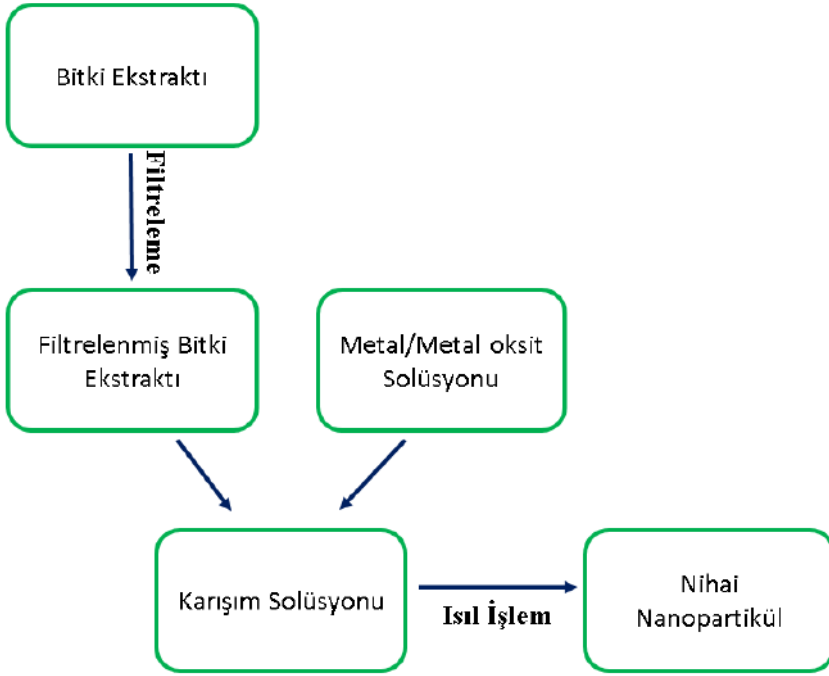
Biyolojik sentez yönteminde bakteriler, algler, mantarlar ve bitki ekstraktları kullanılmaktadır. Ancak bitki ekstraktları dışındaki ajanların kullanımı özel bir hücre testi gerektirdiği için daha az tercih edilmektedirler. Ayrıca kolay geri dönüştürülebilirlik, özel koşullara gerek olmaması, düşük maliyet, atıkların çevre dostu ve biyoyumlu olması nedeniyle daha çok bitki ekstraktları

kullanılmaktadır. Biyolojik yöntemde bitki ekstraktları kullanarak metal oksit tozlarının sentezlenmesi; aktivasyon, büyüme ve sonlandırma olarak 3 aşamadan oluşmaktadır. Nanopartiküllerin bitki ekstraktları kullanarak gerçekleştirilen üretimlerde sıklıkla distile su tercih edilmesine rağmen etanol, metanol ve aseton gibi farklı organik çözücüler de tercih edilebilmektedir. Şekil 2’de biyolojik yöntemde kullanılan stabilizer ve ajanlara ait şematik görsel verilmiştir.



Şekil 2. Biyolojik yöntemde kullanılan doğal hammaddeler

Bitki ekstraktları içerisinde bulunan hidrosil ve fenolik grupları metal oksitler içerisindeki tuzlar ile reaksiyona girerek indirgeyici ya da stabilizer olarak davranmaktadırlar [12]. Prosedür sol-jel yöntemine benzemektedir. İşlem adımları sırayla; a) Başlangıç malzemesi solüsyon içerisinde çözündürülür b) Farklı bir beher içerisinde bitki ekstraktı karıştırılır c) Her iki solüsyon birleştirilir d) Isıl işlem uygulanır. Deneysel prosedüre ait şematik görsel Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Biyolojik sentez yöntemine ait genel işlem adımları

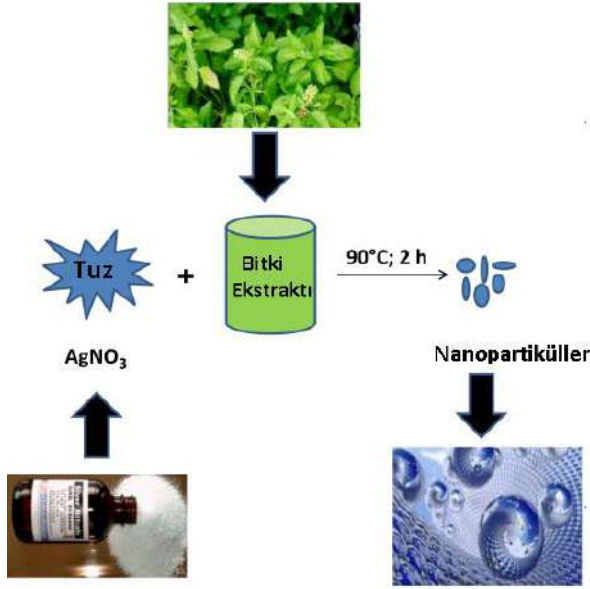
3. BİYOLOJİK SENTEZ YÖNTEMİYLE ÇEŞİTLİ NANOMALZEMELERİN ÜRETİMİ

3.1. Gümüş Nanopartikülleri

Gümüş (Ag) birçok hastalıkta terapötik ajan olarak kullanılmaktadır. Gümüş nanopartikülleri aşağıdan yukarıya, yukarıdan aşağıya yaklaşımlarının ikisiyle de üretilebilmektedir [13]. Gümüş nanopartiküllerinin (Ag NP) üretimi için, gümüş metal iyonu çözeltisi ve indirgeyici ajan gereklidir. Ag NP üretiminde bitki, vitamin, protein, amino asitler kullanılmaktadır. Üretilen tozların şekli, indirgeyici ajan ve solventin içeriğiyle değiştirilebilmektedir. Ortamın pH'ı nanoparçacıkların boyutunu büyük ölçüde değiştirebilmektedir. Ag NP'lerin büyük ölçüde kanser tedavisinde kullanıldığı bilinmektedir. Ag NP'lerin antibakteriyel ve antimikrobiyal aktivitesi, tıbbi alanda etkili kullanımını sağlamaktadır. Ayrıca Ag yüksek katalitik aktivitesi ve antioksidan özelliği sergilemektedir [14].

Ag NP'lerin biyolojik sentez yöntemiyle üretimine dair birkaç çalışma yayınlanmıştır. Ag NP'ler farklı bakteri türleri ile 140 nm'den düşük boyutta üretilmiştir. Farklı bir çalışmada zeytin yaprakları kullanılarak üretilen Ag nanopartiküllerinin antibakteriyel özellik gösterdiği bildirilmiştir. 2022 yılında Hance arkadaşları yaptıkları çalışmada Japon nanesi kullanılarak Ag

nanopartikülleri üretmiş ve kanser tedavisinde kullanımının mümkün olduğu bildirmişlerdir [15]. Iqbal ve arkadaşları “neem” ağacının yapraklarını kullanarak Ag nanopartiküllerini üretmiş ve gram pozitif/negatif bakterilere karşı daha yüksek antidyabetik özellik gösterdiğini raporlamışlardır [16].

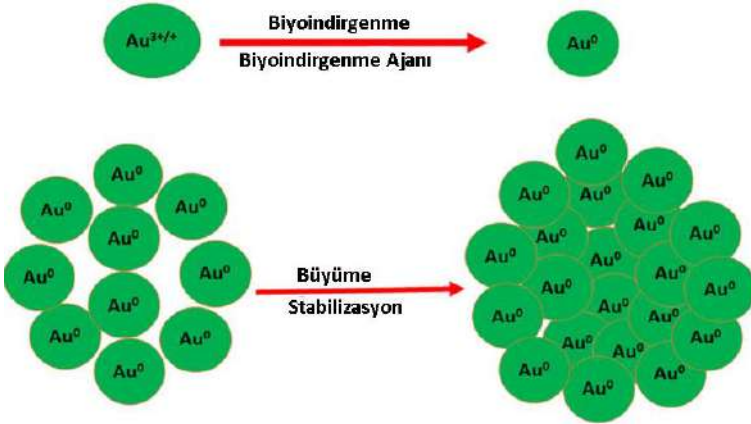


Şekil 4. Biyolojik sentez yöntemiyle Ag NP's tozlarının üretimine ait şematik görsel[17].

2.2. Altın Nanopartikülleri

Altının (Au) ergime noktası 1064°C ve kaynama noktası 2808 °C'dir. Altın sıradışı iletkenlik özelliği sergilemektedir [18]. Altın; uyumluluk, düşük toksisite, güçlü saçılma ve absorpsiyon gibi kabiliyetlere de sahiptir. Altın genellikle tıp alanında kullanılmaktadır. Altın metal iyonlarına indirgeyici eklenerek kararlı Au nanopartikülleri elde edilebilmektedir [19]. Bitki özütleri içerisinde yer alan flavonoidler ve fenoller Au nanopartiküllerinin sentezlenmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca bu sayede Au nanopartikülleri üçgensel, küresel vb. farklı formlarda üretilebilmektedir [20,21].

Altın ve gümüş nanopartikülleri ışık yayan diyot gibi elektronik aygıtlarda kullanılmaktadır. Au nanopartiküllerinin üretiminde sardunya ve aloe vera gibi bitki özütleri kullanılmıştır [22].



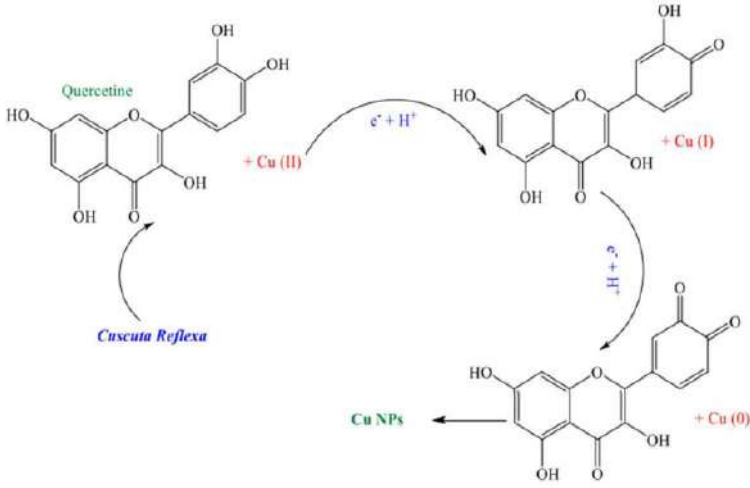
Şekil 5. Au NPs üretimine ait şematik görsel[23]

Bunlara ek olarak, bakteri ve algler de Au nanopartiküllerinin üretiminde kullanılan bir diğer doğal ajanlardır. Ayrıca biyolojik sentez yönteminde Au nanopartikül tozu üretiminde Amla, demirhindi, mantar gibi farklı ajanlar da kullanılmıştır. Bu yöntemle üretilen tozlar antibakteriyel, antioksidan, antikanser özelliği sergilemektedir. Altın nanopartikülleri; ağrı kesici özellik sergilemekte ve protein-protein etkileşiminin belirlenmesinde rol almaktadır. Altın nanopartiküllerinin üretiminde; arabika kahve [24], kraton bitkisi [25], limon [26] gibi farklı ekstraktlar da kullanılan diğer bitki türlerine örnektir.

2.3. Bakır Nanopartikülleri

Bakır (Cu) nanopartikülleri fiziksel ve kimyasal yollarla indirgenirken, organik çözücüler ve toksik indirgeyici ajanlar kullanılmaktadır [27]. Bakır hızlı oksidasyona uğradığı için kararlı nanopartiküllerin üretilmesi oldukça karmaşık bir süreçtir. Cu nanopartikülleri yüksek yüzey alanına sahip olduğu için bakteriler ile temas ettiğinde geniş yüzey alanı nedeniyle yüksek antibakteriyel özellik sergilemektedir. Cu nanopartiküllerinin sentezlenmesinde bitki ekstraktı ve mikroorganizmaların kullanıldığı sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Cu iyi bir iletken olduğundan genellikle elektronik aygıtlarda kullanılmaktadır, ancak hazırlanan Cu nanopartikülleri daha düşük iletkenlik sergilemektedir [28].

Karimi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada aloe vera ekstraktıyla Cu iyonlarını indirgeyerek Cu nanopartikülleri üretmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, UV ölçüm cihazında 578 nm pikte ortalama toz boyutunu 40 nm olarak elde ettiklerini bildirmişlerdir [29]. Cu^{+2} iyonlarından *Cuscuta reflexa* bitkisi kullanılarak Cu nanopartikülleri sentezlenerek Grafen/ MnO_2 yüzeyine immobilize edilmiştir [30]. İndirgenme aşamasına ait görsel Şekil 6'da verilmiştir.

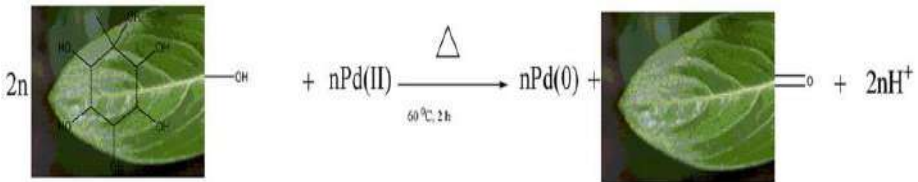


Şekil 6. Cu nanopartiküllerinin sentezine ait görseller [30].

Cheirmadurani ve arkadaşları kına yaprağı ekstraktı kullanarak Cu nanopartiküllerini sentezlemişlerdir. Çalışmalarında kolajen lifleri ve Cu nanopartiküllerini kullanarak nanobiyokompozit biyofilmler üretmişlerdir. Bu filmin sayısız elektronik aygıtlarda kullanımı uygundur [31]. Sastry ve arkadaşları yaptıkları çalışmada limon ve demirhindi kullanarak 20-50 nm boyutunda Cu nanopartikülleri sentezlemişlerdir [32].

2.4. Paladyum nanopartikülleri

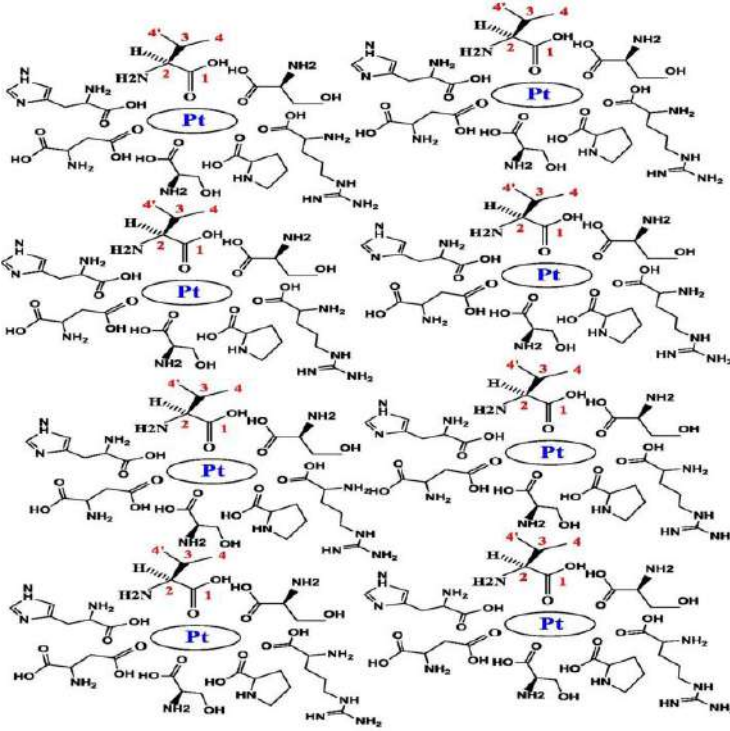
Paladyum (Pd) nanopartikülleri, paladyum iyonlarının indirgeyici ajan ile indirgenmesi esas alınarak iyon değişimi, termal ve kimyasal bozunma gibi farklı yöntemler ile üretilmektedir. Kâfur ağacı, muz kabuğu, çay, soya ağacı yaprağı, klorella gibi farklı ekstraktlar kullanarak Pd nanopartikülleri üretilmiştir [33]. Ayrıca Pd nanopartikülleri, çay ve kahve ile de sentezlenmiştir. Buna ek olarak, pervane çiçeği ekstraktı içerisinde bulunan fenoliklerle de, paladyum sıfır değerlikli Pd'a dönüştürülebilmektedir [33, 34]. Pd nanopartikülleri yüksek katalitik aktivite ve hidrojene karşı yüksek afinite sergilemektedir



Şekil 7. Kalaiselvi ve arkadaşlarının yaptıkları Pd çalışmasına ait görseller [34].

2.5. Platin Nanopartikülleri

Hem paladyum (Pd) hem de platin (Pt) yoğunluğu yüksek ve pahalı metallerdir. Platinyum ilaç üretimi ve dağıtımında önemli rol oynamaktadır. Platin, sisplatin ve karboplatin gibi kemoterapi ilaçlarının geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca antimikrobiyal ajan olarak kullanılmaktadır ve sensör uygulamalarında da tercih edilmektedir [35].

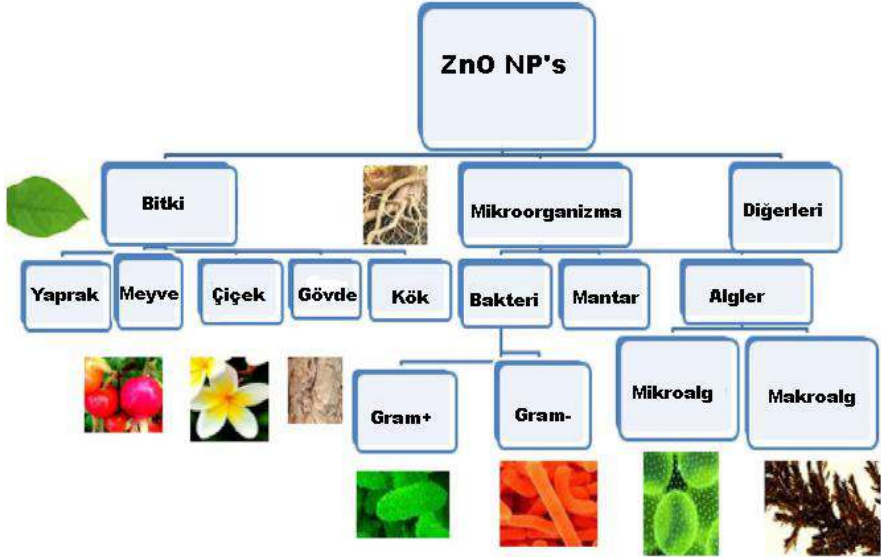


Şekil 8. Radadi ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada Pt üretimine ait görsel[36].

2.6.Çinko Oksit Nanopartikülleri

Çinko oksit (ZnO) optik, elektronik, biyomedikal gibi farklı alanlarda kullanılması nedeniyle son yıllarda araştırmacıların ilgisini çekmiştir. ZnO nanopartiküllerinin sentezlenmesi ucuz, güvenli ve kolaydır. ZnO nanopartikülleri yüksek bağlanma enerjisi, geniş bant aralığı gibi özellikleri nedeniyle yüksek katalitik aktivite, yara iyileşme özelliği, UV özellikler sergilediği için optik ve biyomedikal gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Özellikle biyomedikal alanında antifungal, antibakteriyel ve antidiyabetik olarak kullanımı mevcuttur. Günümüzde bitki, mikroorganizma ve diğerleri kullanılarak ZnO nanopartikül sentezine dair çalışmalar yayınlanmıştır. ZnO sentezi için

çiçek, kök, tohum, yaprak gibi farklı ekstratlar kullanılarak üretime dair şematik görsel Şekil 9’da verilmiştir.



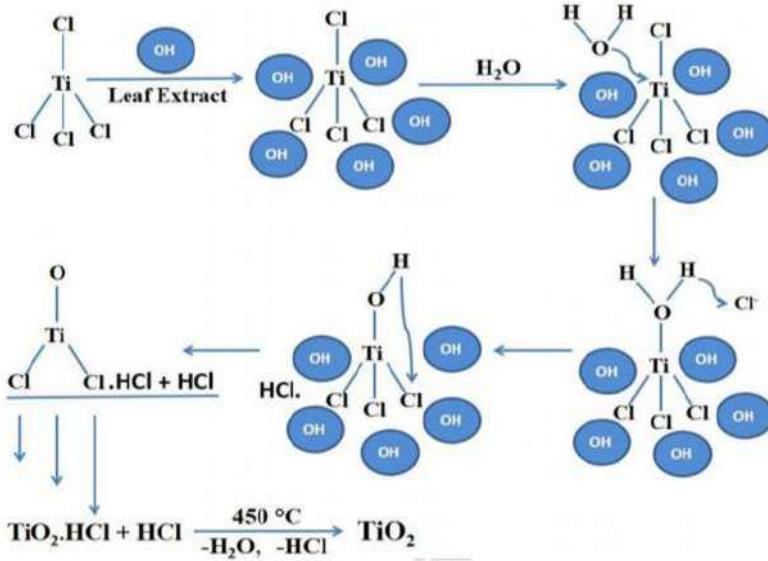
Şekil 9. Biyolojik sentez yöntemiyle ZnO NP's üretimine dair şematik görsel[37].

Genellikle çinko oksit, çinko sülfat, çinko asetat veya çinko nitratin bitki ekstratları ile karıştırılması ile oluşturulmakta ve solüsyonda oluşan renk farklılığı nanopartikül oluşumu göstermektedir. ZnO NP'lerin bakteri kullanılarak sentezi ise zaman almaktadır ve algler ile üretimine dair az sayıda çalışma mevcuttur. Literatürde ZnO nanopartiküllerinin, B. Licheniformis, Lactobacillus plantarum gibi farklı türler ile üretimi de yapılmıştır [36, 37]. Ayrıca ZnO; altın yağmur sinamekisi, tesbih ağacı, papatya, zeytin yaprağı, domates gibi farklı bitki ekstratları ile sentezlenmiştir [38,39].

2.7.Titanyum Dioksit Nanopartikülleri

Titanyum dioksit (TiO₂) nanopartikülleri yüzey kimyası ve morfolojisi nedeniyle ilgi görmektedir ve antimikrobiyal, antibakteriyel, antifungal özellikler sergilemektedir. Ayrıca yüksek fotokatalitik aktivite göstermektedir. TiO₂ nanopartiküllerinin toksik özellik göstermeyen biyolojik yöntemle üretilmesi daha uygundur. Şimdiye kadar sentez için sayısız bitki ekstraktı ve uygulama kullanılmıştır. Örnek olarak, Goutam ve arkadaşları yaptıkları çalışmada kurkas bitki ekstraktı kullanmış ve analizlerini gerçekleştirmişlerdir [40]. Goutam ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmaya ait görsel Şekil 10'da verilmiştir. Başka bir çalışmada ise, pervane çiçeği kullanılmış ve düzensiz morfolojide 25-110 nm

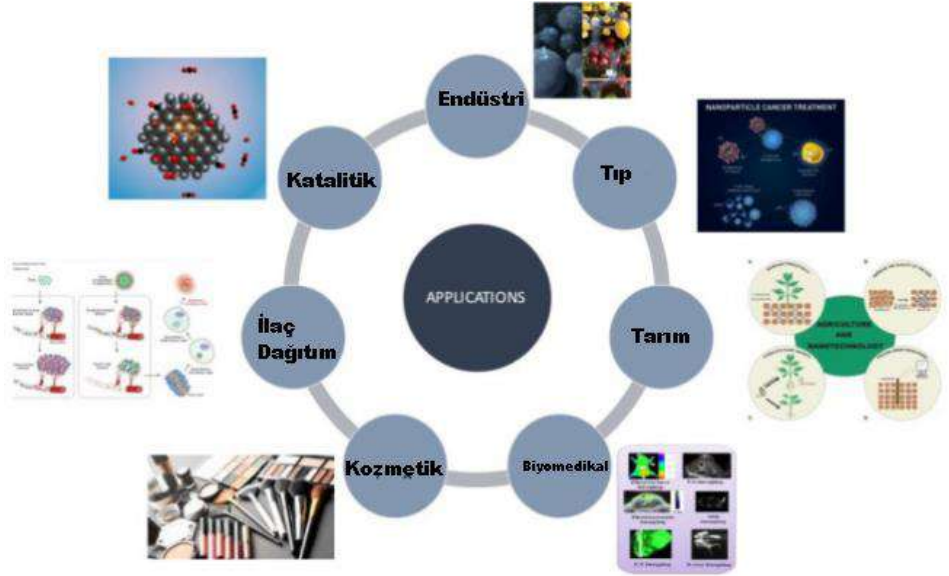
boyutunda toz elde edildiğini raporlamışlardır [40]. Bitki ekstraktlarında bulunan amin ve alkoller nanoparçacık sentezinde görev almaktadırlar. Sivaranjani ve arkadaşları tarafından yara iyileştirme özelliği nedeniyle Moringa oleifera bitkisi kullanılarak TiO_2 nanopartikülleri sentezlenmiş ve iyileştirici özelliğe etkisi gösterilmiştir [41].



Şekil 10. Goutam ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada gerçekleşen kimyasal reaksiyonlara ait görsel [41].

4. UYGULAMA ALANLARI

Metalik veya metalik olmayan nanopartiküller yüksek iletkenlik, katalitik özellik, biyoyumluluk, ve yüzey alanı/hacim oranı gibi özellikleri ile bilinmektedirler. Üretilen nanopartiküller tıp, ilaç dağıtım, sensörler, biyomedikal uygulamalar, ışık yayan aygıtlar, optik, elektronik, gıda gibi birçok farklı ve geniş uygulama alanlarında kullanılmaktadırlar. Nanopartiküllerin kullanım alanlarının daha iyi anlaşılması için bu alanlar Şekil 11’de derlenerek gösterilmiştir.



Şekil 11. Nanopartiküllerin kullanım alanları[42].

5. SONUÇLAR

Nanomalzemeler, bilim ve teknoloji alanında yeni araştırmalar için oldukça önemlidir. Nanomalzemeler; yüksek hacim/yüzey alanı, optik, elektriksel ve manyetik alan sergilemektedirler. Bu eşsiz özellikleri onları birçok uygulama alanı için ilgi odağı yapmıştır. Nanomalzemeler bir dizi kimyasal ve fiziksel yöntemlerle üretildiği gibi son zamanlarda nanomalzemelerin biyolojik sentezi için muazzam bir çaba gösterilmektedir. Biyolojik sentez yaklaşımı, tehlikeli kimyasal kullanımı azaltır ve çevre dostu nanopartiküllerin/biyomoleküllerin sentezlenmesine ve kullanımına imkan sağlamaktadır. Nanopartiküllerin biyolojik üretimi güvenli bir yaklaşımdır. Amino asitler, fitokimyasallar, bakteriler, mantarlar, polifenoller, vitaminler biyolojik sentez yaklaşımının temelini oluşturmaktadır. Bitkilerin kullanılarak üretilen nanopartiküller de yaygın kullanım alanına sahiptir. Günümüzde metal oksitler, antibakteriyel ve antiviral özellikleri nedeniyle sıklıkla tıp alanında tercih edilmektedirler. İlaç endüstrisi, biyoalgılama, diş uygulamaları, biyomedikal ve diğer sektörler, biyolojik sentez yöntemiyle üretilen nanopartikülleri halihazırda bünyelerinde kullanmaktadırlar.

Artan sanayileşme beraberinde hava ve çevre kirliliğini getirmiştir. Sanayilerde kullanılan kimyasalların kullanımının azaltılması çevre ve hava kirliliğinin önüne geçmek açısından biyolojik yöntemlerle yapılan üretim oldukça önemlidir. Bu nedenle biyolojik sentez yöntemi günümüz ve geleceğin üretim teknolojileri arasında görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] N. Tarannum, D. Divya, Y.K. Gautam, “Gautam, Facile green synthesis and applications of silver nanoparticles: A state-of-the-art review”, RSC Adv., 9, 60, 34926-34948, 2019.
- [2] H. Agarwal, S.Venkat Kumar, S. Rajeshkumar, “A review on green synthesis of zinc oxide nanoparticles – An eco-friendly approach”, Resour. Technol., 3, 406-413,2017.
- [3] K. Parveen, V. Banse, L. Ledwani, “Green synthesis of nanoparticles: Their advantages and disadvantages”, AIP Conf. Proc, 1724,1-7, 2016.
- [4] A.V. Rane, K. Kanny, V.K. Abitha, S. Thomas, “Methods for Synthesis of Nanoparticles and Fabrication of Nanocomposites”, Synthesis of Inorganic Nanomaterials, 121-139, 2018,
- [5]A. Gour, N.K. Jain, “Advances in green synthesis of nanoparticles, Artif”, Cells, Nanomedicine Biotechnol, 47, 844-851, 2019.
- [6]S. Jadoun, R. Arif, N.K. Jangid, R.K. Meena, “Green synthesis of nanoparticles using plant extracts: a review”, Environ. Chem. Lett., 19, 355-374, 2021.
- [7]R.S. Varma, “Greener approach to nanomaterials and their sustainable applications”, Curr. Opin. Chem. Eng., 1, 123-128, 2012.
- [8]F.J.O. Charles, P. Poole, “Introduction to Nanotechnology”, Talanta, 28, 487-502, 1981.
- [9]S.L.W.P Raveendranm, Jie Fu, “Completely “Completely “Green” Synthesis and Stabilization of Metal Nanoparticles” J. Am. Chem. Soc., 125, 46, 13940-13941, 2003.
- [10]J.H. Clark, V. Budarin, F.E.I. Deswarte, J.J.E. Hardy, F.M. Kerton, A.J. Hunt, et al., “Green chemistry and the biorefinery: A partnership for a sustainable future”, Green Chem, 8, 853-860, 2006.
- [11]J. Virkutyte, R.S. Varma, “Green synthesis of metal nanoparticles: Biodegradable polymers and enzymes in stabilization and surface functionalization”, Chem. Sci., 2, 837-846, 2011.
- [12]M. Amin, F. Anwar, M. R. S. A. Janjua, M. A. Iqbal, and U. Rashid, “Green synthesis of silver nanoparticles through reduction with Solanum xanthocarpum L. berry extract: Characterization, antimicrobial and urease inhibitory activities against Helicobacter pylori,” *Int. J. Mol. Sci.*, 13, 8, 9923–9941, 2012.
- [13]S. Ahmed, M. Ahmad, B.L. Swami, S. Ikram, “A review on plants extract mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial applications: A green expertise”, J. Adv. Res., 7, 17-28, 2016.

- [14]A. Singh, D. Jain, M.K. Upadhyay, N. Khandelwal, H.N. Verma, “Green synthesis of silver nanoparticles using Argemone Mexicana leaf extract and evaluation of their antimicrobial activities”, *Dig. J. Nanomater. Biostructures*, 5, 483-489, 2010.
- [15]J. Han, F. Yang, M. Wang, M. Wang, N. Xing, “Green synthesis of Ag nanoparticles using Mentha arvensis extract: Preparation, characterization and investigation of its anti-human bladder cancer application”, *Inorganic Chemistry Communications*, 110060, 2022.
- [16]Y. Iqbala, A. R. Malik, T. Iqbal, M. H. Aziza, F.Ahmed, F. A.Abolaband, S.M. Ali, H. Ullah, “Green synthesis of ZnO and Ag-doped ZnO nanoparticles using Azadirachta indica leaves: Characterization and their potential antibacterial, antidiabetic, and wound-healing activities”, *Materials Letters*, 305, 2021.
- [17]G. Pal, P.Rai, A. Pandey, “ Green synthesis of nanoparticles: A greener approach for a cleaner future”, *Micro and nano technologies*, 1–26, 2019.
- [18]U.K. Parida, S. Das, P.K. Jena, N. Rout, B.K. Bindhani, “Plant mediated green synthesis of metallic nanoparticles: Challenges and opportunities”, *Fabrication and Self-Assembly of Nanobiomaterials*, 1, 149-177, 2016.
- [19]N.A. Begum, S. Mondal, S. Basu, R.A. Laskar, D. Mandal, “Biogenic synthesis of Au and Ag nanoparticles using aqueous solutions of Black Tea leaf extracts”, *Colloids Surfaces B Biointerfaces* 71, 113–118, 2009.
- [20]W.J.P. Ralph, A. Sperling, Pilar Rivera Gil, Feng Zhang, Marco Zanella, “Biological applications of gold nanoparticles”, *Chem. Soc. Rev.* 37, 1909–1930, 2008.
- [21]X. Wu, C. Lu, Z. Zhou, G. Yuan, R. Xiong, X. Zhang, “Green synthesis and formation mechanism of cellulose nanocrystal-supported gold nanoparticles with enhanced catalytic performance”, *Environ. Sci. Nano.* 1, 71–7, 2014.
- [22]S. Jadoun, R. Arif, N.K. Jangid, R.K. Meena, “Green synthesis of nanoparticles using plant extracts: a review, *Environ”. Chem. Lett.* 19, 355–374, 2021.
- [23]S. Ahmed, Annu, S. Ikram, S. Yudha “Biosynthesis of gold nanoparticles: a green approach”, *J Photochem Photobiol B Biol*, 161, 141–153, 2016.
- [24]WJ. Keijok, RHA. Pereira, LAC. Alvarez et al, “Controlled biosynthesis of gold nanoparticles with Cofea arabica using factorial design”, *Sci Rep.*, 9, 2019.
- [25]PV. Kumar, SMJ. Kala, KS. Prakash, “Green synthesis of gold nanoparticles using Croton Caudatus Geisel leaf extract and their biological studies”, *Mater Lett* 236, 19–22, 2019.

- [26]DS. Bhagat, WB. Gurnule, SG. Pande, et al, “Biosynthesis of gold nanoparticles for detection of dichlorvos residue from diferent samples”, In: Materials today: proceedings, 29, 3, 2020.
- [27]K. Cheirmadurai, S. Biswas, R. Murali, P. Thanikaivelan,”Green synthesis of copper nanoparticles and conducting nanobiocomposites using plant and animal sources”, RSC Adv, 4, pp. 19507-19511, 10.1039/c4ra01414f, 2014.
- [28]K. Mallikarjuna, G. Narasimha, G.R. Dillip, B. Praveen, B. Shreedhar, C. Sree Lakshmi, B.V.S. Reddy, B. Deva Prasad Raju, “Green synthesis of silver nanoparticles using Ocimum leaf extract and their characterization”, Dig. J. Nanomater, Biostructures. 6, 181–186, 2011.
- [29]Karimi J, Mohsenzadeh S, “Rapid, green, and eco-friendly biosynthesis of copper nanoparticles using fower extract of Aloe vera”, Synth React Inorg Met-Org Nano-Met Chem,895-898, 2015.
- [30]S. Naghdi, M. Sajjadi, M. Nasrollahzadeh et al, “Cuscuta reflexa leaf extract mediated green synthesis of the Cu nanoparticles on graphene oxide/manganese dioxide nanocomposite and its catalytic activity toward reduction of nitroarenes and organic dyes”, J Taiwan Inst Chem Eng 86, 158–173, 2018.
- [31]K. Cheirmadurai, S. Biswas, R. Murali, P. Thanikaivelan, “Green synthesis of copper nanoparticles and conducting nanobiocomposites using plant and animal sources”, RSC Adv., 37, 2014.
- [32]ABS. Sastry, RB Karthik Aamanchi, C. Sree Rama Linga Prasad, BS. Murty, “Large-scale green synthesis of Cu nanoparticles”, Environm Chem Lett., 183-187, 2013.
- [33]I. Hussain, N.B. Singh, A. Singh, H. Singh, S.C. Singh, “Green synthesis of nanoparticles and its potential application”, Biotechnol. Lett. 38, 545–560, 2016.
- [34]A. Kalaiselvi, SM. Roopan, G. Madhumitha et al, “Synthesis and characterization of palladium nanoparticles using Catharanthus roseus leaf extract and its application in the photo-catalytic degradation”, Spectrochim Acta Part A Mol Biomol Spectrosc135, 116-119, <https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.07.010>, 2015.
- [35]N.S. Al-Radadi, “Green synthesis of platinum nanoparticles using Saudi’s Dates extract and their usage on the cancer cell treatment”, Arab. J. Chem. 12, 330–349,, 2019.
- [36]Al-Radadi NS, “Green synthesis of platinum nanoparticles using Saudi’s Dates extract and their usage on the cancer cell treatment”, Arab J Chem 12, 330–349, 2019.

- [37]Agarwal H, Venkat Kumar S, Rajeshkumar S, “A review on green synthesis of zinc oxide nanoparticles—an eco-friendly approach,” *Resource-Efc Technol* 3, 406–413, 2017.
- [38]M. Naseer, U. Aslam, B. Khalid, B. Chen, “Green route to synthesize Zinc Oxide Nanoparticles using leaf extracts of *Cassia fistula* and *Melia azadarach* and their antibacterial potential” *Nature*, 2020.
- [39]S. O.Ogunyemi, Y. Abdallaha, M. Zhanga, H. Fouad, X. Honga, E. Ibrahima, Md. M. I. Masuma, A. Hossaina, J. Moc and B. Lia “Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using different plant extracts and their antibacterial activity against *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryza*”, 341-352, *Cells, Nanomedicine, And Biotechnology*, vol. 47, pp. 341–352, 2019.
- [40]Goutam SP, Saxena G, Singh V et al , “Green synthesis of TiO₂ nanoparticles using leaf extract of *Jatropha curcas* L. for photocatalytic degradation of tannery wastewater”, 336, 386-396, *Chem Eng J*, 2018.
- [41]Sivaranjani V, Philominathan P , “Synthesize of Titanium dioxide nanoparticles using *Moringa oleifera* leaves and evaluation of wound healing activity”, 12, 1-5, *Wound Med.*, 2016.
- [42]G.M. Nair, T. Sajini, B. Mathew, “Advanced green approaches for metal and metal oxide nanoparticles synthesis and their environmental applications”, *Talanta Open*, 5, 100080, 2022.

18. Bölüm

Yüksek Oranda Uçucu Külün Puzolan Olarak Kullanıldığı Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Basınç ve Ultrasonik Geçiş Hızı Özelliklerinin Zamana Bağlı İncelenmesi

Fethi İŞSEVER ¹

Sadık VAROLGÜNEŞ ²

¹ Dr. Öğr. Üye.; Bingöl Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü. fissever@bingol.edu.tr ORCID No: 0000-0002-8394-7026

² Dr. Arş. Gör.; Bingöl Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü. svarolgunes@bingol.edu.tr ORCID No: 0000-0001-9580-9889

ÖZ

1- GİRİŞ

Kendiliğinden yerleşen betonların (KYB) üretilmesi, beton teknolojisinde geleneksel betona kıyasla işlenebilirlik, kıvam, işçilik maliyetinde azalma ve yüksek dayanım gibi önemli faydalar sağlar. KYB'nin süper ve hiper akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları ile fazla miktarda toz malzeme ve/veya viskozite bağlayıcı katkı maddeleri ile kullanılması, kendiliğinden yerleşme yeteneğinin olması, doldurma-boşaltmada ayrışmaya karşı direnç ve geçiş yeteneği olmak üzere 3 parametre ile ilgisi vardır. KYB'de puzolan toz malzemesi olarak genellikle kireçtaşı tozu, uçucu kül (UK), yüksek fırın cürufu ve silis dumanı kullanılmaktadır.

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), yüksek yerleşebilirliğe ve ayrışma direncine sahip yüksek performanslı betondur (YPB). İlk olarak 1986'da Japonya'da geliştirilmiştir (Okamura ve Ouchi, 2003). KYB ayrışma olmadan akan bir betondur ve yoğun donatılı erişilemeyen yerlerdeki boşlukları engel veya tıkanıklık olmadan doldurabilir. KYB'nin bileşimi, ayrışma ve su kusmaya sebep olmayacak şekilde tasarlanmalıdır (KH, Hu ve Monty, 1999). Betonun mukavemet değeri sadece su/çimento oranı tarafından belirlenmez aynı zamanda betonun diğer farklı özelliklerinden de etkilenir (Ouchi, 2000). Hem KYB hem de YPB oldukça karmaşık malzemelerdir (Ghezal ve Khayat, 2002; Yeh, 1998).

Uzun yıllar betonda çimento yerine kısmi olarak uçucu kül kullanımı yaygın bir uygulama olarak uygulanmıştır. Bu süre boyunca çimentonun yerini alacak uçucu kül miktarı toplam çimentolu malzemenin kütlece %15-20'si ile sınırlanmıştır (Bendapudi ve Saha, 2011). Beton üretiminde endüstriyel sürecin bir yan ürünü olarak uçucu külün kullanımı, sürdürülebilir inşaatın zorluklarını ele almada bazı ilerlemeler kaydetmiştir ayrıca uçucu kül, SiO₂ ve Al₂O₃ varlığına atfedilen puzolanik aktiviteye sahiptir. Çimento hidrasyonu sırasında kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek, daha yüksek mukavemet ve daha iyi dayanıklılık sağlayan daha yoğun matris oluşturmada etkili olan ilave Kalsiyum Silikat Hidrat (CSH) ve Kalsiyum Alüminat Hidrat (CAH) oluşturur (Bendapudi ve Saha, 2011; Malvar ve Lenke, 2006; Tahir ve Sabir, 2005).

Büyük miktarlarda çimentonun (ağırlıkça %75'e kadar) hem sınıflandırılmış hem de sınıflandırılmamış uçucu kül ile değiştirilmesinin köpüklü betonun özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmak için (Kearsley ve Booyens, 1998) tarafından çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca (Kearsley ve Wainwright, 2001) tarafından yapılan diğer bir çalışmada sadece sızdırmaz koşullar altında kürlenmiş betonların basınç dayanımına ilişkin sonuçları rapor edilmiş ve çimentonun %67'sine kadarının dayanımda önemli bir azalma olmaksızın değiştirilebileceğini gösterilmiştir. Araştırmada kullanılan öğütülmemiş ve

öğütülmüş uçucu küllerin performansında çok az fark olduğu anlaşılmıştır (Kearsley ve Wainwright, 2001).

Shaikh, Faiz UA vd. tarafından yapılan çalışmada çimento kısmi ikamesi olarak yüksek hacimli F sınıfı uçucu kül içeren betonların basınç dayanımı ve dayanıklılık özellikleri üzerindeki ultra ince uçucu külün (UFFA) etkisini araştırılmıştır (Shaikh ve Supit, 2015). Yüksek hacimli uçucu kül (HVFA), betonların ölçülen tüm dayanıklılık özelliklerini iyileştirilmiş ve çoğu durumda %32 uçucu kül ve %8 UFFA içeren HVFA betonları %100 çimento içeren sıradan betonlardan daha üstün dayanıklılık özellikleri sergilediği görülmüştür. Sonuçlar ayrıca UFFA'nın yüksek paketleme yoğunluğu üretimdeki ve HVFA betonlarında kalsiyum hidroksit $Ca(OH)_2$ tüketerek daha fazla CSH jeli üretmek için puzolanik aktiviteyi hızlandırmadaki etkinliğini göstermiştir. Sonuçlar, ağırlıkça %8 UFFA ilavesinin normal ve HVFA betonların erken yaş ve geç yaş basınç dayanımlarını önemli ölçüde artırdığını ortaya koymuştur (Shaikh ve Supit, 2015).

Dan Ravina, ve P.K. Mehta tarafından yapılan çalışmada uçucu külün sertleşmiş betonun basınç dayanımı gelişimi üzerindeki etkisini değerlendirilmiştir (Ravina ve Mehta, 1988). Test sonuçları, 28 günde gerekli dayanıma (2000 psi; 14 MPa) ulaşan referans karışım ile karşılaştırıldığında, belirtilen uçucu kül ikame seviyelerine sahip betonların, ikame yüzdesine bağlı olarak 35 ila 170 günde dayanıma ulaştığını göstermektedir. Uçucu külün özellikleri beton davranışı açısından mukayese edildiğinde, grobetonda hem çimento hem de kum yerine yüksek miktarda uçucu kül kullanımının oldukça faydalı olduğu sonucuna varılmıştır (Ouchi, 2000).

Chung-Ho Huang vd. yaptıkları çalışmada, çok yüksek hacimlerde F sınıfı uçucu kül içeren betonla ilgili deneysel bir araştırma için çimento yerine %20-%80 uçucu kül ikameli beton üretilmiştir (Huang, Lin, Chang ve Chen, 2013). Betonun taze ve sertleşmiş beton özellikleri için testler yapılmıştır. Test sonuçları, uçucu kül ikame seviyesi arttıkça priz sürelerinin ve uçucu kül betonunun hava içeriğinin arttığını göstermiştir (Huang (Huang ve ark., 2013). HVFA beton karışımlarının basınç ve eğilme dayanımı, 91 ve 365 günlük geç yaşlarda sürekli ve önemli bir gelişme göstermiştir (Huang et al., 2013). Düşük doz uçucu kül içeren beton karışımı, yüksek doz uçucu kül içerenlere karşılık gelen karışımdan daha üstün mekanik özellikler sergilemiştir (Huang ve ark., 2013). Bu sonuçlar, F Sınıfı uçucu külün %80'e kadarının rasyonel karışım oranları kullanılarak betonda çimento ikamesi olarak uygun şekilde kullanılabileceğini doğrulamıştır (Huang ve ark., 2013).

M. N. Haque vd çimentolu malzemenin ağırlığına göre %75'e kadar uçucu kül içeren betonlar ile yaptıkları çalışmada, üretilen betonun kaldırım yapımında bir

alt temel veya temel tabakası bileşeni olarak yeterli düzeyde çekici kılan özelliklere sahip olduğunu ortaya koymuşlardır (Haque, Langan ve Ward, 1984). Çalışmada betonlar basınç, dolaylı çekme ve eğilme dayanımları ölçülmüştür. Çimentolu fraksiyonda %40-%75 uçucu kül içeren kohezyonlu, ayrıışmayan betonların üretilebileceği doğrulanmıştır (Haque ve ark., 1984). Hava katıldığında, bu karışımların en azından daha zengin karışımlarında, yeterli donma-çözülme dayanıklılığına sahip betonlar üretilmesini sağlamıştır (Haque ve ark., 1984).

Termik santrallerde atık bir madde olarak ortaya çıkan uçucu külün bertaraf edilmesi önemli bir çevre sorunudur. Çevresel atık miktarını azaltmak için yapı ve kaldırım betonu karışımlarına büyük miktarlarda uçucu kül katılması önerilmektedir. Bu sebeple yüksek miktarda uçucu kül içeren yapısal ve yüksek dayanımlı betonların geliştirilmesi üzerine çalışmalar mevcuttur. Kullanım oranını artırmak için konu ile ilgili çeşitli beton çalışmaları yapılmıştır (Atiş, 2003; Bilodeau ve Malhotra, 2000; Cabrera ve Atis, 1999; Haque ve ark., 1984; Ravina ve Mehta, 1986; Swamy ve Mahmud, 1986; Yeh, 1998).

Betonun değerlendirilmesinde kullanılan tahribatsız yöntemlerin kapsamlı incelemeleri daha önce pek çok çalışmada sunulmuştur. Ancak çok yüksek oranda uçucu kül içeren betonlarda konu ile ilgili fazla çalışma yoktur. Bu tip betonlarda kaliteyi tahmin etmek, betonun mekanik özelliklerini ölçmek (Aggelis ve Philippidis, 2004; Jacobs ve Owino, 2000; Philippidis ve Aggelis, 2005; Sandor Popovics, Rose ve Popovics, 1990; Yaman, Aktan ve Hearn, 2002) ve iç hasarın ilerlemesini araştırmak için kullanılan tahribatsız testler için çimento esaslı malzemelerde ultrasonik hız ölçme testi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır (Kim, Lee ve Kim, 1991; S Popovics ve Popovics, 1992). Bu yöntemi kullanmayla ilişkili pratik sorunlar/sınırlamalar literatürdeki bazı çalışmalarda ayrıntılı olarak açıklanmıştır (Malhotra ve Carino, 2003).

Bu çalışmada, uçucu külün daha önce yapılmış birçok araştırmada olduğu gibi düşük kullanım oranları ile özellikle yüksek UK oranların da kullanıldığı KYB karışımları hazırlanmış ve numuneler Portland çimentosunun F sınıfı UK'nın farklı ikame içerikleriyle değiştirilmesiyle üretilmiştir. KYB'lerin basınç ve Ultrasonik Geçiş Hızı (UGH) özelliklerini gözlemlemek için 600 kg/m^3 bağlayıcı kullanılmıştır. Kontrol numunesi dahil toplam 7 ayrı karışım hazırlanmıştır. s/b oranı 0.38-0.42 arasında oluşmuştur. Basınç dayanımı için 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı testleri gerçekleştirilmiştir. UGH için 28 günlük numuneler kullanılmıştır. Taze beton kıvam deneyleri için çökme yayılma deney testleri yapılmıştır.

Materyal ve Metot

Bu çalışmanın amacı, mineral katkı olarak özellikle yüksek miktarda olmak üzere farklı oranlarda uçucu külün ve tavsiye edilen oranda süperakışkanlaştırıcının kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonlarda temel mekanik özellikler olan basıncın ve dürabilite özelliklerinden ultrasonik geçirgenlik hızının araştırılması ve bunlar arasındaki ilişkinin incelenmesidir. Betonların kendiliğinden yerleşen beton özelliklerinde olması için öncelikle EFNARC standartlarına uygun yayılma deneyleri yapılmıştır (EFNARC, 2005). Bu standartlar sağlandıktan sonra sertleşmiş beton deneylerini yapmak için bu amaç doğrultusunda 150 mm küp numuneleri kendiliğinden yerleşen beton olarak üretilmiştir. Numuneler kirece doygun su içerisinde 7, 28 ve 90 gün bekletilmişlerdir.

Malzemeler

Kendiliğinden yerleşen harç üretmek için TS-EN-197-1 standartlarına uygun Altınova Çimento Fabrikasında üretilen CEMI 42,5 N tipi çimento kullanılmıştır (TS-EN-197-1, 2012). Uçucu kül olarak Bursa Orhaneli Termik Santrali'nde üretilen TS-EN-450-1 standartlarında F sınıfı uçucu kül kullanılmıştır (TS-EN-450-1, 2013). Su olarak Bingöl Şehir suyu şebekesinden temin edilen TS-EN-1008 standardına uygun musluk suyu kullanılmıştır (TS-EN-1008, 2003). Malzemelere ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1: Çimento ve Uçucu külün fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri

Kimyasal özellikler		
Bileşenler	Bileşen miktarları (%)	
	Çimento	Uçucu kül
Kalsiyum oksit (CaO)	62,81	9,48
Silisyum dioksit (SiO ₂)	20,5	48,53
Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃)	5,60	24,61
Demir oksit (Fe ₂ O ₃)	3,24	7,59
Magnezyum oksit (MgO)	2,53	2,28
Kükürt trioksit (SO ₃)	2,30	2,48
Klorür (Cl)	0,005	0,005
Kızdırma kaybı (K.K.)	1,65	1,69
Tayin edilemeyen (T.E.)	1,69	1,68
Fiziksel özellikler		
Özgül ağırlık, (gr/cm ³)	3,03	2,20
Özgül yüzey, (m ² /kg. Blaine)	347	303
Hacim genleşmesi, (mm)	7	-

Priz başlama süresi, (h/dk.)	03:12	-
Priz sonu, (h/dk.)	04:25	-
Mekanik özellikler		
2. gün mukavemet, (N/mm ²)	25,10	-
7. gün mukavemet, (N/mm ²)	44,54	-
28.gün mukavemet, (N/mm ²)	55,50	-

Tablo 2: Kullanılan suyun özellikleri

Yabancı Madde	Bulunabilecek Maksimum Konsantrasyon
Kil ve Silt gibi katı maddeler (suyun bulanıklığı)	%0.2
Yağ	Çimento Ağırlığının %2'si
Yosunlu Maddeler	%0.04 – 0.1
Şeker	%0.04
Kalsiyum ve Magnezyum karbonatlar	%0.03
Alkali Karbonatlar ve Bikarbonatlar	%0.10
Kalsiyum Klorür	Çimento Ağırlığının %2'si
Sodyum Klorür	%2.00
Magnezyum Klorür	%3.00
Sodyum Sülfat	%1.00
Magnezyum Sülfat	%3.00
Fosfat, Arsenat, Borat	%0.05
Demir Tuzları	%4.00
Hidroklorik ve Sülfirik Asitler	%1.00
Sodyum Hidroksit	Çimento Ağırlığının %0.5'i
Potasyum Hidroksit	Çimento Ağırlığının %1.1'i

Karışımlarda ince agrega olarak Murat Nehrinden alınan doğal dere kumu kullanılmıştır. Ortalama özgül ağırlığı 2.65 g/cm³, incelik modülü 3.27 ve su emme değeri %1,92'dir. Kullanılan agreganın maksimum tane çapı 16 mm'dir (Tablo3). Tüm bunlara ek olarak KYB üretebilmek ve düşük su/bağlayıcı oranında istenen işlenebilirliği sağlayabilmek için TS-EN-934-2+A1 standartlarına uyum modifiye polikarboksilat esaslı polimer yapıları Viscocrete PC24 yüksek performanslı süper akışkanlaştırıcı (SA) kullanılmıştır (TS-EN-934-2+A1, 2013). Viscocrete PC24 Açık kahverengi sıvı formunda olup yoğunluğu 20°C'de 1.06 – 1.10 kg/l'dir. pH Değeri 3–7 arasındadır ve klorür içermez. Tablo 4'te Numuneler adlandırılırken harflerden önceki rakamlar ağırlıkça yüzdeyi temsil eder. Örnek olarak 90C10UK için %90 Çimento, %10 Uçucu kül içeren karışım.

Malzeme Karışım oranları

Kontrol karışımı 600 kg/m³ çimento dozajı temel alınarak dökülmüştür. Kontrol karışımı dahil 7 ayrı karışım dökülmüştür. KYB'nin taze ve priz almış özelliklerini incelemek üzere UK içeren betonlarda yayılma, basınç ve ultrasonik geçiş hızı deneyleri yapılmıştır. Farklı oranlarda UK içeren KYB'lerin karışım oranları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: Malzeme Karışım Oranları

Numune Adı	Çim. Ağırlık kg	UK Ağırlık kg	Su Ağırlık	su/b (%)	Visc Ağırlık kg (%1,5)	Agrega Ağırlık kg			Toplam Ağırlık kg
						0-2 mm	2-4 mm	4-16 mm	
100C	600	0	252	42	9	578	433	433	2306
90C10UK	540	60	252	42	9	575	424	424	2284
80C20UK	480	120	246	41	9	573	422	422	2272
70C30UK	420	180	240	40	9	570	421	421	2260
60C40UK	360	240	228	39	9	572	425	425	2258
50C50UK	300	300	222	38	9	572	422	422	2246
40C60UK	240	360	222	38	9	556	415	415	2216

Yayılma Deneyi

KYB'lerde su oranı dar bir sınırdan değiştirilerek yayılma testi yapılmış ve 550-850 mm çapları arasında kalacak şekilde tasarım yapılmıştır. İstenen yayılma çap değerlerine ulaşmak amacıyla karışımların her biri için ayrı ayrı deneyler yapılmıştır. Karışımlar oluşturulurken EFNARC sınırları arasında kalınması için değiştirilen su oranları %38-%42 arasında olmuştur. Bunun nedeni kontrol numunesi olan %100 çimentolu karışımın Blaine incelik modülünün 347 m²/kg, uçucu külün ise 303 m²/kg olmasıdır. Dolayısı ise uçucu kül miktarı arttıkça ıslanması gereken toplam yüzey alanı azaldığından ihtiyaç duyulan su miktarı da azalmıştır. Böylece Tablo 4'te verilen EFNARC tarafından önerilen değerler aralıklarında kalınmıştır. (EFNARC, 2005).

Tablo 4: Yayılma Deneysel Aralıkları ve T50 süreleri (EFNARC)

Sınıfı	Yayılma Çapı (mm)
Yayılma Çapı Sınıfları	
SF1	550-650
SF2	660-750
SF3	760-850
T50 Sınıfı	
VS1/VF1	≤ 2
VS2/VF2	> 2

Deney Metotları

Beton Numunelerin Dökülmesi ve Saklanması

Bütün deneylerde karışım serileri için beton oluşturulurken ilk olarak malzemeler kuru halde 1 dakika karılımış sonra makinede 2 dakika yavaş karıştırılmıştır. Yalancı priz oluşumunu atlamak için 3 dakika beklenmiştir. En son makine ile 15 saniye karıştırılıp deneyler yapılmıştır. Taze harçların işlenebilirliği, EFNARC standartlarına göre yayılma deneyleri ile elde edilmiştir. Basınç ve eğilme dayanımları 7, 28 ve 90 gün suda kür edilme işleminden sonra 150 mm boyutunda üretilmiş küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. UGH deneyleri 28. ve 90. gün gerçekleştirilmiştir. Buradaki amaç UGH deneyleri yapılarak hasarsız deney yöntemleri ile basınç deney sonuçları arasındaki korelasyonun bulunmasıdır.

Bir adet %100 Portland çimentolu, 6 adet çimento yerine ağırlıkça %10, %20, %30, %40, %50 ve %60 oranlarında UK ikameli karışım olmak üzere toplam 7 adet karışım oranıyla numuneler hazırlanmıştır. Daha sonra bu numuneler 1 gün laboratuvar ortamında kalıpta bekletildikten sonra, şehir şebeke suyu ile doldurulan 20±2 °C sıcaklıktaki kür havuzunda 7, 28 ve 90 gün bekletilmişlerdir.

Taze Beton İşlenebilirlik Deneyleri

Yayılma Deneyi ve T50 Süresi Ölçümü

KYB'lerin işlenebilirliğini ölçmek için deneyler EFNARC 2005'e göre yapılmıştır (EFNARC, 2005). Yayılma deneyinde, kesik koni düz bir plaka üzerinde betonla doldurulmuş ve koni yukarı doğru kaldırılmıştır. Çap, harcın birbirine dik iki boyutuna yayılan harcın ortalaması alınarak belirlenmiştir ve bu değer 550-850 mm arasında kalması sağlanmıştır. KYB'nin 50cm ulaşma süreleri belirlenmiştir. Şekil1, Tablo 4.



Şekil 1: Yayılma Deneyi

Sertleşmiş Beton Deneyleri

Taze betonda yayılma deneyleri ile işlenebilirlik kıvam deneylerini müteakip basınç ve UGH deneyleri için 150 mm kompozit kalıplara beton dökümü yapılmıştır. Numuneler dökümden 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak kirece doymun şehir suyu ile doldurulmuş (20 ± 2 °C)'deki kür havuzuna yerleştirilmiştir. Numuneler kür havuzunda 7, 28 ve 90. gün ölçümler yapılmak için üçer adet olmak üzere her karışımdan 9 adet saklanmıştır. Numuneler deney günü geldiğinde kür havuzundan çıkarılmış ve TS-EN-12390-3 standartlarına göre 150 mm küp numuneler kırılarak basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir (TS-EN-12390-6, 2010). 28. ve 90. Gün için ayrılan numunelerde önce UGH deneyleri daha sonra basınç deneyleri yapılmıştır (TS-EN-14579, 2006). Şekil 2, Şekil3.



Şekil 2: Ultrasonik Geçiş Hızı (UGH) Ölçümü



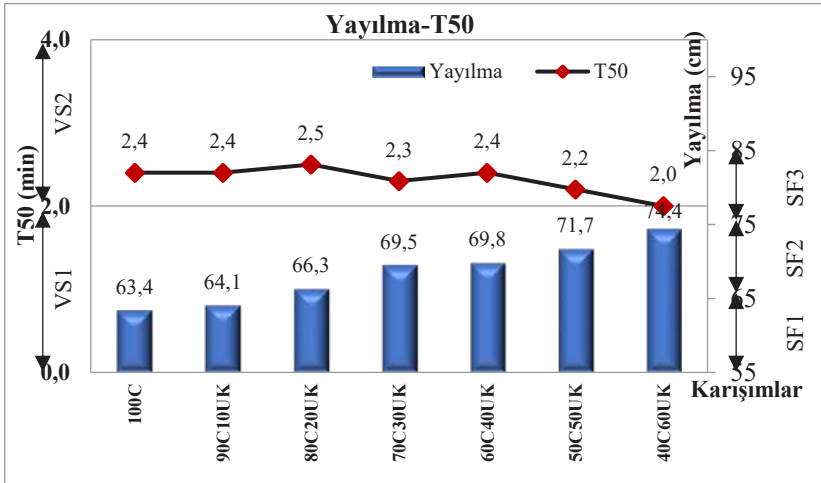
Şekil 3: Basınç Dayanımı Deneyi

BULGULAR ve TARTIŞMA

Taze Betonun Özellikleri

Yayılmaya deneyleri ve T50 ölçüm sonuçları Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi elde edilen tüm veriler EFNARC tarafından önerilen sınırlar arasındadır (EFNARC, 2005). Elde edilen sonuçlara göre en yüksek yayılma değeri 74,4 cm ile 40C60UK karışımında ortaya çıkmıştır. En az yayılma 63,4 cm ortalama çap ile %100 C içeren kontrol numunesinde görülmüştür. %20 UK'e kadar yayılma çapındaki artış %4,5 olmuş fakat 70C30UK karışımındaki artış oranı %9,6'a hızlıca yükselmiştir. 40C60UK karışımında ise bu artış %17 olarak ortaya çıkmıştır. 50 cm yayılma süresine ulaşma sürelerinde ise bariz bir fark

olmamış fakat 60C40UK karışımından itibaren süre hızla 2,4 saniyeden 2,0 saniyeye inmiştir.



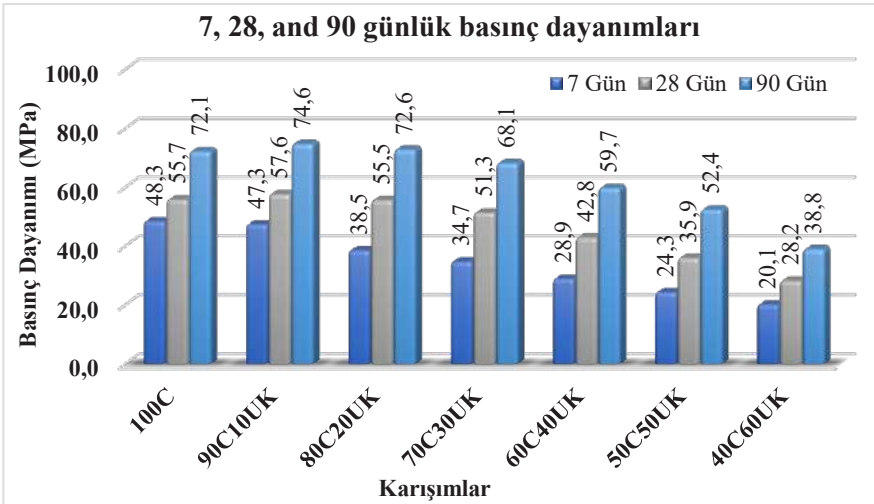
Şekil 4:Yayılma ve T50 deneyi

Çalışmada Şekil 5'te gösterilen basınç dayanım değerleri incelendiğinde 7 günlük ölçümlerde en büyük değere 48,3 MPa ile kontrol numunesinde ulaşılmıştır. UK oranı arttıkça basınç değerlerinin düştüğü ortaya çıkmıştır. Bu çimentonun bağlayıcılığının erken yaş dayanımının hızlı kazanılmasından kaynaklanmaktadır. (Kurbetci, 2022). %100 çimento katkılı kontrol numunesinde Kalsiyum-silikat-hidrat (C-S-H) bağları kimyasal tabirle Van der Waals kovalent bağları daha hızlı oluşur. Uçucu kül oranı arttıkça bu bağların sayısı azalır (Nguyen, Tsuchiya, Atarashi ve Yokota, 2020).

7 günlük karışımlarda en düşük dayanım 20,1 MPa ile %60 UK katkılı karışımda görülmüştür. 28 günlük numuneler incelendiğinde 90C10UK değerinin 57,6 MPa ile 55,7 MPa değerine ulaşan kontrol numunesini geçtiği görülmüştür. 28 gün içinde kontrol numunesinde %15 basınç değeri artarken 90C10UK içeren karışımda %22 basınç artışı olmuştur. 55,5MPa ile 80C20UK karışımı da kontrol numunesine yakın bir değer almıştır. 60C40UK karışım değeri çimento standardı olan 42,5 MPa değerini sağlayabilmektedir. 50C50UK numunesinden elde edilen 35,9 MPa değeri 2018 deprem yönetmeliğine göre yapı projelerinde istenen C30/37 değerini sağlamaktadır. 50C50UK karışımı ile hazırlanmış betonlarda yeterli kür şartları sağlandığında 28 günlük basınç dayanımı istenen projelerde kullanılabilceği görülmektedir. 90 günlük değerlerde ise 28 günden sonra oldukça iyi artışlar görülmüştür. 70C30UK karışımı dahil yüksek mukavemetli beton sınırı olan 40 MPa'dan yüksek dayanım

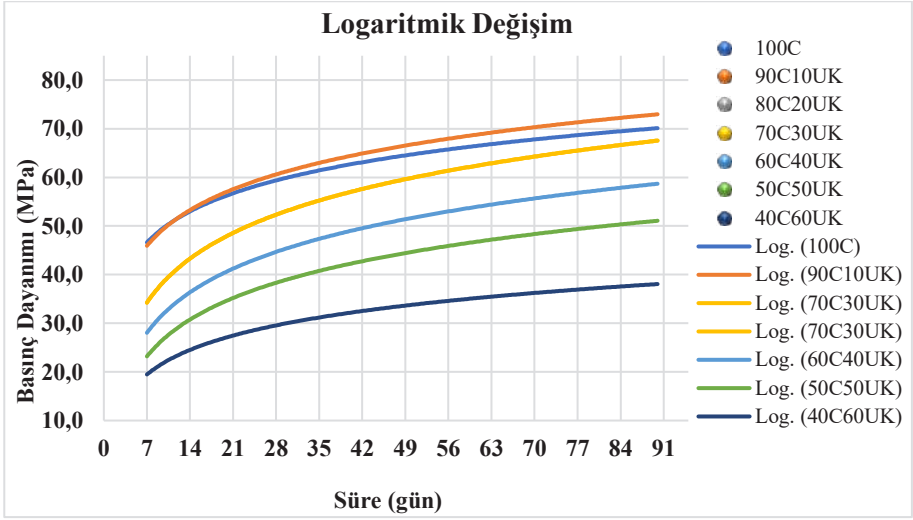
sonuçları elde edilmiştir. En yüksek dayanım 28 günlük ölçümlerde olduğu gibi 74,6 MPa ile 90C10UK karışımında ölçülmüştür. 80C20UK karışımının değeri de 72,6 MPa ile bu değere oldukça yakın çıkmıştır. 60C40UK karışımından itibaren elde edilen değerdeki azalma hızı ise daha fazla olmuştur. Bunun sebebi de Puzolan miktarının betonda hidrasyondan sonra CSH jellerinden başka açığa çıkan kalsiyum hidroksit $Ca(OH)_2$ miktarından fazla olması neticesinde mukavemeti daha da artıracak CSH jellerinin dolayısıyla basınç dayanımını artıracak kimyasal bağlar olan kovalent bağların yeterince oluşmamasıdır. İkincil hidrasyonun oluşması buna nenden olmaktadır.

Çalışmada optimum UK oranının %10-%20 arasında olduğu ortaya çıkmıştır. Fakat kür süresinin yeterli olması halinde hidrasyon devam edeceğinden çimento yerine %50UK ikamesi ile üretilen betonlarda 50 MPa'nın üzerinde dayanıma ulaşılmıştır. Kendiliğinden kürlen beton numunelerde uçucu kül ilavesinin dayanım ve durabilite açısından %40'a kadar faydalı olduğu görülmüştür (Rajesh ve Narendra Kumar, 2022). %60 UK kullanımı pek çok yapı projesi için 38.8 MPa değeri ile yeterli dayanım vermektedir.



Şekil 5: 7,28 ve 90 günlük Basınç Dayanımları

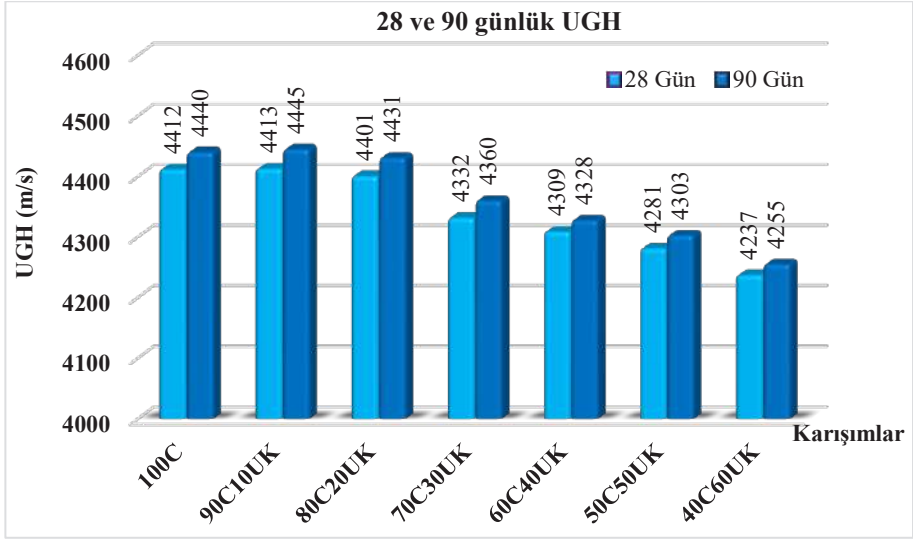
Basınç dayanımının Şekil 6'daki logaritmik artışı incelendiğinde 28 gün ile 90 günlük dayanım artışının kontrol numunesinden 50C50UK değerine kadar oldukça iyi bir artış gösterdiği belirlenmiştir. Bu grafikte sadece 40C60UK karışımında diğerlerine göre bir miktar daha az değer artışı görülmüştür. Bu dozajdan daha fazla UK kullanımının betonarme yapılarda erken yaş dayanımı için tatmin edici sonuçlar veremeyeceği öngörülmektedir.



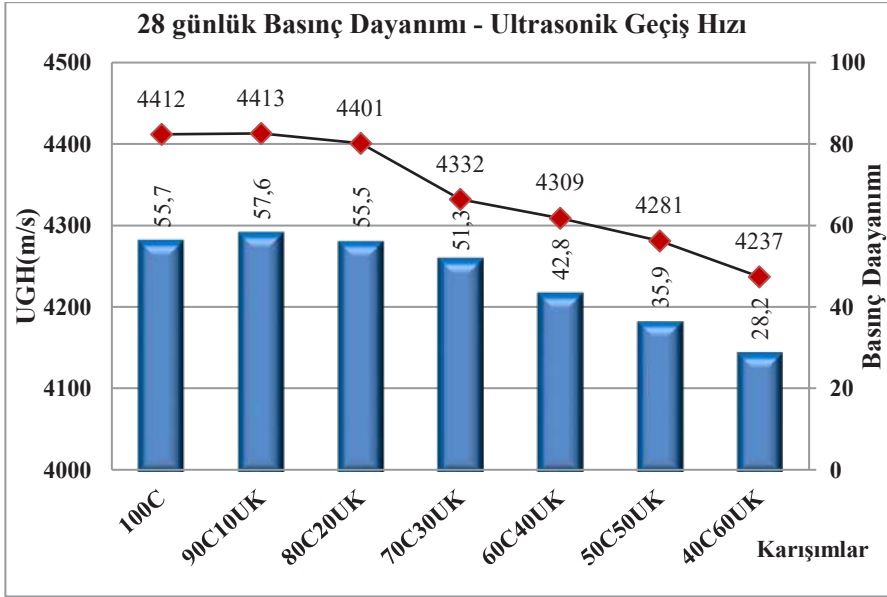
Şekil 6: 7, 28 ve 90 günlük Basınç Dayanımının Logaritmik Değişimi

Ultrasonik Geçiş Hızı (UGH) deney sonuçları Şekil 7’de incelendiğinde en yüksek değerler 28 ve 90 günlük karışımlar için 90C10UK karışımlarında elde edilmiştir. 28 günlük numunelerde 4413 m/s, 90 günlük numunelerde ise 4445 m/s değerlerine ulaşılmıştır. %20’den fazla UK kullanımında hem 28 hem de 90 günlük değerlerde hızlı bir azalmaya neden olmuştur. Kontrol numunesi referans alındığında 28 günlük değerler için UGH’deki azalış %18 olmuştur. 90 günlük değerlerde de bu oran %18 olmuştur. En düşük hız 40C60UK karışımında 28 gün için 4237m/s, 90 gün için 4255 m/s olarak ortaya çıkmıştır.

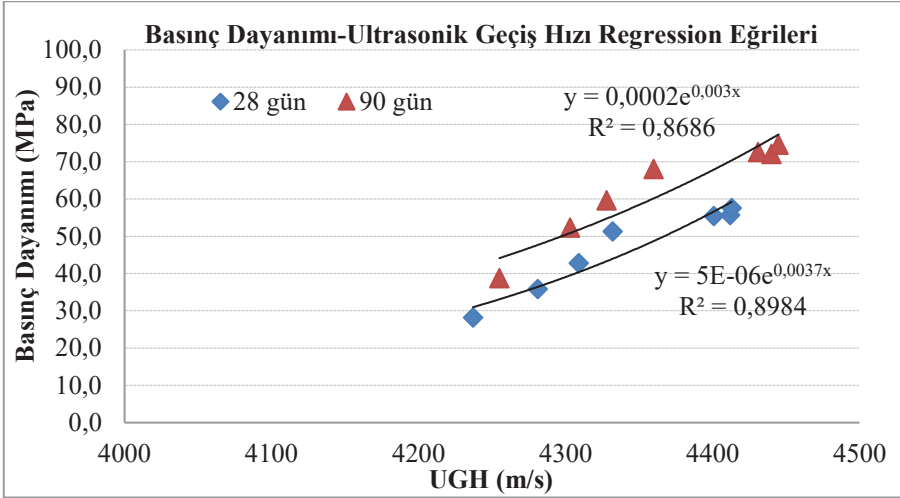
Şekil 8 ve 9’da basınç dayanımı ve UGH değerleri kıyaslandığında gerek 28 günlük gerekse 90 günlük numunelerde çok açık bir paralellik belirlenmiştir. Her iki ölçüm süresinde de basınçlar 70C30UK ve 60C40UK karışımları arasında diğer karışımlara göre biraz daha hızlı düşmüş iken UGH değerleri 80C20UK ve 70C30UK arasında bir miktar hızlı azalmıştır. Bundan sonraki azalma ise gerek basınç gerekse UGH için lineere yakın bir davranış göstermiş ve en düşük değerler 40C60UK karışımlarında görülmüştür. Şekil 10’da Basınç ve UGH değerleri arasındaki regresyon analizleri incelendiğinde %90’a yakın bir ilişki tespit edilmiştir. 28 günlük numunelerde bu oran bir miktar daha büyük çıkmıştır. Bunun nedeni de betondaki CaOH miktarlarının UK ile farklı oranda kimyasal tepkimeye girerek daha az veya çok CSH bağları oluşturmalarıdır. UGH testi sonuçları, betonun basınç dayanımlarını tahmin etme konusunda mükemmel bir eğilime sahiptir (Widodo, Alfrahma, Prawiranegara, Amir ve Dewi, 2023).



Şekil 7: 28ve 90 günlük Ultrasonik Geçiş Hızları



Şekil 8: 28 günlük numunelerde basınç UGH Karşılaştırması



Şekil 9: Basınç dayanımı ile UGH arasındaki regresyon analizi

SONUÇ

Yapılan çalışmanın sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

İnce taneli malzeme olarak uçucu kül kullanımı sonucunda yayılma deney sonuçlarına göre betonun işlenebilirliğinde iyileşme görülmüştür.

Gerek akışkanlaştırıcı kullanımı gerekse puzolan olarak UK kullanımı pürüzsüz bir beton yüzeyi oluşmasına sebep olmuştur.

%10-%20 arası UK kullanımı betonda işlenebilirlik, basınç ve UGH değerlerini %100 PC içeren karışımdan daha yüksek miktarlara çıkarmıştır. Uçucu kül kullanımı %40 oranından fazla olunca değerlerdeki düşüş oranı hızlanmıştır. Gerek basınç gerekse UGH deneylerinde %10 UK kullanımı ulaşılan değerleri 28 ve 90 günlük numunelerde kontrol numunesinden fazla, %20 UK kullanımında ise kontrol numunesine çok yakın değerler elde edilmiştir.

Tüm değerler dikkate alındığında, 28 günlük dayanım değerlerinin 28,2-57,6 MPa arasında 90 günlük dayanım değerleri ise 38,8 ile 74,6 MPa arasında değişmiştir. Bu değerlerin, uygulamada kullanılan beton sınıfları dikkate alındığında, oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Tahratsız ölçüm metodlarından olan UGH değerleri ile basınç dayanımı değerleri arasında yüksek düzeyde güvenilir korelasyon bulunduğu anlaşılmıştır.

Uçucu kül ve akışkanlaştırıcı kullanımı ile kendiliğinden yerleşen betonda yerleştirme sorununu ortadan kalkmış, işlenebilirlik artmış, oldukça düzgün yüzeyler ve yüksek dayanım elde edilmiştir. Çimento yerine %60 oranında çok yüksek oranda UK kullanımında dahi 90 günlük kür sağlanması durumunda pek çok alanda kullanılacak basınç dayanımına sahip betonlar üretilmiştir. Özellikle temel altı beton, trapez sulama kanalları betonları, beton boru imalatı

vb. yerlerde %50-60 oranında UK içeren karışımların rahatlıkla kullanılabilceği anlaşılmıştır. %50 UK içeren betonların 28 günlük dayanım değerleri dikkate alındığında betonarme betonu üretiminde de rahatlıkla kullanılabilceği görülmüştür.

REFERANSLAR

- Aggelis, D., ve Philippidis, T. (2004). Ultrasonic wave dispersion and attenuation in fresh mortar. *NDT & E International*, 37(8), 617-631.
- Atiş, C. D. (2003). High-volume fly ash concrete with high strength and low drying shrinkage. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 15(2), 153-156.
- Bendapudi, S. C. K., ve Saha, P. (2011). Contribution of fly ash to the properties of mortar and concrete. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 4(6), 1017-1023.
- Bilodeau, A., ve Malhotra, M. (2000). High-volume fly ash system: Concrete solution for sustainable development. *Aci Materials Journal*, 97(1), 41-48. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000085561900006
- Cabrera, J., ve Atis, C. (1999). Design and properties of high-volume fly ash high-performance concrete. *Special Publication*, 186, 21-38.
- EFNARC, M. (2005). The European Federation of Specialist Construction and Concrete System" The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. *Specification, Production and Use*.
- Ghezal, A., ve Khayat, K. H. (2002). Optimizing self-consolidating concrete with limestone filler by using statistical factorial design methods. *Materials Journal*, 99(3), 264-272.
- Haque, M., Langan, B., ve Ward, M. (1984). *High fly ash concretes*. Paper presented at the Journal Proceedings.
- Huang, C.-H., Lin, S.-K., Chang, C.-S., ve Chen, H.-J. (2013). Mix proportions and mechanical properties of concrete containing very high-volume of Class F fly ash. *Construction and Building Materials*, 46, 71-78.
- Jacobs, L. J., ve Owino, J. O. (2000). Effect of aggregate size on attenuation of Rayleigh surface waves in cement-based materials. *Journal of Engineering Mechanics*, 126(11), 1124-1130.
- Kearsley, E., ve Booyens, P. (1998). Reinforced foamed concrete-can it be durable? *Concrete Beton*(91).
- Kearsley, E., ve Wainwright, P. (2001). The effect of high fly ash content on the compressive strength of foamed concrete. *Cement and Concrete Research*, 31(1), 105-112.
- KH, K., Hu, C., ve Monty, H. (1999). *Stability of self-consolidating concrete, advantages, and potential applications*. Paper presented at the PRO 7: 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete.
- Kim, Y. H., Lee, S., ve Kim, H. C. (1991). Attenuation and dispersion of elastic waves in multi-phase materials. *Journal of physics D: applied physics*, 24(10), 1722.

- Kurbetci, Ş. (2022). Buhar Kürünün Uçucu Küllü Kendiliğinden Yerleşen Betonların Kısa Ve Uzun Süreli Basınç Dayanımına Etkisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(1), 28-37.
- Malhotra, V. M., ve Carino, N. J. (2003). *Handbook on nondestructive testing of concrete*: CRC press.
- Malvar, L. J., ve Lenke, L. R. (2006). Efficiency of fly ash in mitigating alkali-silica reaction based on chemical composition. *Aci Materials Journal*, 103(5), 319.
- Nguyen, T. H. Y., Tsuchiya, K., Atarashi, D., ve Yokota, H. (2020). Electrokinetic properties and mechanism of chloride binding in 42-month cured cement pastes with fly ash and ground granulated blast furnace slag exposed to seawater. *Construction and Building Materials*, 240, 117944. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117944>
- Okamura, H., ve Ouchi, M. (2003). Self-compacting concrete. *Journal of advanced concrete technology*, 1(1), 5-15.
- Ouchi, M. (2000). Self-compacting concrete-development, applications and investigations. *NORDIC CONCRETE RESEARCH-PUBLICATIONS-*, 23, 29-34.
- Philippidis, T., ve Aggelis, D. (2005). Experimental study of wave dispersion and attenuation in concrete. *Ultrasonics*, 43(7), 584-595.
- Popovics, S., ve Popovics, J. (1992). *Critique of the ultrasonic pulse velocity method for testing concrete*. Paper presented at the Proceedings of Nondestructive Testing of Concrete Elements and Structures.
- Popovics, S., Rose, J. L., ve Popovics, J. S. (1990). The behaviour of ultrasonic pulses in concrete. *Cement and Concrete Research*, 20(2), 259-270.
- Rajesh, V., ve Narendra Kumar, B. (2022). Influence of nano-structured graphene oxide on strength and performance characteristics of high strength fiber reinforced self compacting concrete. *Materials Today: Proceedings*, 60, 694-702. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.320>
- Ravina, D., ve Mehta, P. (1988). Compressive strength of low cement/high fly ash concrete. *Cement and Concrete Research*, 18(4), 571-583.
- Ravina, D., ve Mehta, P. K. (1986). Properties of fresh concrete containing large amounts of fly ash. *Cement and Concrete Research*, 16(2), 227-238.
- Shaikh, F. U., ve Supit, S. W. (2015). Compressive strength and durability properties of high volume fly ash (HVFA) concretes containing ultrafine fly ash (UFFA). *Construction and Building Materials*, 82, 192-205.
- Swamy, R., ve Mahmud, H. (1986). Mix proportions and strength characteristics of concrete containing 50 percent low-calcium fly ash. *Special Publication*, 91, 413-432.

- Tahir, M. A., ve Sabir, M. (2005). *A study on durability of fly ash-cement mortars*. Paper presented at the 30th Conference of Our World in Concrete and Structures.
- TS-EN-197-1. (2012). Cement – Part 1: Composition, specification and conformity criteria for common cements. In *Cement – Part 1: Composition, specification and conformity criteria for common cements* (Vol. TS EN 197-1). Ankara: Turkish Standards Institute.
- TS-EN-450-1. (2013). Fly ash for concrete–Part 1: Definition, specifications and conformity criteria. In Ankara: Turkish Standard Institute.
- TS-EN-934-2+A1. (2013). Admixtures for concrete, mortar and grout - Part 2: Concrete admixtures - Definitions, requirements, conformity, marking and labelling. In *TS EN 934-2+A1*. Ankara: Turkish Standards Institute.
- TS-EN-1008. (2003). TS EN 1008 : Mixing water for concrete - Specifications for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete. In: Turkish Standards Institute.
- TS-EN-12390-6. (2010). Testing hardened concrete - Part 6: Tensile splitting strength of test specimens". In *TS EN 12390-6* (pp. 12390-12396). Ankara: Turkish Standards Institute.
- TS-EN-14579. (2006). Natural stone test methods - Determination of sound speed propagation. In *TS EN 14579* Ankara: Turkish Standards Institute.
- Widodo, S., Alfragma, R., Prawiranegara, A., Amir, M. F., ve Dewi, A. (2023). Development of Eco-friendly Self-compacting Concrete Using Fly Ash and Waste Polyethylene Terephthalate Bottle Fiber. *Civil Engineering Journal*, 9(2), 437-452.
- Yaman, I., Aktan, H., ve Hearn, N. (2002). Active and non-active porosity in concrete part II: evaluation of existing models. *Materials and Structures*, 35, 110-116.
- Yeh, I.-C. (1998). Modeling of strength of high-performance concrete using artificial neural networks. *Cement and Concrete Research*, 28(12), 1797-1808.

19. Bölüm

Dijital İkiz Olgunluk Modelleri

Gozde Basak OZTURK ¹

Ozlem CELENK ²

¹ Doç.Dr. Gözde Başak Öztürk; Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü. gbozturk@adu.edu.tr ORCID No: 0000-0003-4617-6936.

² Özlem Çelenk.; Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü. ozlemcelenk.7@gmail.com ORCID No: 0009-0005-2529-5743

ÖZ

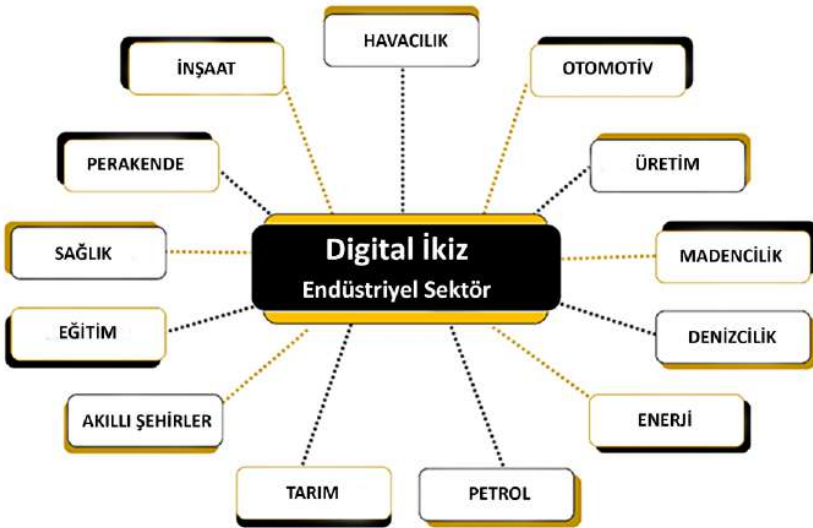
Dijital ikiz teknolojisi, çeşitli endüstrileri dönüştürme potansiyeli nedeniyle büyük ilgi görmüştür ve fiziksel varlıkların ve sistemlerin sanal temsillerini mümkün kılmaktadır. Dijital ikiz teknolojisinin faydalarını etkili bir şekilde uygulamak ve maksimize etmek için organizasyonlar bu alanın olgunluk seviyelerini değerlendirmelidir. Araştırmacılar ve endüstri uzmanları tarafından birkaç dijital ikiz olgunluk modeli önerilmiştir. Bu modeller, organizasyonların dijital ikiz teknolojisini benimsemelerini ve kullanmalarını değerlendirmek için çerçeveler sağlamaktadır. Bu bölüm, mevcut dijital ikiz olgunluk modellerini incelemekte ve analiz etmekte olup, temel özelliklerini, bileşenlerini ve değerlendirme kriterlerini odaklanmaktadır. İnceleme, teknolojik altyapı, veri entegrasyonu, analitik yetenekler ve organizasyonel uyum gibi ortak unsurları dijital ikiz olgunluğunu ölçmede temel boyutlar olarak ortaya koymaktadır. Bu incelemenin bulguları, dijital ikiz olgunluk değerlendirmesinin anlaşılmasına katkıda bulunmakta ve dijital ikiz hazırlığını değerlendirmek isteyen organizasyonlara içgörüler sunmaktadır. Uygun bir olgunluk modeli seçerek, organizasyonlar güçlü yönlerini, zayıflıklarını ve iyileştirme alanlarını belirleyebilir, etkili dijital ikiz uygulama stratejileri ve kendi endüstrilerinde artırılmış operasyonel verimlilik, karar verme ve inovasyonun gerçekleşmesine yol açabilir.

Keywords: Dijital İkiz, Olgunluk Modeli, BIM, Dijital Dönüşüm

GİRİŞ

Dünya giderek daha fazla dijitalleşmeye doğru evrildiğinden, tüm endüstrilerin temel amacı, ürün yaşam döngüsü boyunca ve hatta daha sonrasında da tam bir görüntü sağlayabilen bir sisteme sahip olmak olmuştur. Bu amaç doğrultusunda hem mühendislik hem de bilim, fiziksel sistemlerin davranışını taklit etmeye çalışmaktadır. 2002 yılında M. Grieves tarafından kamuoyuna tanıtılan 'Dijital İkiz', bu yolda kilit bir teknoloji olarak sayılabilir. Dijital ikiz, sıradan bir modelden farklı olarak kullanıcılara daha uygun tasarımlara sahip olma, oluşan/olabilecek problemlerin hızlı tespiti ve verimli operasyonlar yapma imkânı sunmaktadır. 2018'de Gartner, Digital İkiz teknolojisini "En İyi 10 Stratejik Teknoloji Trendi" listesine (Panetta, 2017) yerleştirdi. Daha sonra 2019'da IoT uygulayan kuruluşların %75'inin zaten Dijital İkiz kullandığını veya bir yıl içinde kullanmayı planladığını ortaya çıkardılar (Shao and Helu, 2020). 2023 yılına kadar, dünya çapındaki büyük şirketlerin %40'ının gelirlerini artırmak için Dijital İkizi kullanmaya başlamasını bekliyorlar (Gartner, 2022). Küresel teknoloji araştırmasının yakın tarihli bir başka raporuna göre, Dijital İkiz pazarının 2021'den 2026'ya kadar yaklaşık 32 milyar dolar büyümesi bekleniyor (Technavio, 2022, Glaessgen and Stargel, 2012).

Dijital İkiz teknolojisi, uygulama alanı olarak dijital dönüşümden geçen farklı endüstrilerde yer buldu ve yoğun rağbet görmeye devam ediyor. Martin ve Nadja (Enders, 2019), Dijital İkiz uygulamaları üzerine yaptıkları çalışmada, Dijital İkizin uygulandığı on büyük endüstriyel sektör belirlediler. Şekil 1'de bu endüstriler gösterilmektedir.

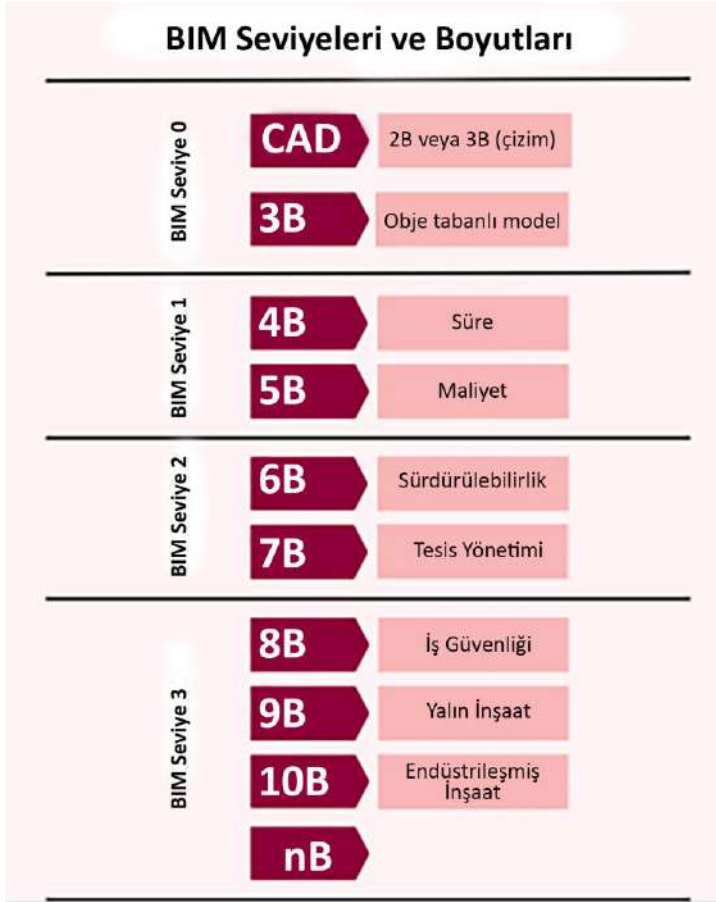


Şekil 1. Dijital İkiz uygulanan farklı sektörler (Singh et al., 2022).

BIM

Yapı Bilgi Modellemesi (BIM)

BIM, bir tesisin fiziksel ve işlevsel özelliklerinin dijital bir temsiline sanal olarak oluşturulduğu, analiz edildiği, belgelendiği ve değerlendirildiği, ardından en uygun model belgelene kadar yinelenmeli olarak revize edildiği bir süreçtir (Motawa and Almarshad, 2013; CRC Construction Innovation, 2007; Enders and Hoßbach, 2019; Yalcinknaya and Arditi, 2013). Şekil 2'de görüldüğü gibi Succar (2010) tarafından tanımlanan bazı BIM seviyeleri vardır.



Şekil 2. BIM seviyeleri ve boyutları.

BIM Seviyeleri ve Boyutları

BIM Düzey 0

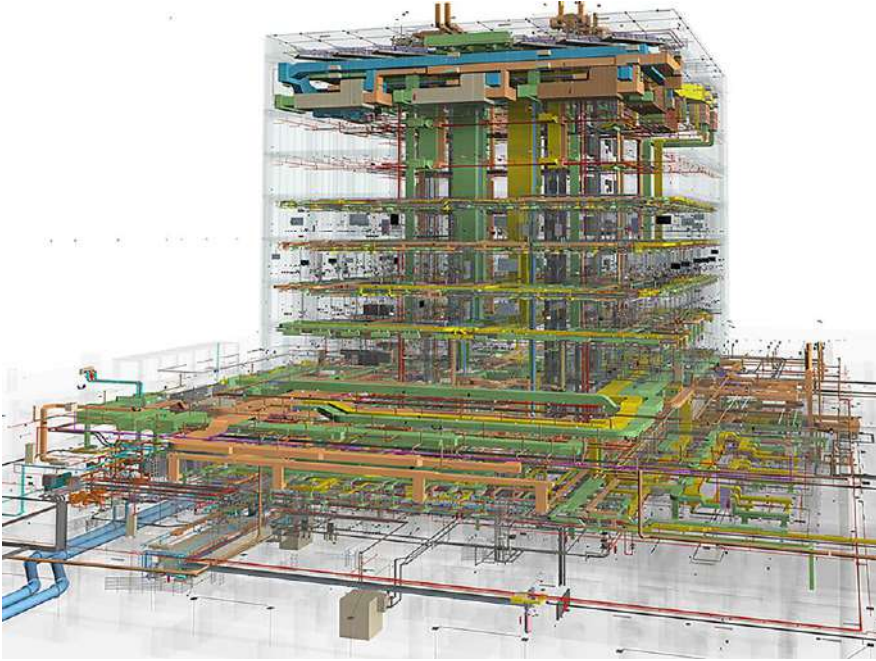
2B Çizim: Binaların veya altyapı projelerinin dijital temsillerini öncelikle iki boyutlu formatta oluşturmak ve yönetmek için Bilgisayar Destekli Tasarım

(CAD) tekniklerinin ve teknolojilerinin kullanılmasını ifade eder. Kapsamlı bir 3B modelin oluşturulmasını içeren 3B Çizimden farklı olarak 2B Çizim, iki boyutlu bir ortamda bilgi yakalamaya ve yönetmeye odaklanır.



Şekil 3. 2B Çizim.

3B BIM: 3B BIM'de model, mekânsal geometrisi, bileşenleri, sistemleri ve nitelikleri dahil olmak üzere binanın veya altyapının sanal bir temsilinden oluşur. Model, her biri kendi özelliklerine ve ilişkilerine sahip olan duvarlar, zeminler, pencereler, kapılar, HVAC sistemleri ve elektrikli bileşenler gibi ayrı elemanlardan veya nesnelere oluşturulabilir.



Şekil 4. 3B BIM Modeli.

BIM Seviye 1

4B BIM: Zaman boyutunu ekleyerek, proje paydaşlarının inşaat sırasını görselleştirmesine ve analiz etmesine, farklı aktiviteler arasındaki ilişkileri anlamasına ve olası zamanlama çakışmalarını veya gecikmelerini belirlemesine olanak tanır. Proje ekibi arasında daha iyi koordinasyon ve planlamanın yanı sıra gelişmiş iletişim sağlar. 4B BIM modeli tipik olarak inşaat başlangıç ve bitiş tarihleri, aktivite süreleri, aktiviteler arasındaki bağımlılıklar ve kaynak tahsisi gibi bilgileri içerir. Bu veriler, her öğeyi veya bileşeni ilgili inşaat faaliyeti ve zaman çizelgesiyle ilişkilendirilerek 3B modele bağlanır.

5B BIM: 5B BIM'de model, malzeme maliyetleri, işçilik maliyetleri, ekipman maliyetleri ve diğer ilgili giderler dahil olmak üzere maliyet verileriyle zenginleştirilir. Bu maliyet bilgisi, model içindeki bileşenler ve faaliyetlerle ilişkilendirilerek proje yaşam döngüsü boyunca doğru maliyet tahmini ve takibine olanak tanır. Paydaşlar, maliyet verilerini BIM modelinin mekansal ve zamansal boyutlarıyla entegre ederek daha bilinçli kararlar alabilir, proje maliyetlerini optimize edebilir ve inşaat projeleri için daha iyi finansal sonuçlar sağlayabilir.

BIM Seviye 2

6B BIM: 6B BIM'de model, sürdürülebilir tasarım stratejileri, enerji modellemesi, karbon emisyonları, yenilenebilir enerji kaynakları ve diğer çevresel faktörler hakkında bilgi ve verileri içerir. Paydaşların, yaşam döngüsü boyunca binanın veya altyapı projesinin çevresel etkisini değerlendirmesini ve analiz etmesini sağlar. 6B BIM, proje paydaşlarının inşaat öncesi aşamada bütçe, zamanlama ve bina tasarım verimliliği ile birlikte bir binanın enerji verimliliği ve sürdürülebilirliği hakkında daha iyi bir anlayışa sahip olmalarını sağlar. Projenin ne kadar sürdürülebilir olduğu değerlendirilmesine göre iki sertifika bulunmaktadır. Bu sertifikalar; Platinum, Gold, Silver, ve Certified'tir.

- **LEED (Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik):** LEED, ABD menşeli Yeşil Bina Konseyi (USGBC) tarafından geliştirilen bir sertifika programıdır. Sürdürülebilir bina tasarımı, inşaatı, tesis yönetimi ve bakımı için standardı belirler. LEED, bir binanın çevresel etkisinin çeşitli yönlerini değerlendirmek için bir çerçeve sunar ve farklı kriterlere göre puanlar verir. Bu kriterler, enerji verimliliği, su tasarrufu, malzeme ve kaynaklar, iç ortam kalitesi ve yenilik gibi alanları kapsar. Kazanılan toplam puana bağlı olarak, bir bina farklı sertifika seviyeleri elde edebilir. Bu sertifikasyon grupları; Platinum, Gold, Silver, ve Certified'tir.
- **BREEAM (Bina Araştırma Kuruluşu Çevresel Değerlendirme Metodu):** BREEAM, Birleşik Krallık'ta Bina Araştırma Kuruluşu (BRE) tarafından geliştirilen bir sürdürülebilirlik değerlendirme yöntemi ve belgelendirme programıdır. Enerji, su, malzeme, kirlilik ve ekoloji dahil olmak üzere bir dizi kategoriye dayalı olarak yeni ve mevcut binaların çevresel performansını değerlendirir. BREEAM ayrıca yönetim, sağlık ve esenlik ve ulaşım gibi faktörleri de dikkate alır. LEED'e benzer şekilde, BREEAM farklı kriterlere puan verir ve binalar genel performanslarına bağlı olarak Outstanding, Excellent, Very Good, Good, Pass, ve Unclassified gibi derecelendirmeler elde edebilir.

7B BIM: 7B BIM'de model, tesisin sistemleri, ekipmanları, bileşenleri ve bakım gereksinimleri hakkında veri ve bilgilerle zenginleştirilir. Buna spesifikasyonlar, bakım programları, üretici bilgileri, garantiler, çalıştırma kılavuzları, enerji tüketim verileri ve tesisin devam eden yönetimi ve bakımı için gerekli olan diğer ilgili bilgiler dahildir.

BIM Seviye 3

8B BIM: 8B BIM, şantiyeye ilişkin bir içgörü sağlar ve yüklenicilerin, inşaat işçilerinin kaza, ölüm veya büyük yaralanma risklerini azaltmak için önleyici

eylemler planlamasına olanak tanır. 8B BIM hizmetleri, proje paydaşlarının şantiye alanını gerçeğe benzer bir sanal ortamda görselleştirmesine olanak tanır, bu da olası riskleri analiz etmeyi ve tasarım aşamasında tehlikeleri ve kritik durumları önlemeyi planlamayı daha kolay ve daha etkili hale getirir.

9B BIM: Verimli atık yönetimi ve inşaat sürecinde yer alan tüm kaynakları kullanarak proje yönetimini optimize eden Yalın İnşaat kavramını teşvik eder. 9. BIM boyutu, malzeme israfını yönetmeye ve binanın inşaatından sonra tam olarak nasıl görüneceğini bir Ortak Veri Ortamında görselleştirmeye yardımcı olan bilgileri eklemektir.

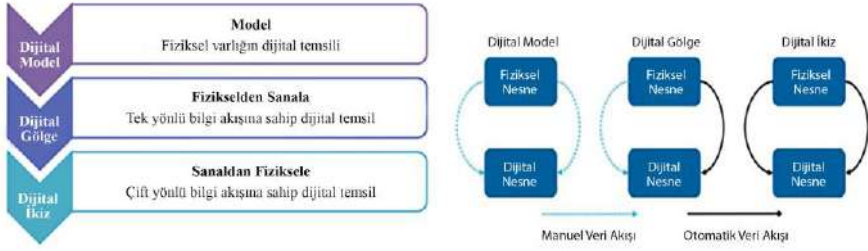
10B BIM: 10. boyut, BIM boyutlarının nihai hedefidir ve en son teknoloji ve dijitalleştirilmiş süreçle entegre olarak inşaat sürecinin üretkenliğini sanayileştirmeye ve artırmaya çalışır. 10B BIM hizmetleri, bina yaşam döngüsünü, merkezi bir sanal platformda, tasarım aşamasından inşaat ve tesis yönetimine kadar her anlamda optimize etmeye yardımcı olur. Kapsamlı varlık yönetiminin bu merkezileştirilmiş veri, proje yöneticilerinin tüm bina inşaatını mümkün olduğunca verimli bir şekilde tamamlamaları için sezgisel kaynaklara sahip olmalarına yardımcı olur. 10B BIM hizmetlerinden yararlanılarak elde edilen veri, bir inşaat projesini kusursuz bir şekilde yürütmek için maliyeti tahmin etmek, planlamak ve programlamak, binanın sürdürülebilirliğini analiz etmek, sağlık ve güvenlik önlemlerini sağlamak, saha riskini analiz etmek ve diğer çeşitli faktörleri uygulamak için uygulanır.

nB BIM: "n-Boyutlu Yapı Bilgi Modellemesi" anlamına gelir. İnşaat projelerinin modellemesini ve yönetimini geliştirmek için ek veri boyutları ve işlevsellik ekleyen geleneksel Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) yaklaşımının bir uzantısıdır. nB olarak adlandırılmasının nedeni, genişletmek için yeni veri eklenebileceği anlamına gelir, bunun için bir sınırlama yoktur.

DİJİTAL İKİZ

Dijital ikiz, fiziksel bir nesnenin, işlemin veya sistemin sanal bir temsili oluşturularak bu iki varlık arasında iki yönlü bir veri ve bilgi akışı sağlanması anlamına gelir. Dijital İkiz, gerçek bir ortamda var olan fiziksel bir varlıktan, sanal bir ortamda var olan sanal bir temsilden ve gerçek ve sanal eşdeğerler arasındaki bilgi bağlayıcılarından oluşur.

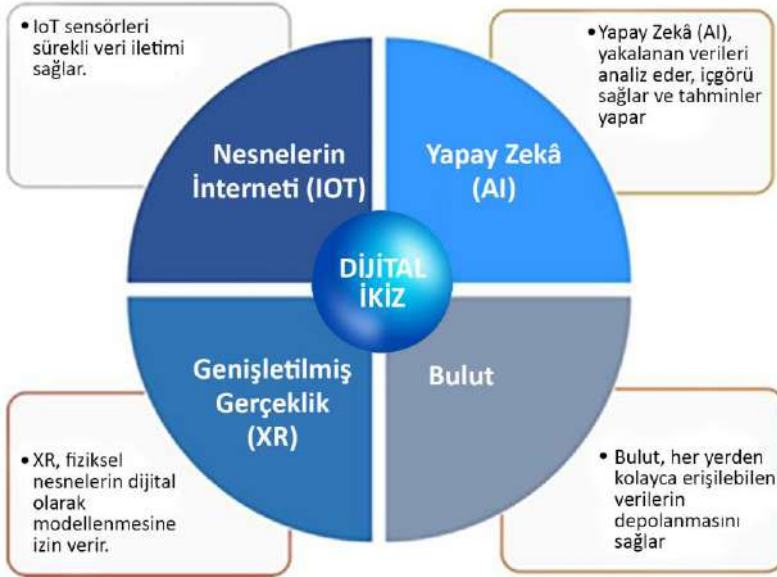
Kritzinger (2018), Dijital İkizi, fiziksel ürün ile sanal temsili arasında elde edilebilecek veri entegrasyon düzeyine dayalı olarak tanımlamıştır. Buna bağlı olarak üç entegrasyon seviyesi belirlemiştir: Dijital Model, Dijital Gölge ve Dijital İkiz.



Şekil 6. Dijital İkiz veri entegrasyon seviyeleri.

Teknolojileri Etkinleştirme

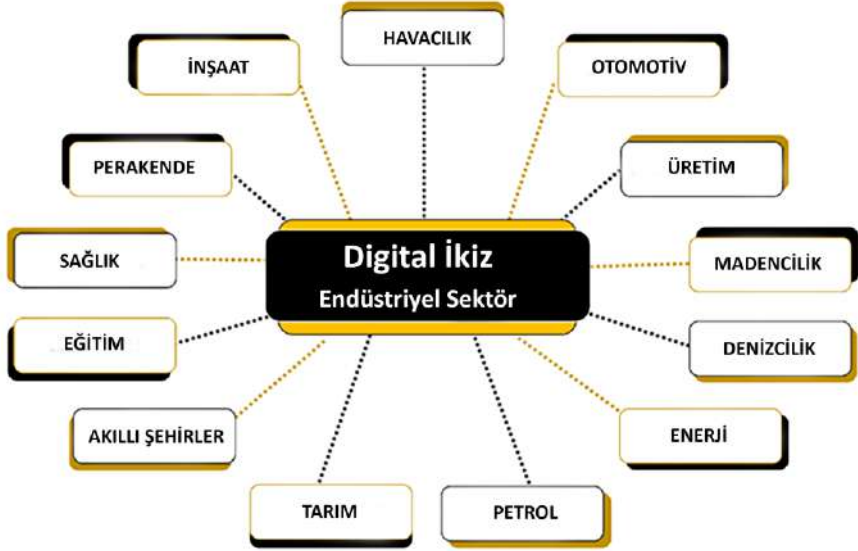
Dijital İkizin üç ana yönü veri toplama, veri modelleme ve veri uygulamasıdır. Dijital İkiz, gerçek zamanlı verileri toplamak ve depolamak, değerli içgörüler sağlamak için bilgi elde etmek ve fiziksel bir nesnenin dijital temsilini oluşturmak için dört teknoloji kullanır. Bu işlemi sağlayan teknolojiler Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Dijital İkizi etkinleştiren teknolojiler.

DİJİTAL İKİZ OLGUNLUK MODELLERİ

Dijital ikiz teknolojisinin olgunluğu sektörlerle ve kuruluşlara göre değişir. Bazı endüstriler dijital ikizleri benimseme ve uygulamada önemli ilerlemeler kaydetmiş olsa da diğerleri hala teknolojiyi araştırıyor ve denemektedir. Şekil 8'de görüldüğü gibi literatürde çeşitli olgunluk modelleri geliştirilmiştir.



Şekil 8. Mevcut Dijital İkiz olgunluk modelleri.

Evans vd. (2019)

Öge 0: Bir dijital ikizi başlatmak için en düşük dereceli öge (yalnızca mevcut fiziksel varlıklarla ilgilidir), varlık geometrisinin veya sistem tasarımının doğru, oluşturulmuş bir veri kümesinin oluşturulmasıdır. Bu, verilerin bağlandığı ve üst üste bindirildiği temel ögedir. Veriler, daha önce mümkün olandan daha doğru, verimli ve uygun maliyetli olan çeşitli haritalama ve gerçeklik yakalama teknikleri (nokta bulut modeli, dronlar, fotogrametri, çizimler/eskizler vb.) aracılığıyla toplanır. Öge 0, daha fazla varlık kesinliği, mekânsal bağlam ve anlayışa sahip olarak değer sağlar. Bu, özellikle varlıkların yüksek oranda inşa edildiği ve eskidiği sektörlerde veya çalışanların tehlikeli görevlere maruz kalmasını azalttığı yüksek riskli sektörlerde geçerlidir. Bazen bu nokta bulutu veri kümeleri içinde çalışmak yeterlidir. Ancak genellikle bir sonraki olgunluk düzeyine geçmek önemlidir.

Öge 1: 1. Öge, tasarım sürecinin bir sonucu olarak yeni varlıklar için tipik bir giriş noktasıdır ve genellikle son modeli oluşturmak için inşaat sonrasında gerçeklik yakalama (Öge 0'a göre) yoluyla güncellenir. Modeller, hiçbir meta

veri veya BIM verisi eklenmeden tamamen nesne tabanlıdır (yüzey, şekiller vb.). Öge 0'dan gelen nokta bulutları, gerektiği gibi ve gerektiğinde, nesne tabanlı 2B harita/sistemlere veya 3B modellere orantılı olarak dönüştürülebilir. Dönüşüm, günümüzde büyük ölçüde manuel bir işlemdir, ancak yakında makine öğrenmesi içeren yarı otomatik yöntemlerle yapılacaktır. Bu olgunluk düzeyinde Dijital İkiz, tasarım/varlık optimizasyonu ve koordinasyon yoluyla önemli bir değer sağlar.

Öge 2: Öge 1, tasarım bilgileri, malzeme özellikleri, denetim raporları ve varlık yönetimi bilgileri gibi kalıcı veri kümelerine bağlandığında daha fazla fayda sağlar ve meta verilerle (yani BIM) daha da zenginleştirilmiştir. Veriler eklenir, etiketlenir ve mevcut sistemlerden alınır, doğrudan 2B/3B modele gömülmez veya depolanmaz. Bu, mühendislik, proje planlama, operasyonlar, bakım ve hizmetten çıkarma için temel oluşturur. Hataları, belirsizlikleri ve maliyetleri azaltarak tüm verilerin görüntülenebileceği ve sorgulanabileceği tek bir referans noktası oluşturur. Daha hızlı karar verme ve işbirliği sağlar.

Öge 3: Sensörler, bağlı cihazlar ve Nesnelerin İnterneti (IoT) tarafından kolaylaştırılan dinamik veya operasyonel veriler, fiziksel varlıktan dijital varlığa tek yönlü olarak gerçek (veya gerçeğe yakın) zamanda elde edilir ve görüntülenir. Bu veriler, inşa edilen varlığın davranışını bilgilendirmek ve tahmin etmek için analiz edilebilir ve çıktı veya sonuçların organizasyonun mevcut sistemlerine geri beslenmesi ve güncellenmesi ile karar vermeyi kolaylaştırır. Bu olgunluk Ögeyi, birçok teknoloji ve hizmet sağlayıcının "gerçek" bir Dijital İkizin başlangıç noktası olarak tanımlayacağı şeydir, ancak bu olgunluk düzeyine ulaşmak, genellikle ayrıntılı olmayan birkaç önceki adımı gerektirir. Çge 3'ü geliştirmek, aktif veya pasif olarak veri yakalamak ve toplamak için sensörler ve bağlı cihazlar gerektirir. Bu genellikle ilk önemli yatırımdır.

Öge 4: Fiziksel varlığın durumu Dijital İkiz aracılığıyla değiştirilebilir, çıktı ve sonuçlar ikize geri beslenir ve güncellenir. Örneğin, bir operatör fiziksel bir valfi manipüle edebilir veya eylemi ikizden başlatarak makineyi etkinleştirebilir. Bu entegrasyon düzeyi, ek sensör ve fiziksel varlığın mekanik olarak güçlendirilmesini gerektirir. Bu entegrasyon, ikiz ile diğer ikizler ve hatta mühendislik sistemleri ve uygulamaları gibi diğer dijital varlıklar arasında da geçerli olabilir. Örneğin, sürükleyici teknoloji kullanan bir tasarımcı tasarımı değiştirir ve değişiklik, mühendislik tasarımı ve süreç simülasyon paketi dahil olmak üzere tüm bağlantılı uygulamalara aktarılır. Bağlantılı uygulamalar, değişikliğin etkisini hesaplar ve geometriyi ve verileri buna göre günceller, bu güncellemeler ve etkileri tasarımcının görmesi için canlı olarak ikize yansıtılır.

Bu tam entegrasyon, dijital ikizlerle etkileşim kurmanın iki yöntemini gösterir; insan-makine ve makine-makine etkileşimi.

Öge 5: Gelecekte, Dijital İkizin, fiziksel varlığın davranışı hakkında yeterli deneyimi özümseyerek, operasyonlarında tamamen özerk hale gelebileceğini ve tepki verebildiğini, organizasyonel bilgi için yaşayan bir depo olarak öğrendiğini ve geliştiğini hayal etmek zor değildir. Dijital İkiz bu aşamada, anormallikler ve bozulmalar ve çok az insan etkileşimi ile veya hiç etkileşim olmadan gerekli düzeltici eylemi gerçekleştirebilir. Bu olgunluk düzeyine ulaşmak, şu anda ayırık durumlar için küçük hedefler açısından mümkündür.

Madni vd. (2019)

Dijital İkiz Öncüsü Seviye 1: Ön mühendislik sırasında oluşturulan geleneksel sanal prototiptir. Konsept tasarımında ve ön tasarımda karar vermeyi destekler.

Dijital İkiz Seviye 2: Sanal sistem modelinin fiziksel ikizden performans, sağlık ve bakım verilerini birleştirebildiği bir Dijital İkizdir.

Uyarlanabilir Dijital İkiz Seviye 3: Fiziksel ve Dijital İkizlere (akıllı bir ürün modeli) uyarlanabilir bir kullanıcı arabirimi sunar. Uyarlanabilir kullanıcı arayüzü, kullanıcının/operatörün tercihlerine ve önceliklerine duyarlıdır. Bu seviyedeki önemli bir yetenek, farklı bağlamlarda insan operatörlerin tercihlerini ve önceliklerini öğrenme yeteneğidir.

Akıllı Dijital İkiz Seviye 4: Seviye 3 Dijital İkizin tüm özelliklerine sahiptir (denetimli makine öğrenimi dahil). Ek olarak, operasyonel ortamda karşılaşılan nesnelere ve kalıpları ayırt etmek için denetimsiz makine öğrenimi yeteneğine ve belirsiz, kısmen gözlemlenebilir bir ortamda sistem ve ortam durumlarının pekiştirici öğrenimine sahiptir.

Boje vd. (2020)

1. Nesil - İzleme platformları: Bir Dijital İkizdeki ilk girişim olan izleme platformları, bir dereceye kadar raporlama ve analiz yetenekleriyle fizikselin algılanmasını sağlar. Fiziksel dünya üzerindeki harekete geçirme, yerleşik acil durum prosedürleriyle sınırlıdır. Bu aşamadaki sanal veri modelleri, eski dijital modelleri dikkate alabilir. Bu, kullanıcı yorumuna ve karar vermeye açık sınırlı içgörüler sunan, saha algılama ve dijital modellerin gerçek zamanlı entegrasyonuna yönelik ilk adım olarak düşünülmelidir.

2. Nesil - Akıllı semantik platformlar: Anlambilime doğru ilk büyük adımı atan bu versiyon, Dijital İkizi tüm entegre IoT cihazlarıyla temsil etmek için ortak bir web dili çerçevesinin konuşlandırıldığı ve böylece bir bilgi tabanı oluşturan sınırlı zekâya sahip gelişmiş izleme platformlarıdır. Sınırlı zekâ,

gömülü bilgi kuralları ve simülasyonları ve tahminleri etkinleştirmek için ayrı yapay zekâ tabanlı algoritmalar kullanılarak elde edilir. Optimizasyon, büyük ölçüde eğitilmiş insan aktörler tarafından gerçekleştirilen bir süreç olacaktır. Çalıştırma yetenekleri güvenlik, emniyet ve enerji tüketimi ile sınırlıdır ve daha karmaşık durumlar için kullanıcı doğrulaması ve yetkilendirme gerektiren ayrıntılı uyarılar ve tavsiyeler verir.

3. *Nesil - Ajan güdümlü sosyo-teknik platformlar*: Şimdiye kadar mümkün olan Dijital İkiz uygulamasının zirvesi, yapay zekâ etkin ajanların kullanımıyla edinilen bilgidен yararlanarak tamamen semantik/anlamsal bir Dijital İkiz temsil eder. Kendi kendine yeten, kendi kendini güncelleyebilen ve kendi kendine öğrenen bir Dijital İkiz oluşturmak için makine öğrenmesi, derin öğrenme, veri madenciliği ve analiz yetenekleri gerekir. Optimizasyon tamamen Dijital İkizin hedeflerine ve öğrenme modellerine emanet edilecektir.

Chen vd. (2021)

Habersiz: Temel proje (IoT olmayan cihazlar, envantere alınmayan varlıklar ve daha az veritabanı desteği)

Tanımlanabilir: Varlıklar kısmen tanımlanabilir ve kayıtlıdır; tasarım verileri varlık kimliğine bağlıdır

Farkında: Varlıklar tanımlanabilir ve kayıtlıdır; IoT cihazları, olduğu gibi koşulları izlemek için kısmen entegre edilmiştir; dijital model kullanılır

İletişimsel: Ontoloji tanımlanır; varlıklar ve veriler standartlaştırılmış bir biçimde paylaşılabilir; teknoloji makul bir şekilde uygulanır

Etkileşimli: Ontoloji net bir şekilde tanımlanır ve gerçekleştirilir; bilgi alma ve varlık entegrasyonunu desteklemek için uygun metodoloji uygulanır; paylaşılabilir bilgi ve değer sağlanır

Öğretici ve Akıllı: Yarı otomatik/otomatik varlık yönetimi, kendi başına akıllı karar verme desteği ve eylemleri teşvik etme

Medina et al. (2022)

Düzyey 1: Bu düzeyde izleme yeteneğine sahip Dijital İkiz olanların açıklamasını ve analizini yapabilir. Model verisi bir haftadan uzun bir sürede güncellenir. Olay gerçekleştiğinde veri toplanır. Sistemin sadece bireysel parçaları modellenir. Dijital İkiz verisi karar almada etkin kullanılmaz. Yaşam döngüsünün sadece bir aşamasına entegre edilir.

Düzyey 2: Bu düzeyde teşhis yeteneğine sahip Dijital İkiz olanların neden oluştuğunun açıklamasını yapabilir. Model verisi bir haftadan kısa bir sürede güncellenir. Aktivite gerçekleştiğinden sonra geçmiş veri toplanır. Belirli bir amaç doğrultusunda kendine yetebilecek şekilde modellenir. Dijital İkiz verisi ile

birlikt ürün üzerinde insan etkisi ile aktiviteler gerçekleştirilir. Yaşam döngüsünün iki aşamasına entegre edilir.

Düzyey 3: Bu düzeyde tahmin yeteneğine sahip Dijital İkiz ileride ne olacağını tahminleyebilir. Model verisi bir günden kısa bir sürede güncellenir. Sürekli veri toplanır. Tüm ürün modellenir. Dijital İkiz verisi ile insanın dahil olduğu ve otomasyonun da olduğu bir lekilde kullanılır. Yaşam döngüsünün üç aşamasına entegre edilir.

Düzyey 4: Bu düzeyde yönlendirme yeteneğine sahip Dijital İkiz belirli bir hedefin nasıl gerçekleştirileceği konusunda reçetelendirilme yapabilir. Model verisi bir saatten kısa bir sürede güncellenir. Sürekli gerçek zamanlı veri gecikme olmaksızın toplanır. Ürün çevresiyle birlikte modellenir. Dijital İkiz verisi ile ürün direk otomasyonla yönetilir. Tüm yaşam döngüsüne entegredir.

Mo vd. (2023)

Otonom Düzyey 1: Otonom olmayan fabrika. En düşük özerklik düzeyine sahip üretim sistemleri. Sistemler operatör eylemlerine ve kararlarına dayanır ve genel sistemler birbirine bağlı değildir veya operatör dışında herhangi bir merkezi kontrole sahip değildir.

Otonom Düzyey 2: Temel otomatik fabrika. Bağlı sistemlere merkezi kontrolün dahil edilmesi, gelişmiş otomasyon seviyelerine ve bazı bağlama duyarlı özelliklere olanak tanır. Birçok görev için hala insan operatörlerin müdahalesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Otonom Düzyey 3: Uyarlanabilir fabrika. Öngörülemeyen olayları karşılamak için kendi kendine uyarlanabilir davranışlar ve tahmine dayalı özellikler sunar. İnsan operatörler, optimize edilmiş faaliyetler için öneriler alır, ancak ana sistem görevleri, doğrudan veya merkezi bir kontrol sistemi aracılığıyla hâlâ insan kontrolü altındadır. Toplanan veriler sürekli izlenir ve bağlı tüm sistemler arasında otomatik olarak paylaşılır.

Otonom Düzyey 4: Yarı otonom fabrika. Sistem, yerleşik sınırlar dahilinde yüksek düzeyde bağlam farkındalığına dayalı olarak kendi hareket tarzını tanımlar. İnsan operatörler sistemle işbirliği içinde çalışır. Sistem, "işin her zamanki gibi" yürütülmesi için ortamını analiz edebilse bile, sistem hedefleri ve büyük bozulmalara verilen yanıt yine de ajanlar veya operatörler tarafından izlenir.

Otonom Düzyey 5: Tamamen otonom fabrika. Sistem, gelişmiş kendi kendine öğrenme yetenekleri sayesinde belirsiz veya öngörülemeyen girdilere tamamen uyarlanabilir. Sistem, yeni ve öngörülemeyen zorluklar karşısında bile ajan veya operatör müdahalesi olmaksızın bağlantılı üretim sistemleri için ortak hedeflere ulaşmak için en iyi seçeneği seçebiliyor.

Hu vd. (2023)

Temel Seviye (Seviye 1): Bu seviyede, ileri teknoloji ekipmanın Dijital İkizi, Dijital İkizin bazı temel fonksiyonlarını içermelidir. Örneğin, ileri teknoloji ekipmanın temel bileşenlerinde kontrol ve veri toplama yetenekleri, Dijital İkizin aşağıdaki olgunluk düzeylerini (örn. iletişim ve entegrasyon) desteklemek için temel düzeyde gereklidir.

Bağlantı Seviyesi (Seviye 2): Bu seviyede, üst düzey ekipmanın Dijital İkizinin, sanal ve gerçek dünyalar arasında bağlantı yeteneği ile donatmak için ana bileşenler üzerinde iletişim teknolojisini (5G ve IoT) uygulaması beklenir.

Entegrasyon Seviyesi (Seviye 3): Bu seviyede, ileri teknoloji ekipmanın Dijital İkizi, ayrı veri toplama ve iletişimden entegre bir uygulamaya dönüşmelidir. Örneğin, üretim prosedürü sırasında, entegrasyon düzeyine sahip Dijital İkiz, tüm fabrikada standartlaştırılmış veri toplama ve paylaşmayı mümkün kılmak için dijital ve ağ geliştirmelerini tamamlamalıdır.

Algı Seviyesi (Seviye 4): Bu seviyede, üst düzey ekipmanın Dijital İkizi, üst düzey ekipmanın gerçek çalışma koşulu algısını gerçekleştirmek için tam olarak kullanılan bir operasyon izleme sistemi, yönetim sistemi ve diğer destek sistemlerine sahiptir ve bir bilgi veri tabanına, uzman veri tabanına, tarihsel veri tabanına ve toplanan verilere dayalıdır.

Etkileşim Düzeyi (Seviye 5): Bu düzeyde, üst düzey ekipmanın Dijital İkizi, makine öğrenmesi, derin öğrenme ve diğer yöntemlere dayalı olarak çevre ile üst düzey ekipman arasındaki etkileşimi alabilmelidir. Böylece Dijital İkiz, üst düzey ekipmanın çalışma programını uygun şekilde tasarlamak için kullanılabilir paylaşılabılır bilgi ve değer sağlayabilir.

Özerklik Seviyesi (Seviye 6): Bu seviyede, ileri teknoloji ekipmanın Dijital İkizi, bilinmeyen farklı çalışma koşulları altında otomatik tahmin ve operasyon gerçekleştirmelidir. Üst düzey ekipmanın Dijital İkizi, üst düzey ekipmanın güvenliğini sağlam bir şekilde sürdürmek için otonom olarak kararlar alabilir.

SONUÇ

Dijital İkizlerin uygulama süreci, literatürde nadiren tartışılan bir konu olmuştur ve bu, ne yazık ki, literatürde ve sektörde kavramın soyut olarak algılanmasına neden olmuştur. Bu çalışmada mevcut Dijital İkiz olgunluk modellerine yer verilmiştir. Bahsi geçen olgunluk modelleri, dijital ikiz sistemlerini 'bilişsel düzeye' getirmek için bu alanda yol gösterici araştırmalardandır.

REFERANSLAR

- Panetta, K. (2017). The top 10 strategic technology trends for 2018. Gartner's special report.
- Shao, G., & Helu, M. (2020). Framework for a digital twin in manufacturing: Scope and requirements. *Manufacturing Letters*, 24, 105-107.
- Groombridge, D. (2022). Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2023. <https://www.gartner.com/en/articles/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2023>.
- Technavio, Digital twin market by end-user, deployment, and geography - Forecast and analysis 2021–2025, 2022, Online: <https://finance.yahoo.com/news/digital-twin-market-size-grow-154500181.html>
- Enders, M. R., & Hoßbach, N. (2019). Dimensions of digital twin applications-a literature review.
- Glaessgen, E., & Stargel, D. (2012, April). The digital twin paradigm for future NASA and US Air Force vehicles. In 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC structures, structural dynamics and materials conference 20th AIAA/ASME/AHS adaptive structures conference 14th AIAA (p. 1818).
- Motawa, I., & Almarshad, A. (2013). A knowledge-based BIM system for building maintenance. *Automation in construction*, 29, 173-182.
- CRC Construction Innovation. (2007). Adopting BIM for facilities management: Solutions for managing the Sydney Opera House. Cooperative Research Center for Construction Innovation, Brisbane, Australia, Industry Publication.
- Enders, M. R., & Hoßbach, N. (2019). Dimensions of digital twin applications-a literature review.
- Yalcinkaya, M., & Arditi, D. (2013). Building information modeling (BIM) and the construction management body of knowledge. In *Product Lifecycle Management for Society: 10th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2013, Nantes, France, July 6-10, 2013, Proceedings 10* (pp. 619-629). Springer Berlin Heidelberg.
- Succar, B. (2010). Building information modelling maturity matrix. In *Handbook of research on building information modeling and construction informatics: Concepts and technologies* (pp. 65-103). IGI Global.
- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2018). Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *Ifac-PapersOnline*, 51(11), 1016-1022.

- Evans, S., Savian, C., Burns, A., & Cooper, C. (2019). Digital twins for the built environment: An introduction to the opportunities, benefits, challenges and risks. *Built Environmental News*.
- Madni, A. M., Madni, C. C., & Lucero, S. D. (2019). Leveraging digital twin technology in model-based systems engineering. *Systems*, 7(1), 7.
- Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S., & Rezgui, Y. (2020). Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research. *Automation in construction*, 114, 103179.
- Chen, L., Xie, X., Lu, Q., Parlikad, A. K., Pitt, M., & Yang, J. (2021). Gemini principles-based digital twin maturity model for asset management. *Sustainability*, 13(15), 8224.
- Medina, F. G., Umpierrez, A. W., Martínez, V., & Fromm, H. (2021, March). A maturity model for digital twin implementations in the commercial aerospace oem industry. In *2021 10th international conference on industrial technology and management (ICITM)* (pp. 149-156). IEEE.
- Mo, F., Monetti, F. M., Torayev, A., Rehman, H. U., Mulet Alberola, J. A., Rea Minango, N., ... & Chaplin, J. C. (2023). A maturity model for the autonomy of manufacturing systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 126(1-2), 405-428.
- Hu, W., Fang, J., Zhang, T., Liu, Z., & Tan, J. (2023). A new quantitative digital twin maturity model for high-end equipment. *Journal of Manufacturing Systems*, 66, 248-259.
- Singh, M., Srivastava, R., Fuenmayor, E., Kuts, V., Qiao, Y., Murray, N., & Devine, D. (2022). Applications of Digital Twin across industries: a review. *Applied Sciences*, 12(11), 5727.

20. Bölüm

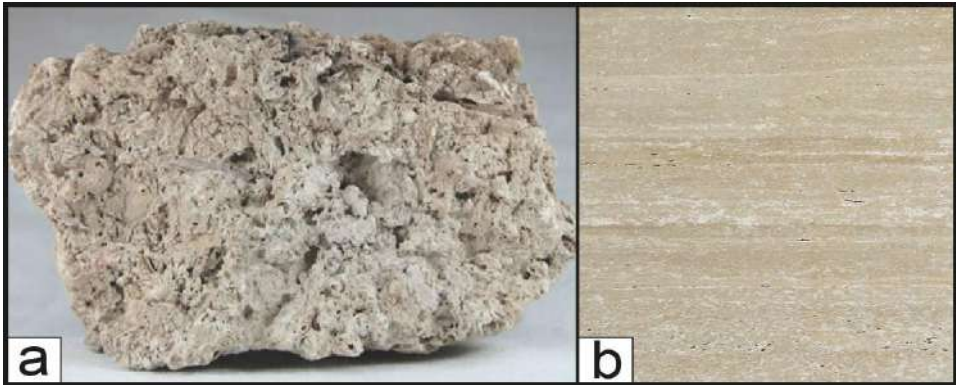
Traverten - Tektonik İlişkisi

Serap ÇOLAK EROL ¹

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

ÖZ

Traverten terimi için birçok araştırmacı, birbirine benzeyen tanımlar yapmışlardır. Bates ve Jackson (1980), traverteni yüzey ve yeraltı sularında bulunan kalsiyum karbonatın hızlı kimyasal çökelişiyle oluşan, çoğunlukla lifsi ya da konsantrik yapıya sahip beyaz, sarımsı, bej ya da kahverengi renklerinde, yoğun, iyi kristallenmiş, masif ya da konsantrik kireçtaşları şeklinde tanımlar. Julia (1983), traverteni bataklıklarda, küçük nehirlerde, kaynaklarda (karstik ya da hidrotermal), genellikle kabuk bağlama (biyokimyasal çökeltme ve/veya çimento çökelişi) şeklinde oluşan kalsiyum karbonat yığılımları biçiminde tanımlar. Chafetz ve Folk (1984), kaynak sularından organik ya da inorganik evreler ile çökeltilebilir tatlı su karbonatlarının bir türü olarak ifade eder. Wyatt (1986), kaynak ve ya süzülen sulardan çökelen sert ve kompakt bir çeşit kireçtaşı şeklinde tanımlar. Guo ve Riding (1998) ise traverteni, su kaynaklarından çıkan bikarbonat ve kalsiyumca zengin olan yer altı sularından oluşan kireçtaşları olarak ifade etmiştir. Genel olarak **traverten**, karstik ve sıcak su kaynakları çevresinde, küçük nehirler ve bataklıklarda oluşabilen, çimentolanmayla ve/veya biyokimyasal yolla çökelebilen sık dokulu kalsiyum karbonat (CaCO_3) birikimleridir (Şekil 1a). Travertene sutaşı, taşlaşmış yosun veya yollu mermer de denmektedir.



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

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

Tufa terimi için de birçok araştırmacı, birbirine benzeyen tanımlar yapmışlardır. Bates ve Jackson (1980), bir göl içinde ya da kıyısında, suyu karbonatlı bir ırmak kenarında, sıcak ve soğuk kalkerli kaynak ağızlarında çökelen kalın soğansı yapıda ve yığılım şeklinde, bazen ince kabuksu yapıda, kırılğan ve süngerimsi, gözenekli olan kimyasal kökenli sedimanter kayalar olarak tanımlayıp tufaların, algler ve bakteriler tarafından çökteldiğini belirtirler. Challinor'un Jeoloji Sözlüğü (Wyatt, 1986) tufayı, kaynak veya süzülen sulardan oluşan yumuşak ve poröz bir çeşit kireçtaşı olarak tanımlar. Pedley (1990), ılık ve soğuk su kaynakları çevresinde çökelen yoğun gözenekli ve süngerimsi yapıya, yaprağımsı ve odunsu dokulu karbonat oluşumu şeklinde niteler. Ford ve Pedley'e (1992) göre ise tufa, ABD dışındaki İngiltere konuşulan ülkelerde kullanılan, Kuvaterner ve günümüzde yaygın olan kalkerli tatlı su çökeltilerini ifade eder. Bunlar, serin, ılıman ve yarı kurak bölgelerdeki çağlayanlar ve kaynaklarda oluşmaktadır. ABD, İspanyolca konuşan ülkeler ve günümüz Avrupa'sında ise çoğunlukla tufa teriminin yerine traverten kullanılmaktadır (Atabey, 2003). Genel olarak **tufa**, tüm soğuk ya da ılık tatlı su ortamında yaşayan algler ya da bakterilerce çöktelen, organik madde içeriğinden dolayı gözenekli ve süngerimsi yapıdaki kalsiyum karbonat (CaCO_3) çökeltileridir (Şekil 1b).

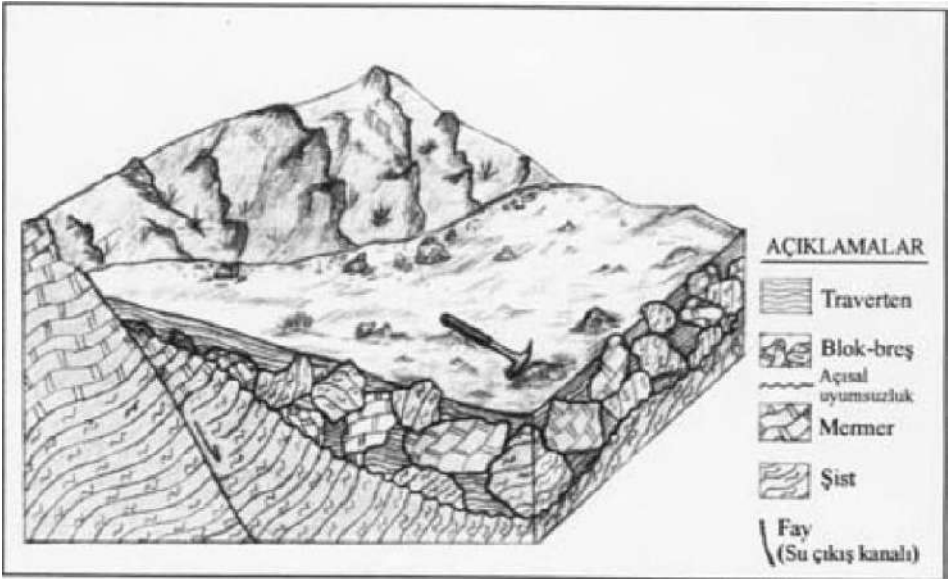
Traverten ve tufaların ortak yönü, kalsiyum karbonatlı (CaCO_3) kaynak veya diğer sulardan çökelmiş karasal kökenli karbonat kayalar olmalarıdır. Birbirinden dokularını yansıtan özellikleri baz alınarak ayrılırlar. Bazı araştırmacılara göre 'traverten', genellikle sert ve kompakt, sıcak su (hidrotermal)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

Barnes ve diğerlerinin (1978) belirttiği gibi, tektonik olarak aktif olan zonlar ile traverten çökeli arasında dünya çapında çok yakın bir ilişki vardır. Çünkü faylanmalar, hidrotermal akışkanın yüzeye taşınmasında önemli rol oynarlar (Sibson vd., 1975). Dolayısıyla travertenler, bölgesel tektoniğin bazı belirtilerini yansıtırlar. Birçok traverten kütlesi, Pleyistosen'den bu yana oluşmaya devam ettiğinden (Schwarcz ve Latham, 1984; Goff ve Shevenell, 1987; Kronfeld vd., 1988; Heimann ve Sass, 1989), aktif ve aktif olmayan travertenlerin varlığı, tektonik aktivitenin günümüzde veya yakın geçmişte devam ettiğinin bir göstergesidir. Aynı bölgede aktif ve aktif olmayan travertenlerin varlığı, tektonik aktivitenin binlerce yıldır devam ettiğinin işaretidir. Travertenler, çökeltme sırası ve sonrasına ait tektonik kayıtları içerdiğinden, çökeltme sırasındaki ve sonrasındaki tektonizma hakkında önemli bilgiler sağlar (Altunel, 1996).

Travertenler, morfolojik özelliklerine göre sınıflandırıldığında, tektonik açıdan üç tanesi önem kazanır. Bunlar, fay önü travertenleri, kendiliğinden oluşan kanal tipi travertenler ve sırt tipi travertenlerdir (Altunel, 1996).

Fay Önü Travertenleri (Range-Front Travertines)

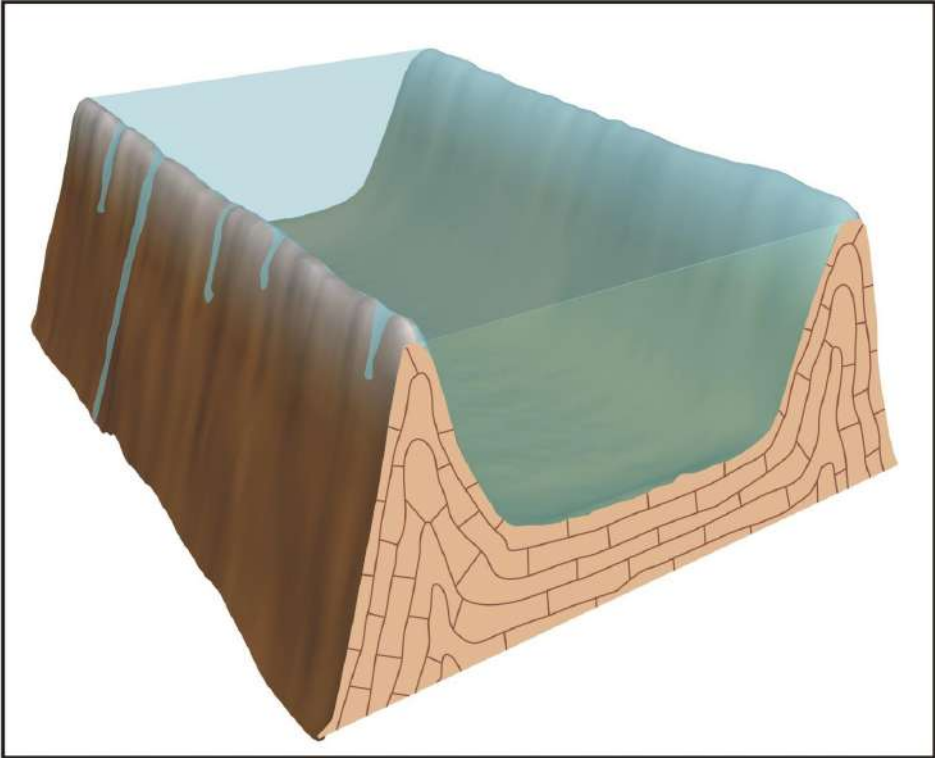
Fay önü travertenleri, fayların düşen bloklarında topoğrafyaya uyumlu olarak gelişirler (Şekil 2). Bu travertenlerin tabanında, yamaç molozu veya kırıntılı malzeme, traverten ile çimentolanmışken üst seviyelere doğru yok denecek kadar azdır. Fay önlerinde çökelmiş bu travertenleri oluşturan kaynaklar, fay boyunca yer aldıklarından tabakalı fay önü travertenlerinin eğimleri, travertenin üzerinde çökeldiği yamaç eğimine paralel gelişir. Ancak düşen blok üzerindeki tabakalı fay önü travertenleri, faya doğru eğimliyse bu orijinal eğimi olmayıp muhtemelen fayın aktivitesine bağlı olarak geriye doğru eğim kazanmıştır. Ana faya yakın fay önü travertenlerdeki boşluklarda (Örneğin Pamukkale travertenlerindeki boşlukların boyları yaklaşık 1 m, açıklıkları 20 cm) yatay traverten laminaları, oluşmuştur. Bu yatay laminaların çökmesine neden olan boşluklar, muhtemelen traverten oluşumu sırasında, faydaki ani hareketler sonucu açılmış ve yükselen sıcak suların, bu boşluklara sızmasıyla dolmuştur. Travertenlerin içerdiği bu yapılar, tektonik aktivitenin traverten oluşumu ve sonrasında da devam ettiğini gösterir (Altunel, 1996).



Şekil 2. Fay önü travertenlerinin blok diyagram görünümü (Ayaz, 2002a)

Kendiliğinden Oluşan Kanal Tipi Travertenler (Self-Built Channel Travertines)

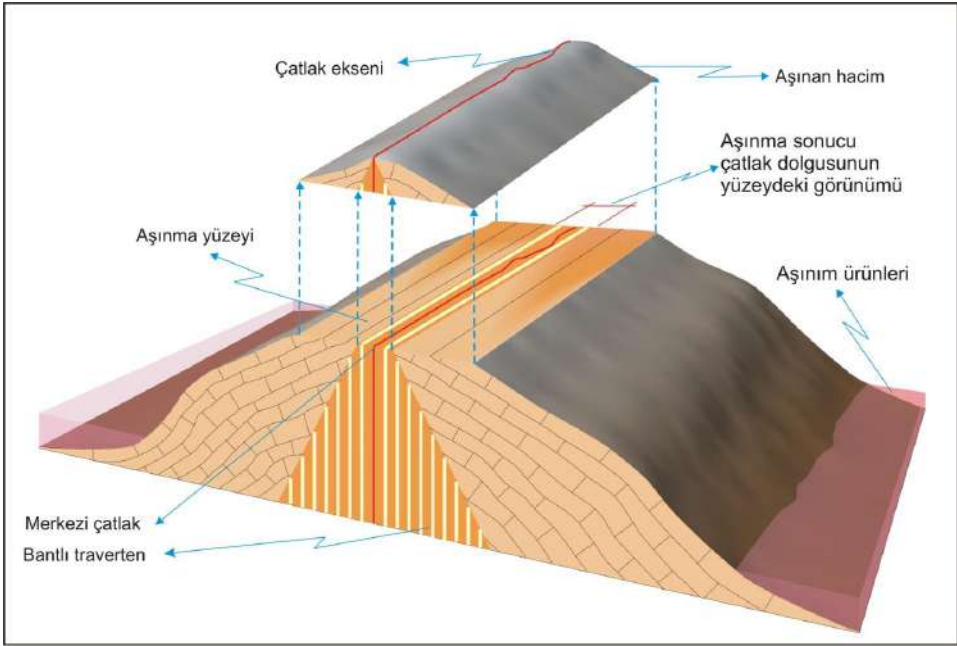
Kendiliğinden oluşan kanal tipi travertenler, kalsiyum karbonatça (CaCO_3) zengin suyun kanal içinde akması sonucu, kanal tabanında ve kenarlarında travertenin çökmesiyle oluşan duvar şeklindeki travertenlerdir (Şekil 3). “Self-built” terimi, ilk kez Bean (1971) tarafından Pamukkale’de duvar şeklindeki traverteni tanımlamak için kullanılmıştır. Traverten oluşumunu sağlayan kanallar, teraslardan drene olan suların aktığı doğal kanallar veya insanların sulama amaçlı yaptıkları kanallar olabilir. Kanal içindeki suyun akışı, kanal kenarlarında, kanal merkezine göre daha çalkantılı olduğu için traverten çökelişi kenarlarda daha fazladır. Dolayısıyla kanal tipi travertenlerin düşey kesitleri, genellikle “M” şeklinde bir görünüm sunarlar. Bu travertenler, duvar şeklinde oldukları için kendilerini kesen kırıkların türleri hakkında çok sağlıklı bilgiler verirler. Ayrıca içinde oluşmaya başladıkları kanalların bazıları, insan yapımı olduğu için bu travertenlerden deformasyonun yaşı hakkında da, bilgi edinmek mümkündür.



Şekil 3. Kanal tipi traverten morfolojisinin blok diyagram görünümü (Mesci, 2004)

Sırt Tipi Travertenler (Fissure-Ridge Travertines)

Sırt tipi travertenler, çatlaklar boyunca yüzeye çıkan sıcak suların yüzeyde çökelttiği travertenlerin, zamanla çatlak boyunca sırt oluşturmasıyla meydana gelirler (Şekil 4). Travertenler, hem çatlak içinde (bantlı traverten / fissure travertine) hem de yüzeyde (tabakalı traverten / bedded travertine) çöker. Çatlak boyunca yüzeye yükselen sıcak su, çatlağın her iki yüzeyinde onikse benzeyen beyazdan kırmızımsı beyaza değişen renklerde, sert ve sıkı dokulu, çatlak duvarına paralel gelişmiş olan bantlı traverten çökeltir. Tabakalı traverten ise çatlaktan çıkan suyun yüzeyde, çatlağın her iki tarafında akmasıyla oluşur. Traverten tabakalarının eğimleri, sırt ekseninden uzağa doğrudur. Yani sırt tipi travertenler, bir nevi çatı şeklindedir (Altunel, 1996).



Şekil 4. Sırt tipi traverten morfolojisinin blok diyagram görünümü (Mesci, 2004)

Uzun eksenleri boyunca bir uçtan diğer uca yaklaşık düşey bir merkezi çatlak içeren traverten sırtlarını, ilk kez Hayden (1872), Mammoth Hot Spring (ABD) travertenlerinde fark etmiş fakat bunlara "tomruk gibi tepe (oblong mounds)" adını vermiştir. Weed (1887), yine Mammoth bölgesinde sırt tipi travertenleri yüzeyde dalgalı çizgiler halindeki küçük tepelikler şeklinde tanımlamıştır. Ancak sırt tipi traverten, ilk kez Jones (1925) tarafından Bridgeport travertenlerini tanımlamak için yayımlanmış bir raporda

kullanılmıştır. Daha sonra Bargar (1978), Mammoth (ABD) travertenlerini; Chafetz ve Folk (1984), Tivoli (Roma) yakınlarındaki travertenleri; Altunel ve Hancock (1993a), Pamukkale travertenlerini sınıflandırmada “sırt tipi” terimini kullanmışlardır. Bütün traverten sırtları, uzun eksenleri boyunca uzanan merkezi bir çatlak içerirler. Sıcak sular, bu merkezi çatlak boyunca yüzeye yükselirler. Sırt tipi travertenlerde tabaka kalınlığı, birkaç santimetreden bir metreye kadar değişir.

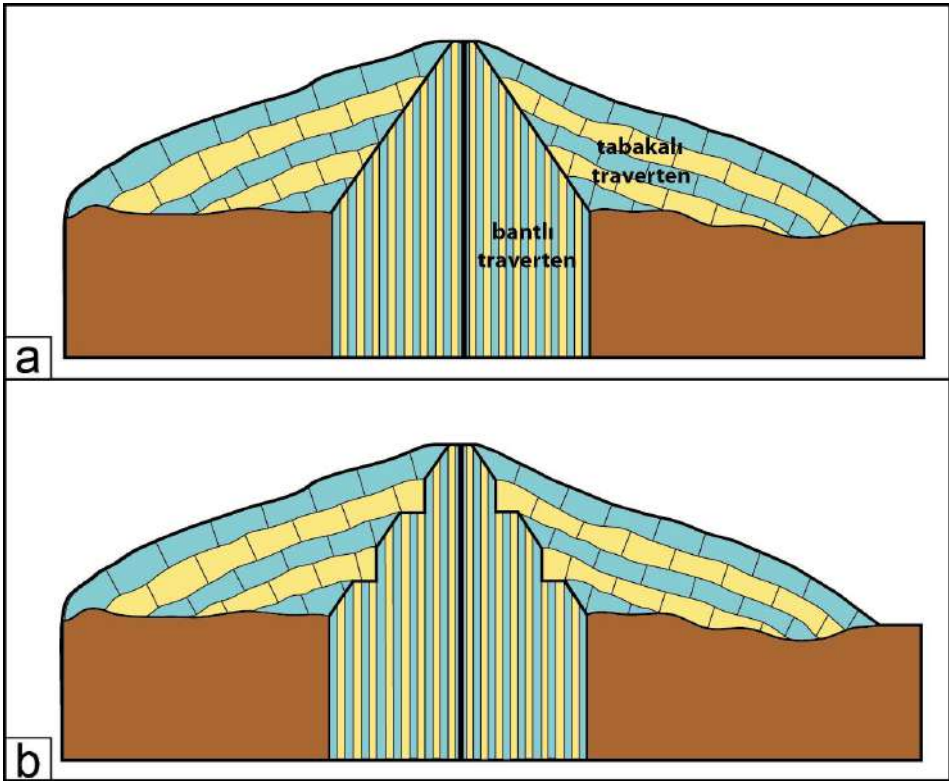
Sırt tipi travertenleri oluşturan tabakalı ve çatlak içlerindeki bantlı travertenlerin işletilmesi, traverten sırtlarının üç boyutlu geometrilerini ve içyapılarını incelemeye olanak sağlamaktadır. Altunel and Hancock (1996), Pamukkale travertenlerinde; Mesci (2004) ise Sıcak Çermik travertenlerindeki arazi gözlemlerinde, sırt tipi travertenlerin bantlı traverten kalınlığının derinlikle arttığını belirtmişlerdir. Mesci (2004), bunu sismik yansıma kesitleriyle de pekiştirmiştir. Yalçiner (2013), Pamukkale’deki sırt tipi travertenlerde yaptığı GPR çalışmasında bantlı traverten kalınlığının derinlikle arttığını göstermiştir. Çalışmacı aynı zamanda, GPR profillerinin 3D modellenmesine dayanarak sırt eksenini uzunluğunun derinde daha kısa olduğu ve yukarı doğru uzunluğunun arttığını belirtip bunu sırtın gelişimine bağlayarak traverten kütesinin maksimum kalınlığının, sırt oluşumunun ilk başladığı yerde yani en derinde olduğunu ifade eder.

Şekil 5’te görüldüğü gibi merkezi çatlak boyunca oluşmuş travertenlerin en önemli özelliği, derinliğe bağlı olarak traverten kalınlığının doğru orantılı veya kademeli olarak artmasıdır. Şekil 5 a’da açıkça görüldüğü gibi, sıcak suyun yukarıya yükselmesi sırasında merkezi çatlak içinde çökelen bantlı traverten, genellikle simetriktir. Şekil 5 b’de ise derinliğe bağlı olarak bantlı traverten kalınlığının basamaklı artışı, kademeli olarak açılmayı göstermektedir. Merkezi çatlakların kademeli olarak açıldığını destekleyen arazi gözlemleri şunlardır: 1) Bantlı travertenler genellikle düşey ve çatlak kenarlarına paralel olarak çökelmişlerdir. Ancak bu düşey bantlı travertenler içinde cep şeklindeki boşluklarda oluşmuş yatay traverten laminaları (sal tipi traverten) vardır. Bu yatay laminalar ile düşey bantlı travertenler aynı anda depolanmış olamazlar. Dolayısıyla düşey bantlı travertenler içindeki bu cepler, traverten oluşumu sırasında ani bir hareket sonucu (örneğin deprem gibi) oluşmuş açıklıklar olabilir. Yatay traverten laminaları da daha sonra bu açıklıklara sızan sular tarafından oluşturulmuştur. 2) Düşey bantlı travertenler içinde tabakalı travertenlere ait çakıllar mevcuttur. Bu traverten çakılları, bantlı traverten tarafından kabuk gibi sarılmıştır. Bu çakılların bantlı travertenler içinde bulunması; traverten oluşumu sırasında çatlağın ani olarak açılması sonucu

(yine deprem gibi) tabakalı travertenlerden koparılan parçaların çatlak içine düşmesi şeklinde açıklanabilir.

Sıcak suyun merkezi çatlak boyunca yükselmesi sırasında, çatlağın her iki yüzeyinde çökelen bantlı travertenlerin kalınlıkları, traverten sırtının aktif olarak kalma süresine bağlıdır. Bantlı travertenler, çatlak kenarından merkeze doğru geliştikleri için çatlak içindeki bantlı travertenin toplam kalınlığı ve yaşlarının bilinmesi halinde, toplam kalınlığın, kenar ve merkezden alınan örneklerin yaşları arasındaki farkla oranlamasından; çatlağın traverten oluşumu sırasındaki açılma oranı yaklaşık olarak elde edilebilir.

$$\text{açılma oranı} = \frac{\text{çatlaklardaki bantlı travertenin toplam kalınlığı}}{(\text{kenar} - \text{merkez}) \text{ den alınan örnek yaşı}}$$



Şekil 5. Çatlak eksenlerinde a-Orantılı açılma, b- Kademeli açılma

Pamukkale'de aktif olmayan bütün traverten sırtları, traverten oluşumu durduktan sonra bölgedeki açılmaya bağlı olarak uzun eksenleri boyunca açılmıştır. Bu açıklıkların bazıları, her ne kadar eski devirlerde bantlı

travertenlerin işletilmesinin bir sonucu ise de çatlaklardaki açıklıklar, genellikle tektonik hareketlere bağlı olarak gelişmiştir. Bantlı travertenlerin işletildiği yerlerde çatlak yüzeyi, genellikle düzgündür ve yüzeylerde işletim sırasında kullanılan aletlerin izleri mevcuttur. Bölgede 25-30 cm açıklığında, 25-30 m derinlikte çatlaklar mevcuttur. Bu açıklık ve derinlikte insanın çalışması mümkün değildir. Yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı Pamukkale'deki merkezi çatlaklarda görülen açıklıklar, traverten oluşumu durduktan sonra çatlakların açılmaya devam etmelerinin bir sonucudur. Toplam açıklık miktarının merkezden alınan örneğin yaşına oranı, traverten oluşumu durduktan sonraki çatlak açılma oranını verir. Ancak çatlaklar orantılı ve kademeli olarak açıldıkları için, açılmanın şekli belirlenmediği takdirde hesaplanan değer, ortalama açılma oranıdır. Pamukkale bölgesinde açılma çatlakları ortalama olarak 0.02 ila 0.1 mm/yıl hızında açılmaktadırlar (Altunel, 1996).

$$\text{trav. oluşumu durduktan sonraki çatlak açılma oranı} \\ = \frac{\text{toplam açıklık miktarı}}{\text{merkezden alınan örnek yaşı}}$$

Sırt tipi travertenlerdeki çatlak eksenlerinin gidişi, uzunluğu, genişliği gibi özellikleri, bölgeyi etkileyen tektonik rejim hakkında önemli bilgiler sunar. Ayrıca sırt tipi travertenlerde oluşan çatlaklar, genişleme rejiminin ürünleri olduğu için bu yapılar, bölgesel açılma yönlerine ve oranlarına ilişkin somut sonuçlar vermektedir. Bu yöntem daha önce Altunel ve Hancock (1993a, b), Altunel (1994, 1996) ve Çakır (1996) tarafından kullanılarak Pamukkale travertenleri için önemli sonuçlar elde edilmiştir. Bu araştırmacılar, travertenlere yaş vermede kullanılacak en uygun yöntemin, Uranyum-Toryum yöntemi olduğunu belirtmişlerdir (Mesci, 2004). Sivas çevresindeki travertenleri yaşlandırmada ise Mesci (2004, 2013b) ve Mesci vd. (2008) de aynı yöntemi kullanmışlardır.

Bantlı travertenler, tabakalı travertenlere ait kırıntılı malzemeler içerirler ve bunlar bantlı traverten tarafından kabuk şeklinde çevrelenmiştir. Aktif traverten sırtlarında çatlak içindeki bantlı travertenlerin yüzeydeki kalınlıkları birkaç santimetre iken, aktif olmayan traverten sırtlarında yüzeyde birkaç metreye varan kalınlıklarda bantlı travertenler mevcuttur. Bu bantlı travertenlerin kalınlıkları, traverten sırtından o noktada su çıkma süresine bağlıdır. Bantlı travertenlerin yüzeydeki kalınlıkları, sırt merkezine yakın yerlerde maksimum, merkezden uzun eksen boyunca uçlara doğru gidildikçe kalınlık azalmakta ve sırtın uçlarında bantlı traverten yok olmaktadır. Pamukkale bölgesindeki bütün traverten sırtlarının uzun eksenleri boyunca genişlikleri 5 m, derinlikleri 30 m'yi

bulan açıklıklar mevcuttur. Bu açıklıkların bazıları, her ne kadar çatlak içindeki bantlı travertenlerin süs taşı olarak işletilmesinin bir sonucu ise de bu çatlaklar, bölgedeki tektonik hareketlerin traverten depolanması durduktan sonrada devam etmesi sonucu açılmışlardır (Altunel, 1996).

KAYNAKLAR

- Altunel, E. and Hancock, P.L., 1993a. Morphology and Structural Setting of Quaternary Travertines at Pamukkale, Turkey. *Geological Journal*, 28, 335-346.
- Altunel, E., 1994. Active Tectonics and the Evolution of Quaternary travertines at Pamukkale, Western Turkey. PhD Thesis, University of Bristol, Department of Geology, 236 p.
- Altunel, E., 1996. Pamukkale Travertenlerinin Morfolojik Özellikleri, Yaşları ve Neotektonik Önemleri. *MTA Dergisi*, 118, 47-64.
- Atabey, E., 2003. Tufa ve traverten. TBMMO, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Yayın No: 75, Ankara, 106s.
- Ayaz, E., 2002a. Travertenlerde Gözlenen Morfolojik Yapılar ve Tabiat Varlığı Olarak Önemleri. *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Seri A-Yerbilimleri C.19, S.2, 123-134.
- Bates, R. L. and Jackson, J. A., 1980. *Glossary of Geology (Second Edition)*. American Geology Institute Falls Church, Virginia, 751.
- Chafetz, H. S. and Folk, R. L., 1984. Travertines, depositional morphology and the bacterially constructed constituents. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54, 289-316.
- Çakır, Z., 1996. Tectonic Significance of Quaternary Travertine Deposits in the Gediz and Menderes Grabens. Western Turkey. Yüksek Lisans Tezi, Bristol Üniversitesi, UK.
- Ford, T.D. and Pedley, M.H., 1992. Tufa deposits of the world: *J. Speleol. Soc. Japan*, 17, 46-63.
- Ford, T.D. and Pedley, M.H., 1996. A review of tufa and travertine deposits of the world. *Earth Sci. Review*, 41, 117-175.
- Guo, L., and Riding, R., 1998. Hot-springs travertine facies and sequences, Late Pleistocene, Rapolano Terme, Italy. *Sedimentology*, 45, 163-180.
- Hayden, F.V., 1872. United States Geological Survey of Montana and portions of adjacent territories. *Fifty Annual Report of Progress*.
- Heimann, A. and Sass, E., 1989. Travertines in the northern Hula Valley, Israel. *Sedimentology*, 36, 95-108.
- Jones, J.C., 1925. Travertine Company report (unpublished). Uni. Of Nevada, Reno. UNR Special Collection, 88-29.
- Julia, R., 1983. Travertines. In: P.A. Scholle, D.G. Bebout and C.H. Moore (Editors), *Carbonate depositional Environments*. Am Assoc. Petrol. Geol. Mem. 33, 64-72.

- Mesci, B.L., 2004. Sıcak Çermik ve Yakın Yöresindeki (Sivas) Travertenlerin Gelişimi ve Aktif Tektonikle İlişkisi. Doktora Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 245 s. (yayınlanmamış).
- Mesci, B.L., 2013b. Active Tectonics of the Ortaköy Fissure-Ridge-Type Travertines: Implications for the Quaternary Stress State of the Neotectonic Structures of the Central Anatolia, Turkey. *Geodinamica Acta*, 25, 12-25.
- Mesci, B.L., Gürsoy, H. and Tatar, O., 2008. The Evolution of Travertine Masses in the Sivas Area (Central Turkey) and Their Relationship to Active Tectonics. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, pp. 219-240.
- Muir-Wood, R., 1993. Neohydrotectonics. In: Neotectonics and active faulting (edited by Steward, I.S., Vita-Finzi, C. and Owen, L.A.) *Zeitschrift Geomorphologie Supplementary Volume*, 94, 275-284.
- Pedley, H.M. 1990. Classification and environmental models of cool freshwater tufas. *Sedimentary Geology*, 68, 143–154.
- Sibson, R.H., Moore, J.McM. and Rankin, A.H., 1975. Seismic pumping a hydrothermal fluid transport mechanism. *Jour. Geol. Soc. London*, 131, 653-659.
- Weed, W.H., 1887. Formation of travertine and siliceous sinter by the vegetation of hot springs. *U.S. Geol. Surv., Ninth Annual Report*.
- Wyatt, A. (ed.), 1986. *Challinor's Dictionary of Geology* (6th Edition). University of Wales Press, Cardiff, pp. 374.
- Yalçın, Ç., 2013, "Investigation of the Subsurface Geometry of Fissure-Ridge Travertine with GPR, Pamukkale, Western Turkey. *Journal of Geophysics and Engineering*, 10 (3), pp. 10.

21. Bölüm

Derin Öğrenme Modelleri Kullanılarak Zaman Serisi Tahmini

Taner UÇKAN¹

Cengiz HARK²

¹ Dr.Öğr.Üyesi,; Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, taneruckan@yyu.edu.tr, ORCID No: 0000-0001-5385-6775.

² Dr.Öğr.Üyesi,; İnönü Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, cengiz.hark@inonu.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-5190-3504.

ÖZ

GİRİŞ

En basit ifadeyle, zaman serisi tahmini, belirli bir zaman diliminde veya gelecekte belirli bir noktada bulunan değerleri tahmin etmek için geçmiş ve güncel verileri kullanan yöntemlerdir. Zaman serisi tahmini ile geçmişten elde edilen gerçek veriler analiz ederek, yapılacak çalışmaya rehberlik edebilecek ve gelecekteki eğilimleri anlamamıza yardımcı olabilecek bilinçli kararlar vermek mümkün olmaktadır. Zaman serisi tahmini, stratejik karar verme sürecini daha tutarlı hale getirmek için istatistik ve farklı matematiksel modellemeler kullanarak zaman serisi verilerini analiz etme sürecidir. Çoğu zaman kesin bir tahmin söz konusu değildir. Tahminlerin olasılığı, özellikle zaman serisi verilerindeki yaygın olarak sürekli değişen verilerin yanı sıra kontrol dışındaki faktörlerle uğraşırken olağan üstü bir şekilde farklılık gösterebilir. Aynı zamanda hangi sonuçların ortaya çıkma olasılığının diğer olası sonuçlara göre daha yüksek veya daha düşük kullanılan verilerin ne kadar kapsamlı olduğuyla ilgili olduğu görülmektedir. Bir başka deyişle kullanılan geçmiş ve güncel verilerin kapsamının genişliği ileriye yönelik yapılacak tahminleri üzerinde oldukça etkili olmaktadır. Zaman serisi tahminleri tarihsel olarak ele alındığında iklim modellemeleri, biyoloji alanındaki çalışmalar, perakende alanındaki ticari karar verme mekanizmalarında ve Finans uygulamaları gibi birçok alanda kullanılmıştır. Çoğu zaman serisi çalışmasında geleneksel yöntemler olan AR, SARIMA ve Makine öğrenmesi yöntemleri kullanılmıştır. Son yıllarda ise zaman serisi tahminleme çalışmalarında yapay sinir ağlarına olan ilgi oldukça artmıştır. Bu çalışma kapsamında Derin Sinir Ağı modellerinden olan MLP, CNN ve LSTM modelleri kullanılarak zaman serisi tahmin uygulaması yapılacaktır. Çalışma kapsamında zaman serisi verisi olarak hem güncel verilere kolaylıkla ulaşabilmek hem de finans alanında önem teşkil etmesinden dolayı borsa verileri kullanılacaktır.

1-Zaman Serisi Tahmini

Zaman serisi tahmini tarihsel verileri analiz ederek gelecekteki olay veya olayların tahmin edilmesi olarak tanımlanmaktadır. İşletme ,endüstri, ekonomi ve finans gibi bir çok alanda geçmişe dayalı veriler ile zaman serisi tahmini yapılmaktadır (Selvin, Vinayakumar, Gopalakrishnan, Menon, & Soman, 2017). Zaman serisi tahmini oldukça zor bir çalışma alanı olarak bilinmektedir. Sınıflandırma veya regrasyon gibi daha basit problemlerden farklı olarak zaman serisi uygulamalarında geçmiş veriler arasındaki düzenin ve zamansal bağlılığının karmaşıklığını eklemektedir(Jason, 2018). Zaman serisi modelleme, tarihsel olarak, doğa olaylarını modellenmesi (Mudelsee, 2019), biyoloji bilimlerinde kullanımı (Stoffer & Ombao, 2012), tıp bilimi alanında kullanımı

(Topol, 2019) gibi konulardaki uygulamaların ayrılmaz bir parçasını oluşturmaktadır. Aynı zamanda perakende sektöründe karar verme (Böse et al., 2017) ile borsa ve hisse senedi gibi finans alanında gelecekteki fiyatların öngörülebilmesi için (Masini, Medeiros, & Mendes, 2023) bir çok çalışma yapılmış ve halen yapılmaktadır. Zaman serisi tahmini yapılırken birçok farklı yöntem ve model sunulmuştur. İlk olarak istatistiksel hesaplamalar kullanılarak tahminleme yapılmak amacıyla ARIMA ve SARIMA gibi yöntemlerden faydalanılmıştır (Ahmadpour, Hassan, & Mehdi, 2023). Makine öğrenimini kullanan çalışmaların genellikle iki ana aşaması bulunmaktadır. İlki, tahmin için ilgili değişkenlerin ve modellerin seçimini ele alarak verilerin bir kısmını modellerin eğitimi ve doğrulanması için ayırır ve böylece onları optimize eder. İkinci aşama ise optimize edilmiş modelleri test için amaçlanan verilere uygulanmakta, böylece tahmine dayalı performans ölçülmektedir. Literatürde kullanılan temel teknikler yapay sinir ağları (YSA), destek vektör makineleri (SVM'ler) ve rastgele ormanlar (RF'ler) modellerini kullanmaktadır (Henrique, Sobreiro, & Kimura, 2019). Bu çalışma kapsamında uygulamalı olarak bir zaman serisi verisinin denetimli zaman serisi verisine dönüştürülmesi, derin öğrenme modellerinden MLP, CNN ve LSTM ile bir zaman serisi uygulamasının nasıl geliştirileceği ayrıntılı olarak uygulamalı olarak açıklanacaktır. Modellemeler ve uygulamalar yapılırken veriseti olarak borsa verileri kullanılacak ve gösterilecek kodlamalar Python programlama dili kullanılarak gerçekleştirilecektir.

2- Zaman Serisi Probleminin Denetimli Öğrenme Problemine Dönüştürülmesi

Zaman serisi problemlerinde kullanılacak veriler öncelikle bir dönüşümden geçirilmesi gerekmektedir. Bir veri seti üzerinde makine öğrenmesi tekniklerini kullanarak tahminleme yapabilmek için öncelik denetimli makine öğrenmesi formatına dönüştürülmesi gerekmektedir. Pratik makine öğrenim yöntemlerinin çoğu, denetimli öğrenime yapısını kullanmaktadır. Denetimli öğrenme, girdi değişkenlerine (X) ve bir çıktı değişkenine (y) sahip olunan ve girdiden çıktıya eşleme işlevini öğrenmek için bir algoritma kullanılan yapıdır.

$$Y = f(X)$$

Buradaki temel amaç herhangi bir zamanda verilen yeni bir girdi verisine karşılık yeni bir tahminde bulunmaktadır. Fakat tahminleme işlemi yapılmadan önce sistemin öncesinde bir eğitimden geçirilmesi ve öğrendiği bilgilere göre tahminleme yapması gerekmektedir. İşte bu noktada ilk olarak kullanılacak

verilerin bir denetimli makine öğrenmesi modeline dönüştürülmesi gerekmektedir.

$$X = [15,20,25,30,35,40]$$

$$Y = [1,3,5,7,9,11]$$

Kullanılacak veri setinde Yukarıda belirtildiği gibi her bir veri girişine karşılık bir sonuç değerinin bulunması gerekmektedir. Verilerin uygun formata dönüştürmek için kaydırma yöntemi kullanılmaktadır. Bir başka deyişle, elde buluna ve sadece tekdüze halinde olan verileri girdi ve çıktı haline dönüştürmek için belirli bir aralık baz alınarak kaydırma işlemi yapılarak uygun dönüşüm yapılması mümkündür.

Örnek veri seti: $X = [15,20,25,30,35,40]$

X	Y
?	20
20	25
25	30
30	35
35	40
40	?

Yukarıda gösterildiği gibi veri seti sadece bir zamanlık kaydırma ile bir sonraki değeri bir önceki değerin sonuç değeri olarak atanmıştır. Böylelikle veri seti denetimli makine öğrenmesi yöntemlerinde kullanıma uygun hale getirilmiştir. Verilen örnekte görüldüğü üzere ilk gözlemin öncesinde herhangi bir değer olmadığı için boş görünmekte buda düzensiz veri anlamına gelmektedir. Bu tip durumlarda değer atanamayan bölümler veri setinden çıkarılarak daha tutarlı veriler ile çalışılmaktadır. Ayrıca bir veya birden fazla adım kaydırma yöntemi kullanılarak ta veri seti dönüşümünü yapmak mümkündür. Belirtilen bu işlemlerin uygulamalı Python kodu ayrıntılı olarak Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1: Veri seti dönüşüm kodları

```

def Veriseti_Donusumu(veri_dizisi,kaydirma_adim_sayisi):
    X, y = list(), list()
    for i in range(len(veri_dizisi)):
        son_adim = i + kaydirma_adim_sayisi # verilen dizinin en son adımı
        bulunur
        if son_adim+1 > len(veri_dizisi): break # Dizi Boyutunu aşıp
        aşmadığı kontrol edilir
        giris_degerleri, cikis_degerleri= veri_dizisi[i:son_adim],
        veri_dizisi[son_adim]
        # Giriş ve çıkış değerlerinin ayıklanma işlemi yapılır
        X.append(giris_degerleri)
        y.append(cikis_degerleri)
    return array(X), array(y)

```

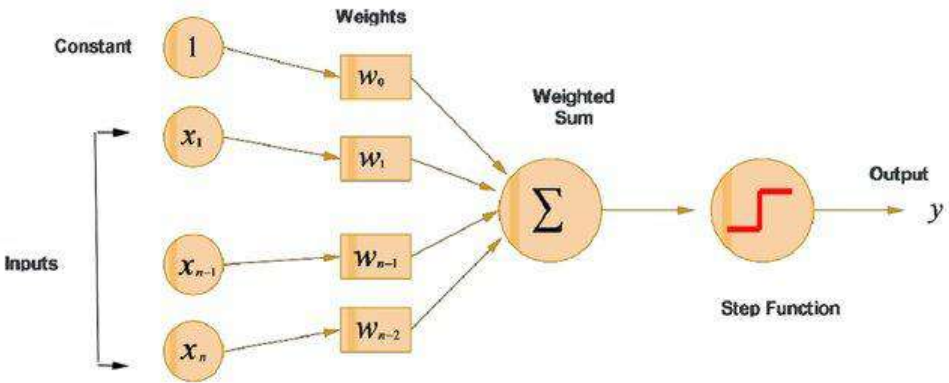
Bu çalışma kapsamında derin sinir ağlarını modellerken keras kütüphanesi kullanılmaktadır. Keras, Python'da yazılmış, Theano, TensorFlow veya CNTK üzerinde çalışacak kadar yetenekli, açık kaynaklı, üst düzey bir Neural Network kitaplığıdır. Google tarafından geliştirilmiştir. Derin sinir ağları ile daha hızlı çalışmalar yapıp test edebilmeyi kolaylaştırmak için kullanıcı dostu, genişletilebilir ve modüler hale getirilmiştir. Yalnızca Evrişimli Ağları ve Tekrarlayan Ağları ayrı ayrı değil, aynı zamanda bunların kombinasyonunu da destekler(javatpoint.com, n.d.).

3-Zaman Serileri Tahmini için Çok Katmanlı Algılayıcılar

Zaman serisi tahminleri için en popüler topolojilerden biri ,nöron modelini temel alan ileri beslemeli bir mimari kullanan çok katmanlı Algılayıcılardır(MLP)(Borghì, Zakordonets, & Teixeira, 2021). Çok Katmanlı algılayıcı gibi basit sinir ağları, girdi değişkenlerinden çıktı değişkenlerine yaklaşık olarak bir eşleme işlevi görür. Bu genel yetenek, birkaç nedenden dolayı zaman serileri için değerlidir(Jason, 2018).

MLP (Multilayer Perception- Çok katmanlı algılayıcılar): Şekil 1'de görüldüğü gibi bir MLP, derin öğrenme modelleri için en basit ve en geleneksel mimariyi oluşturur(Ismail Fawaz, Forestier, Weber, Idoumghar, & Muller, 2019). MLP, bitişik katmanlar arasında yoğun bir şekilde bağlı nöronlardan oluşan bir ağdan oluşur. İleri Beslemeli Sinir Ağlarının özelliklerinden biri, bir katmanın çıktısının asla önceki katmanlara geri beslenmemesidir. Her nörona giden girdi, sinir ağının bir önceki katmanından gelen tüm çıktıların ağırlıklı toplamıdır. Bu

girdinin çıktıya dönüştürülmesi, sürekli ve türevlenebilir bir aktivasyon fonksiyonu tarafından gerçekleştirilir. Bir geçişin çıktısı, sinyaller girdiden çıktı katmanına yayıldıktan sonra üretilir. Geçiş için hata hesaplanır, regresyon için bu genellikle kök ortalama karesel hata veya ortalama karesel hatadır. Genellikle bir tür gradyan iniş algoritması olan öğrenme algoritması, hatayı azaltmak için gerekli olan nöronların ağırlıklarını ayarlar. Veriler, önceden ayarlanmış dönem sayısına ulaşılan kadar hataları azaltmak için ağırlıkları ayarlamak üzere modele birkaç kez geçirilir(Khare, Darekar, Gupta, & Attar, 2017).



Şekil 1: Çok katmanlı algılayıcının (MLP) şematik algoritması(Zahid, Chen, Jamal, & Memon, 2020)

Tek değişkenli zaman serilerinin MLP ile modellenebilmesi için öncelikle bir veri hazırlık işleminden geçirilmesi gerekmektedir. MLP 'nin çalışabilmesi için çoklu örneklem dizileri oluşturulduktan sonra birer dizi halinde giriş olarak sinir ağına verilmesi gerekmektedir. Böylelikle sinir ağı önceki verileri öğrenerek çıktı değerini tahmin etmektedir.

$$X = [20,25,30,35,40,45,50,55,60]$$

X	Y
?	
20 25 30	35
25 30 35	40
30 35 40	45
35 40 45	50
40 45 50	55
45 50 55	60

Zaman serisini yukarıdaki formatta sunmak için Tablo 1 de verilen kod parçacığında bulunan `kaydirma_adim_sayisi` değişkenine 3 değeri verilerek oluşturmak mümkündür. Buradaki serinin uzunluğunu belirlemek tamamen yapılan zaman serisindeki veri ve oluşturulan modele bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Kullanılacak veri setinin uygun formata dönüşümünden sora basit MLP modeli oluşturularak tahminleme işlemi yapmak mümkün olmaktadır. Basit bir MLP modeli bir giriş katmanı, nöronlardan oluşan tek bir gizli katman ve çıktı katmanından oluşmaktadır. Örnek bir modelin kodları tablo 2 de verilmektedir.

Tablo 2: Basit bir MLP modeli oluşturma kodları

```
def mlp_model_olusur():
    simple_mlp_model = Sequential()
    simple_mlp_model.add(Dense(50,activation='relu',
    input_dim=giris_dizesi_boyutu))
    simple_mlp_model.add(Dense(1))
    simple_mlp_model.compile(optimizer='adam',loss='mse')
    return simple_mlp_model
```

Tablo 2’de görüldüğü üzere basit bir MLP modeli oluşturulmuştur. Modelde dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri `input_dim` parametresine verilen `giris_dizesi_degiskenidir`. Bu değişken ile zaman serimizin her bir giriş dizisinin boyunun ne olduğunu belirtmiş oluyoruz (tabloda 3 olarak belirtilmiştir). Ayrıca aktivasyon fonksiyonu olarak `relu` ve hata değerlerinin optimizasyonu için `adam` fonksiyonu kullanılmıştır. Literatürde aktivasyon ve hata optimizasyon fonksiyonu olarak birçok farklı fonksiyon bulunmaktadır. Belirlenen MLP modeli oluşturulduktan sonra uygun modelin eğitilme sürecinden geçirilmesi gerekmektedir. Bu aşamada veri setinin eğitim için ayrılan bölümün giriş değerleri ve bu giriş değerlerine karşılık gelen çıkış değerleri verilerek belirli bir tekrar sayısı kadar sistemin eğitilmesi sağlanmaktadır. Eğitim aşaması ve test için kullanılan kodlar aşağıdaki kod bloğunda ayrıntılı olarak belirtilmiştir.

Modelin eğitilmesi

```
simple_mlp_model.fit(X,y,epochs=100,verbose=0)
```

Tanımlanan modelin eğitimi yapıldıktan sonra test için ayrılan veriler ile sistem test edilmektedir. Test için ayrılan veriler modele giriş olarak verilmeden önce verilerin yeniden şekillendirilmesi gerekmektedir. Çünkü MLP almış olduğu verilerde örneklem sayısı ve her bir örnekte bulunan özellik sayısının

belirtilmesini beklemektedir. Bu nedenden dolayı verileri modele sunmadan yeniden şekillendirmemiz gerekmektedir.

Modelin Test Edilmesi

```
test_verisi=[50,55,60]
```

```
test_verisi= test_verisi.reshape((1, giris_dizesi_boyutu))
```

```
tahmin_degeri= simple_mlp_model.predict(test_verisi,verbose=0)
```

MLP örnek Uygulama

```
def Veriseti_Donusumu(veri_dizisi,kaydirma_adim_sayisi):
```

```
    X, y = list(), list()
```

```
    for i in range(len(veri_dizisi)):
```

```
        son_adim = i + kaydirma_adim_
```

```
        if son_adim+1 > len(veri_dizisi):
```

```
            giris_degerleri,cikis_degerleri=veri_dizisi[i:son_adim],
```

```
            veri_dizisi[son_adim]
```

```
            X.append(giris_degerleri)
```

```
            y.append(cikis_degerleri)
```

```
    return array(X), array(y)
```

```
veri_dizisi =[20,25,30,35,40,45,50,55,60]
```

```
kaydirma_adim_sayisi =2
```

```
X,y= Veriseti_Donusumu(veri_dizisi,kaydirma_adim_sayisi)
```

```
simple_mlp_model =Sequential()
```

```
simple_mlp_model.add(Dense(50,activation='relu',input_dim=giris_dizesi_boyutu))
```

```
simple_mlp_model.add(Dense(1))
```

```
simple_mlp_model.compile(optimizer='adam',loss='mse')
```

```
simple_mlp_model.fit(X,y,epochs=100,verbose=0)
```

```
test_verisi=[50,55,60]
```

```
test_verisi= test_verisi.reshape((1, giris_dizesi_boyutu))
```

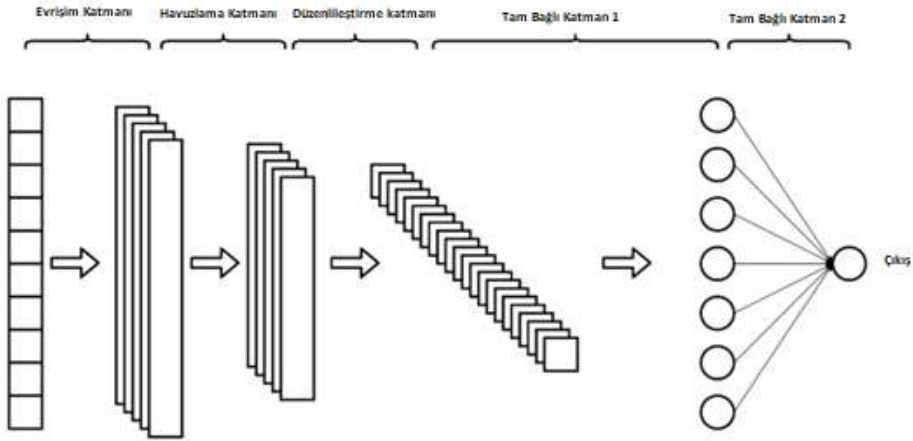
```
tahmin_degeri= simple_mlp_model.predict(test_verisi,verbose=0)
```

4-Zaman Serileri Tahmini için Evrişimsel Sinir Ağları

Evrişimli sinir ağları genel olarak görüntü işleme problemlerinde kullanılsa da yapılan bir çok çalışmada zaman serisi problemlerinde de iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir(Kaushik et al., 2020; Khare et al., 2017; Kim & Jang, 2023; Livieris, Pintelas, & Pintelas, 2020; Selvin et al., 2017; Vidal & Kristjanpoller, 2020). Bu modelin en önemli avantajlarından biri olarak özellik çıkarım aşamasındaki yüksek performansı gösterilebilir.

Evrişimsel Sinir Ağları (CNN):

Çeşitli bilgisayarlı görme görevlerinde baskın hale gelen bir yapay sinir ağları sınıfı olan evrişimli sinir ağı (CNN), radyoloji de dahil olmak üzere çeşitli alanlarda ilgi çekmektedir. CNN, evrişim katmanları, havuzlama katmanları ve tam bağlantılı katmanlar gibi çoklu yapı tasarımını kullanarak geri yayılım yoluyla özelliklerin uzamsal hiyerarşilerini otomatik ve uyarlanabilir bir şekilde öğrenmek için tasarlanmıştır.



Şekil 2: CNN Modeli

Klasik bir sinir ağı, giriş katmanları ile başlayan gizli katman veya katmanlar ile devam eden çıkış katmanı ile sonlanan bir yapıya sahiptirler. CNN yapıları beyin mimarisini örnek alarak tasarlanmıştır. İnsan beyinde bulunan nöronların bütün vücuttaki sinyalleri alıp işlemesi gibi CNN ler de yapay olarak oluşturulan sinyal alıcıları yani düğümler ile verileri alır ve işleyerek elde ettiği sonucu çıktı olarak verir. Aslında, bir CNN'nin nöronları, görsel uyarıyı işlemekten sorumlu alan olan beyin ön lobu gibi düzenlenmiştir. Bu düzenleme, görsel alanın tamamının kapsanmasını sağlar ve böylece, görüntüleri azaltılmış çözünürlüklü parçalar halinde beslemesi gereken geleneksel sinir ağlarının parça

parça görüntü işleme probleminden kaçınır. Daha eski ağlarla karşılaştırıldığında bir CNN, görüntü girişlerinde ve ayrıca konuşma veya ses sinyali girişlerinde daha iyi performans sunar. Konvolüsyonel sinir ağları, görüntü, konuşma veya ses sinyali girişlerindeki üstün performansları ile diğer sinir ağlarından ayrılır. Üç ana katman türü vardır, bunlar:

- Evrişimli katman
- Havuzlama katmanı
- Tam bağlantılı katman

Evrişim katmanı, evrişim ağının ilk katmanıdır. Evrişimli katmanları ek evrişimli katmanlar veya havuzlama katmanları takip edebilirken, tam bağlantılı katman son katmandır. Her katmanda, CNN, görüntünün daha büyük bölümlerini tanımlayarak karmaşıklığını artırır. Önceki katmanlar, renkler ve kenarlar gibi basit özelliklere odaklanır. Görüntü verileri CNN'nin katmanları boyunca ilerledikçe, amaçlanan nesneyi tanımlayana kadar nesnenin daha büyük öğelerini veya şekillerini tanımaya başlar. Bir zaman serisi probleminde CNN yapılarından faydalanmak mümkündür. Fakat tıpkı MLP modelinde olduğu gibi CNN ile tahminleme yapmadan önce veriler üzerinde bir ön işlem yapılması gerekmektedir. MLP yapılarında verilerin bir dize haline getirilmesi ve verilerin modele iki boyutlu bir yapı halinde verilmesi gerekmektedir. CNN modelinde ise iki boyutlu hale dönüştürülen verilerin 3 boyutlu bir giriş verisi halinde temsil edecek hale getirilmesi gerekmektedir. MLP bölümünde hatırlanacağı gibi veriler [veri_dizileri, Özellikler] olarak iki boyutlu formata dönüştürülmekteydi. CNN yapılarında ise bu yapılar [Veri_dizileri, Zaman_adı, özellikler] olarak 3 boyutlu hale dönüştürülmelidir. Bu çalışma kapsamında tek değişkenli zaman analizi üzerinde çalışılmaktadır. Bu nedenle özellik sayısı doğrudan bir olarak belirtilebilir. Çok değişkenli zaman serisi üzerinde çalışıldığı zaman özellik sayısı kullanılan değişken sayısı verilerek girişler yeniden şekillendirilmelidir.

Aşağıdaki tabloda örnek bir CN tasarımı verilmektedir.

Basit bir CNN modeli oluşturma kodları

```
def cnn_model_olusur():  
  
    simple_cnn_model = Sequential()  
  
    simple_cnn_model.add(Conv1D(filters=128, kernel_size=3, activation='relu', input_shape=(  
        giris_dizesi_boyutu,ozellik_sayisi)))  
  
    simple_cnn_model.add(MaxPooling1D(pool_size=4))  
  
    simple_cnn_model.add(Flatten())  
  
    simple_cnn_model.add(Dense(100, activation='relu'))  
  
    simple_cnn_model.add(Dense(1))  
  
        simple_cnn_model.compile(optimizer='adam', loss='mse')  
    return simple_cnn_model
```

Tabloda da görüldüğü üzere modeli oluştururken öncelik evrişim katmanında 128 adet filtreden bulunan bir katman oluşturulmuştur. Ardından havuzlama katmanı kullanılarak elde edilen özelliklerin daha küçük boyutla temsili sağlanmaktadır. Yapay sinir ağları verileri bir değerler dizi halinde kabul etmektedir. Bu nedenden dolayı verileri tam bağlı sinir ağına iletmeden önce bir dizi haline getirmek için düzleştirme (Flatten) işlemine tabi tutmak gerekmektedir. Son olarak dizi haline getirilen özellik serilerimiz model den de görüldüğü üzere 100 adet nöron dan oluşan tam bağlı bir yapay sinir ağına verilerek eğitim işlemi tamamlanmaktadır.

Eğitim işleminin yapılacağı CNN modeli tamamlandıktan sonra aşağıda ki gibi eğitim için ayrılan verilerimi yeniden şekillendirip eğitimin yapılması gerekmektedir.

```
Ozellik_sayisi = 1  
X = X.reshape((X.shape[0], X.shape[1], Ozellik_sayisi))  
model.fit(X, y, epochs=25, verbose=0)
```

Eğitim aşamasından sonra yine benzer şekilde test için ayrılan verilerin 3 boyutlu bir şekilde düzenlenmesi gerekmekte ve ardından test işlemi aşağıdaki gibi yapılması gerekmektedir.

```
test_verisi=[50,55,60]  
  
test_verisi= test_verisi.reshape((1, giris_dizesi_boyutu, Ozellik_sayisi = 1))  
tahmin_degeri= simple_cnn_model.predict(test_verisi,verbose=0)
```

Not: MLP ve CNN kullanılarak tahminleme yapılırken verbose parametresi dikkat çekmektedir. Verbose parametresi tahmin yapma veya eğitim aşamasına etki eden bir parametre değildir. Sadece yapılan tahminleme veya eğitim aşamalarının kullanıcıya adım adım gösterilmemesinin belirlendiği bir parametredir.

CNN Örnek uygulama:

```
def Veriseti_Donusumu(veri_dizisi,kaydirma_adim_sayisi):
```

```
    X, y = list(), list()
```

```
    for i in range(len(veri_dizisi)):
```

```
        son_adim = i + kaydirma_adim_
```

```
        if son_adim+1 > len(veri_dizisi):
```

```
            giris_degerleri,cikis_degerleri=veri_dizisi[i:son_adim],
```

```
veri_dizisi[son_adim]
```

```
            X.append(giris_degerleri)
```

```
            y.append(cikis_degerleri)
```

```
    return array(X), array(y)
```

```
veri_dizisi =[20,25,30,35,40,45,50,55,60]
```

```
kaydirma_adim_sayisi =2
```

```
X,y= Veriseti_Donusumu(veri_dizisi,kaydirma_adim_sayisi)
```

```
simple_cnn_model = Sequential()
```

```
simple_cnn_model.add(Conv1D(filters=128, kernel_size=3, activation='relu',  
input_shape=( giris_dizesi_boyutu,özellik_sayısı)))
```

```
simple_cnn_model.add(MaxPooling1D(pool_size=4))
```

```
simple_cnn_model.add(Flatten())
```

```
simple_cnn_model.add(Dense(100, activation='relu'))
```

```
simple_cnn_model.add(Dense(1))
```

```
simple_cnn_model.compile(optimizer='adam', loss='mse')
```

```
Ozellik_sayisi = 1
```

```
X = X.reshape((X.shape[0], X.shape[1], Ozellik_sayisi))
```

```
model.fit(X, y, epochs=25, verbose=0))
```

```
test_verisi=[50,55,60]
```

```
test_verisi= test_verisi.reshape((1, giris_dizesi_boyutu, Ozellik_sayisi ))
```

```
tahmin_degeri= simple_cnn_model.predict(test_verisi,verbose=0)
```

5-Sonuç

Zaman serileri ile tahminleme; biyoloji, istatistik, kimya ve finans gibi birçok alanda aktif olarak kullanılan bir çalışma alanıdır. Zaman serilerinde geçmişe dayalı veriler kullanılarak geleceğe ait belirli noktalar için ön görüş sağlama amacı ile tahminleme uygulamaları geliştirilmiştir. Günümüzde Makine öğrenmesi ve özellikle derin sinir ağlarının oldukça popüler olması ile zaman serileri problemlerinde de sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Derin sinir ağları ile yapılan tahminleme çalışmalarında oldukça başarılı sonuçların elde edildiği çalışmalarda raporlanmıştır(Kaushik et al., 2020; Li & Yang, 2022; Mudelsee, 2019; Selvin et al., 2017). Bu çalışma kapsamında derin öğrenme modellerinden olan çok katmanlı algılayıcılar (MLP) ve Evrimsel Sinir ağlarının (CNN) 'nin bir zaman serisi probleminde nasıl kullanılacağı üzerine çalışma yapılmıştır. Çalışmada belirtilen yapılar kullanılarak diğer derin sinir ağları olan LSTM, BiLSTM, ConvLSTM gibi sinir ağları da bir zaman serisi problemine kolaylıkla uyarlanarak kullanılması mümkündür.

Kaynaklar

- Ahmadpour, A., Hassan, S., & Mehdi, M. (2023). Comparative evaluation of classical and SARIMA - BL time series hybrid models in predicting monthly qualitative parameters of Maroon river. *Applied Water Science*, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s13201-023-01876-8>
- Borghi, P. H., Zakordonets, O., & Teixeira, J. P. (2021). A COVID-19 time series forecasting model based on MLP ANN. *Procedia Computer Science*, 181(2019), 940–947. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.250>
- Böse, J. H., Flunkert, V., Gasthaus, J., Januschowski, T., Lange, D., Salinas, D., ... Wang, Y. (2017). Probabilistic demand forecasting at scale. *Proceedings of the VLDB Endowment*, 10(12), 1694–1705. <https://doi.org/10.14778/3137765.3137775>
- Henrique, B. M., Sobreiro, V. A., & Kimura, H. (2019). Literature review: Machine learning techniques applied to financial market prediction. *Expert Systems with Applications*, 124, 226–251. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.01.012>
- Ismail Fawaz, H., Forestier, G., Weber, J., Idoumghar, L., & Muller, P. A. (2019). Deep learning for time series classification: a review. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 33(4), 917–963. <https://doi.org/10.1007/s10618-019-00619-1>
- Jason, B. (2018). Predict the Future with MLPs, CNNs and LSTMs in Python. *ML*, 1(1), 1–50. javatpoint.com. (n.d.). Keras Tutorial.
- Kaushik, S., Choudhury, A., Sheron, P. K., Dasgupta, N., Natarajan, S., Pickett, L. A., & Dutt, V. (2020). AI in Healthcare: Time-Series Forecasting Using Statistical, Neural, and Ensemble Architectures. *Frontiers in Big Data*, 3(March). <https://doi.org/10.3389/fdata.2020.00004>
- Khare, K., Darekar, O., Gupta, P., & Attar, V. Z. (2017). Short term stock price prediction using deep learning. *RTEICT 2017 - 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information and Communication Technology, Proceedings, 2018-Janua*, 482–486. <https://doi.org/10.1109/RTEICT.2017.8256643>
- Kim, G. Il, & Jang, B. (2023). Petroleum Price Prediction with CNN-LSTM and CNN-GRU Using Skip-Connection. *Mathematics*, 11(3), 547. <https://doi.org/10.3390/math11030547>
- Li, G., & Yang, N. (2022). A Hybrid SARIMA-LSTM Model for Air Temperature Forecasting. *Advanced Theory and Simulations*. <https://doi.org/10.1002/adts.202200502>
- Livieris, I. E., Pintelas, E., & Pintelas, P. (2020). A CNN–LSTM model for gold

- price time-series forecasting. *Neural Computing and Applications*, 32(23), 17351–17360. <https://doi.org/10.1007/s00521-020-04867-x>
- Masini, R. P., Medeiros, M. C., & Mendes, E. F. (2023). Machine learning advances for time series forecasting. *Journal of Economic Surveys*, 37(1), 76–111. <https://doi.org/10.1111/joes.12429>
- Mudelsee, M. (2019). Trend analysis of climate time series: A review of methods. *Earth-Science Reviews*, 190(December 2018), 310–322. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.12.005>
- Selvin, S., Vinayakumar, R., Gopalakrishnan, E. A., Menon, V. K., & Soman, K. P. (2017). Stock price prediction using LSTM, RNN and CNN-sliding window model. *2017 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics, ICACCI 2017, 2017-Janua*, 1643–1647. <https://doi.org/10.1109/ICACCI.2017.8126078>
- Stoffer, D. S., & Ombao, H. (2012). Editorial: Special issue on time series analysis in the biological sciences. *Journal of Time Series Analysis*, 33(5), 701–703. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9892.2012.00805.x>
- Topol, E. J. (2019). High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, 25(1), 44–56. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7>
- Vidal, A., & Kristjanpoller, W. (2020). Gold volatility prediction using a CNN-LSTM approach. *Expert Systems with Applications*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113481>
- Zahid, M., Chen, Y., Jamal, A., & Memon, M. Q. (2020). Short term traffic state prediction via hyperparameter optimization based classifiers. *Sensors (Switzerland)*, 20(3). <https://doi.org/10.3390/s20030685>

22. Bölüm

Yapı Denetim Sisteminde Meydana Gelen İyileşmeler

Murat ÇEVİKBAŞ¹

Ozan OKUDAN²

Zeynep IŞIK³

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, muratcevikbas@isparta.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-8421-6591

² Arş. Gör.; Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü. okudan@yildiz.edu.tr, ORCID No: 0000-0001-7816-2761.

³ Doç. Dr.; Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, zeynep@yildiz.edu.tr.

Özet

Bu bölümde, ülkemizde uygulanan yapı denetim sistemi (YDS) detaylı bir biçimde incelenmiştir. Buna göre, YDS’de karşılaşılan problemler ilk olarak irdelenmiş ve devamında diğer ülkelerde uygulanan sistemler araştırılmıştır. Devamında ise, ülkemizde uygulanan YDS’nin tarihsel süreçte gelişimi ve üzerinde yapılan değişiklikler irdelenmiştir. Son kısımda ise, YDS’de son yapılan değişikliklerin pratikte karşılaşılan hangi sorunları çözdüğü ve hangi sorunların halen devam ettiği ele alınmıştır.

GİRİŞ

Topraklarının %93'ü deprem bölgesinde olan Türkiye'de deprem büyük bir tehlike oluşturmaktadır. Hayati önem arz eden deprem felaketleri sonucunda ülkemizde sayısız insan maddi ve manevi birçok zarara uğramıştır. Son büyük depremlerden biri olan Gölçük Depreminde 18.373 sayıda insanımız hayatını kaybetmiş ve birçok insanımız yaralandığı kayıtlarda belirtilmiştir (AFAD, 2018). 1999 yılında yaşanan Marmara Depreminden sonra yapılan incelemeler sonrasında, yapılarda meydana gelen hasarların başlıca nedenleri olarak; projelendirmede yapılan hatalar ve denetimi yapan kuruluşların etkili bir denetim yapmaması gibi faktörlerin sebep olduğunu belirtilmiştir ve insanlarımızı depremlerin değil, denetimsiz yapıların öldürdüğünü görülmüştür (Sakallı, 2008). 6 Şubat 2023 tarihli Kahramanmaraş merkezli 7.7 büyüklüğündeki depremde yaklaşık 50 bin vatandaşımız hayatını kaybetmiş ve 110 bin vatandaşımız da yaralanmıştır. Bu bilgiler ışığında, bu çalışmada çalışmada yapı denetim sisteminde (YDS) süreç içinde meydana gelen önemli iyileştirmelerin tespiti yapılacaktır.

YAPI DENETİM SİSTEMİNDE TESPİT EDİLEN BAŞLICA PROBLEMLER

Deprem felaketlerinin asıl nedeni olarak gösterilen yapı denetim sistemindeki eksikliklere dair birçok çalışma yapılmıştır. Yapılmış çalışmalarda YDS'ne ait önem derecesi yüksek problemlerin özeti aşağıda Tablo. 1'de verilmiştir.

Problem Numarası	Yapı Denetim ile İlgili Sorunlar	Erdiş ve Gerek (2011)				
		Adana ve Hatay	Ankara	DOĞAN (2013)	Kural ve Ünal (2015)	Pala ve Demir (2017)
1	Personele verilen ücretlerde yetersizlikler		x		x	x
2	Teknik personelin bilgi ve deneyim yetersizliği		x		x	x
3	Mesleki disiplin ve etik kavramlarının yetersizliği		x			x
4	Projelerin yeterli incelenememesi					x
5	Denetim firmalarının fazla iş yükü ve diplomaların kiralınması			x		x
6	Proje kontrol formlarının eksik doldurulması	x				
7	Yapı üretim sürecinde görev alan usta, kalfa ve işçi gibi meslek mensuplarının eğitimsiz ve vasıfsız olmasından kaynaklanan sorunlar				x	x
8	İncelenen evraklarda atılan imzaların söz konusu kişiye ait olmaması	x				
9	Yapı denetim hizmet sözleşmelerindeki tarafların imzalarının eksik olması	x				
10	Projeler arasındaki uyumsuzluklara rağmen ruhsat alınması	x				x
11	Projenin dışında uygulamaların olması	x	x	x		x
12	Şantiye şefinin sahada bulunmaması	x				
13	Yapı denetim yönetmeliğinden kaynaklanan problemler				x	x
14	Çalışanları teşvik edecek uygulamaların olmaması		x			
15	Yapı denetim mevzuatının sık değişmesi		x			
16	Yetersiz personelden dolayı kaliteli kontrolün yapılamaması		x	x		x
17	İdarelerdeki uygulamaların il ve ilçelere göre farklılık göstermesi			x	x	
18	Denetimin kalitesine değil, ücretine önem verilmesi		x	x	x	x
19	Siyasi etkiler		x	x		
20	Yapı denetim firmasını yapı sahibinin seçmesi			x	x	x
21	Bürokratik işlemlerin tek bir kurumdan yapılmamasından dolayı zaman			x		
22	Müteahhitlerin teknik şartlarını sağlayacak işgücüne sahip olmaması		x	x		
23	İlgili idarelerin, denetim firmalarına eşit davranmamaları		x	x	x	x
24	Denetimlerin şantiyede yapılamaması ve sürekli olmaması				x	x
25	Hizmet bedelinin minimum değerine altına düşmesi		x	x		x

Tablo 1. YDS sistemi ile ilgili sorunlar

YAPI DENETİM SİSTEMİ

Yapı denetim kuruluşlarının görevlerinin iyi anlaşılabilmesi için ilk önce denetim kavramının iyi anlaşılması gerekmektedir. Sakallı' nın açıklamasıyla; Denetim; planlanan ile gerçekleşenlerin karşılaştırılması ve sapmaların nedenlerinin bulunup giderilmesidir (Sakallı 2008). Yapı denetim kavramı ise Akbıyıklı ve diğerlerinin (2017) açıklaması ile "Yapı Denetim, yapıyı (yapılaşmayı) denetleyen; can ve mal emniyetini birinci planda tutan, çağdaş ölçü ve standartları içeren, kontrolsüz ve kalitesiz yapılaşmayı önleyen bir sistemdir." Bu anlamda yapı denetim firmaları planlanan ve gerçekleştirilenin karşılaştırılması, can ve mal güvenliğinin sağlanması gibi konularda en önemli rol kaynağıdır.

Yapı Denetiminin Türkiye Uygulaması

Yapılarımızdaki denetimin zaman içerisinde değişip gelişen bilimle birlikte kendini yenilemesi, daima daha güvenli ve daha konforlu yapılarda oturma arzusu içerisinde olan insanlarımız açısından son derece önemlidir. Bu sebeple bu güven ve konfor ortamını sağlamak amacıyla yapı denetim sistemi başka ülkelerde de olduğu gibi Türkiye’de de zaman içerisinde eksikliklerini gidererek gelişimini sürdürmeye devam etmektedir. Bu değişim ve gelişimi görebilmek amacıyla Türkiye’deki yapı denetim sisteminin tarihi ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, 1930 yılında yürürlüğe giren ‘Belediye Kanunu’ ve ‘Umumi Hıfzısıhha Kanunu’, 1933 yılında yürürlüğe giren ‘Belediye Yapı ve Yollar Kanunu’ ve 1944 yılında yürürlüğe giren ‘Yersarsıntılarında Evvel ve Sonra Alınacak Tedbirler Hakkında Kanun’ları ile Türkiye’deki yapı denetim sisteminin temellerinin atılmaya başlandığı görülmüştür. Ancak, 1950 sonrasında yaşanan plansız sanayileşme ve arkasından gelen göçlerin, kaçak yapıların sayısını hızla arttırmış ve konu hakkında çıkarılmış yasa ve yönetmelikler uygulanamaz hale gelmiştir (ERGÜNAY 2000). Yaşanan bu göçler sonrasında çözüm olarak, 1956 yılında zamana göre hayli ileri seviyede sayılabilecek olan 6785 sayılı İmar Kanunu ile planlaşma ve yapılaşmaya ilişkin yetkiler merkezde toplanmıştır (Sakallı 2008). İmar kanunu ile birlikte ülkemizde bölge, şehir ve köylerin fiziksel planlarını yapmak, konut ve iskan sorunlarına akılcı çözümler üretmek ve imar ve afet mevzuatlarını yürütmek amacıyla 1958 yılında İmar ve İskan Bakanlığı altında yeni bir bakanlık kurulmuştur. Yeni bakanlığın kurulmasına rağmen bakanlığın kurulduğu tarihten 1980 yılına kadar çıkartılan diğer kanunlarda denetim sorununun çözümüne yönelik değil, doğal afetlerden sonra oluşan zararların karşılanmasına yönelik olduğu görülmüştür (Sakallı 2008). Yaşanan sorunların devam etmesi üzerine 1956 yılında merkezi yönetimde toplanan yetkilerin çözüm olmadığına anlaşılmasıyla birlikte 1985 yılında yürürlüğe giren 3194 sayılı İmar Kanunu ile fiziksel planlama faaliyetleri merkezi yönetimden ayrılmış ve imar planlama yetkisini belediyelere bırakılmıştır (Sakallı 2008). 1999 Marmara depremi sonucunda yaklaşık 20.000 insanımız yaşamını yitirmesi, 40.000 vatandaşımızın yaralanması ve ülke olarak maddi açıdan ciddi kayıpların yaşanmasının ardından yapı denetim sistemi daha çok irdelenmiştir. Bu irdelenmelerden sonra, 10 Nisan 2000 tarihinde Resmi Gazete (Sayı 24016)’de 595 sayılı ‘Yapı Denetimi Hakkında Kanun Hükmünde Kararname’ yayımlanmıştır (Sakallı 2008). Yayınlanma sonrasında Anayasa mahkemesi yürütmeyi durdurma kararı almış ve 13 Temmuz 2001 tarihinde 4708 Sayılı Yapı Denetimi Hakkında Kanun tekrardan çıkarılmıştır. Bir ay sonra yürürlüğe giren yapı denetim sisteminin kanunu ilk etapta 27 pilot ilde uygulanması

planlanmış, ancak bu sayı 19'a düşürülmüştür (Sakallı 2008). Pilot uygulama yaklaşık 9 yıl sürmüştür. Sonrasında 13.07.2010 tarihinde Resmi Gazetede yayınlanan ve 14.06.2010 tarihli 2010/624 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile 4708 sayılı Kanun yürürlüğe girmiş ve yapı denetim sistemi Türkiye genelinde 01.01.2011 tarihinden itibaren uygulanmaya başlanmıştır.



19 PİLOT İL



Tüm TÜRKİYE

Bu yönetmeliğin yürürlüğe girmesinden yıllar sonra Özden (2011), 1999 Marmara depreminden sonra 38 adet kanun ve kanun hükmünde kararname, 28 adet kararname, 6 adet yönetmelik, 17 adet tebliğ ve 9 adet genelge çıkarıldığını belirtmiş olup, sistemin çok yoğun bir bürokrasi yoğunluğuna gömülmesine rağmen sorunların devam ettiğini belirtmiştir. En son YDS'deki eksiklikleri gidermek amacı ile 29 Aralık 2018 tarih ve 30640 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Yapı Denetimi Uygulama Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik 1 Ocak 2019 tarihi itibarı ile yürürlüğe girmiştir (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu 2019).

Yapı Denetim Sistemi Yurtdışı Uygulamaları

Sanayinin ve teknolojinin gelişmesine paralel olarak yapıların denetim süreci de gelişmektedir. Bu konuda son derece ileride olan Avrupa Birliğine üye ülkeler denetim sistemlerini de aynı hızda geliştirebilmek için, İngiltere öncülüğünde Avrupa Yapı Denetimi Ortak Girişimini oluşturmuşlardır. Avrupa ülkelerine bakıldığında temel olarak iki sistem karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan ilki Fransa'nın uyguladığı sigorta sistemi modeli, diğeri ise Almanya'nın uyguladığı sıkı denetim modelidir (TELTİK 2017). Denetim konusunda öncü diğeri bir ülke olan Amerika da ise, imza yetkisine sahip mühendisler güven modeli ön plandadır. Mühendislerin proje hazırlama imza yetkisinin ön şartı olarak Professional Engineering (PE) lisansı almaları mecburi tutulmuş olup, yapımda kaliteyi sürdürülebilir hale getirmeyi hedeflemiştir.

Almanya'daki Yapı Denetim Sistemi

Disiplin denilince ilk akla gelen ülke olan ve Avrupa'daki inşaat sektörünün yüzde 19'luk kısmını oluşturan Almanya (İMO 1995), yapı denetim sisteminin temelini de disiplin ve sıkı denetim üzerine kurmuştur. Sakalı' nın sözleriyle “*Almanya’da uygulanan yapı denetim sisteminin ana teması inşaatın proje aşamasından iskan aşamasına kadar çok sıkı bir şekilde denetlenmesine dayanmaktadır (Sakallı 2008).*” Ayrıca Almanya'daki yapıların denetimi için bizim ülkemizden farklı olarak belirli bir mesleki tecrübe gerekmektedir. Bu konuyla ilgili olarak Teltik (2017), yapıların denetimi yerel yönetimlerin bünyesinde yer alan inşaat müdürlüklerindeki Denetim Mühendisleri tarafından yapılmakta olup, bu mühendislerde “*En az 10 yıllık inşaat mühendisi olmak, en az 2 yıl şantiye deneyimi olmak, büyük ve önemli yapıların projelerinde çalışmış olmak, referanslar, bilimsel çalışma yapmış olmak*” özelliklerinin arandığını belirtmiştir.

Fransa'daki Yapı Denetim Sistemi

Almanya'dan sonra yüzde 16'lık gibi büyük bir yüzdeyle Avrupa'daki en büyük ikinci inşaat sektörüne sahip olan Fransa (İMO 1995)'daki yapı denetim sisteminin temelini incelediğimizde ise karşımıza köklü bir denetim ve sigorta uygulaması çıkmaktadır (TELTİK 2017). Bu sigorta sisteminin temelini “Yapı Sigortası İçin İdari Mekanizmalar” kısa adıyla MARC adı verilen kuruluş oluşturmaktadır (ÖZERGİNE 2017). Bu işleyiş çerçevesinde yapılar için iki ayrı sigorta yaptırılması zorunlu olup, bunlardan ilki **kesin kabul sonrası ie başlayan** yapının güvenliğini doğrudan etkileyen ve tesisatlarını içeren on yıllık zorunlu, diğeri ise zaman içerisinde eskijen parçaları kapsayan iki yıllık ihtiyari sigortadır (TEZCAN, YARAR ve BODUROĞLU 1994). Bu sigorta sistemleri, yapı maliyetini yüzde 2,5 -3 oranında attırmasına karşılık yapıların kalitesini ve güvenliğini son derece arttırmıştır (ÖZERGİNE 2017). Ayrıca sigorta sistemi ile ilgili yasaya göre bizim ülkemizden farklı olarak inşaat yapım aşamasındaki kişi ve kuruluşlar gerçekleştirecek problemlerden sorumludur. Sigorta projenin başlaması aşamasında sahibi tarafından yaptırılmakta olup sigorta süresi içerisinde olacak hasarlar mal sahibi tarafından ödenir ve masraflar; mal sahibi tarafından sorumlu firmalara sonrasında da sorumlu firmalar tarafından ilgili sigorta firmalarına rücu edilir.

Amerika'daki Yapı Denetim Sistemi

Mühendislik eğitimi açısından dünyanın en önde gelen ülkelerinden biri olan Amerika'daki yapı denetim sistemi incelendiğinde, Professional Engineer (PE) unvanına sahip mühendis ve mimarlara duyulan güvenin bu sistemin temelini

oluşturduğu görülmektedir. Sistemdeki işleyişi, PE ünvanına sahip mühendislerin imza yetkisine sahip olmasına dayanmaktadır. Bu mühendisler projenin hazırlanması, imzalanması ve projelerin onayı için resmi makamlara başvuru yapabilmektedirler (NCEES 2018). PE ünvanını sahip olabilmek için ise; dört yıllık bir üniversite programından mezun olmak, ayrıca Fundamentals of Engineering (FE) adlı sınavda başarılı olmak gerekmektedir (NCEES 2018).

1 OCAK 2019 TARİHİNDE YÜRÜRLÜĞE GİREN YÖNETMELİKTE YAPI DENETİM SİSTEMİNDEKİ DEĞİŞİKLİKLER

2019 yılı öncesine ait bilimsel yazınlarda görüldüğü gibi 2019 yılı öncesinde YDS Yönetmeliğinin uygulanması ve denetimi konusunda önemli problemler mevcuttu. Durum böyleyken problemlerin ortadan kaldırılması, eksikliklerin giderilmesi ve gerekli değişikliklerin yapılabilmesi için 29 Aralık 2018 tarih ve 30640 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Yapı Denetimi Uygulama Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik 1 Ocak 2019 tarihi itibarı ile yürürlüğe girmiştir (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu 2019). Yönetmelikteki değişikliklerle birlikte en büyük sorunlardan bazılarında çözüm bulmaya çalışılmıştır. Bu sorunlar; müteahhit ve yapı denetim kuruluşları arasındaki ticari bağ, yapı denetim kuruluşlarının iş alımları, yapı denetim hizmet sözleşmesinin feshi ve yapı denetim hizmet bedelinin belirlenmesi gibi.

Yapı Denetim Kuruluşlarının İş Alımları

Yönetmelikteki değişiklikler çerçevesinde yapı denetim kuruluşları, “*her ilde Yapı Denetimi Uygulama Yönetmeliği ile belirlenen üç yapı grubu için ayrı ayrı sıralanacak ve ilk sıralama noter huzurunda yapılan çekilişle belirlenecek (Yapı İşleri Genel Müdürlüğü 2018).*” Yapı denetim kuruluşlarına denetimini yaptıkları işlerin yapı denetimi hizmet sözleşmesi bedeli göre puan verilecek, bu puanlar neticesinde diğer sıralamalar; puanı az olan yapı denetim kuruluşlarından çok olan yapı denetim kuruluşlarına doğru sıralanıp, bu puanlara göre Bakanlıkça elektronik ortamda görevlendirileceklerdir (Yapı İşleri Genel Müdürlüğü 2018).

Bu değişiklik ile; *1 Ocak 2019 da uygulamaya giren yönetmelikte yapılan bu düzenleme ile 1 Ocak 2019 öncesinde bilimsel yazınlarda yer alan “P20- Yapı denetim firmasını yapı sahibinin seçmesi’ ve P5 -Denetim firmalarının fazla iş yükü’ problemlerinin ortadan kaldırılması beklenmekteydi.”*

Eksikliklerini Tamamlamayan Yapı Denetim Kuruluşları

Ayrıca yapı denetim firmalarının iş alımlarıyla ilgili olarak 12. maddeye eklenen 8. fıkrada; denetim izin belgesi geçici olarak geri alınan kuruluşlar, 180 takvim günü içerisinde eksiklerini tamamlamayıp, yapı denetim izin belgesi talep etmedikleri takdirde Bakanlık tarafından o il için başvuruda bulunan kuruluşlara dair sıralamanın sonuna yerleştirileceği belirtilmiştir (TBMM 2018).

Şantiye Şefi Olma Yetkisi

Bu değişikliklerin yanı sıra şantiye şefi olma yetkisi Yapı Denetim Uygulama Yönetmeliğinin 3. maddesinin (i) bendinin değişmesiyle birlikte mühendis ve mimar diplomasına sahip teknik personellere yanında teknik öğretmen ve tekniker diplomasına sahip teknik personellere de verilmiştir; “*i) Şantiye şefi: Konusuna ve niteliğine göre yapım işlerini yapı müteahhidi adına yöneterek uygulayan, mühendis, mimar, teknik öğretmen veya tekniker diplomasına sahip teknik personeli, (TBMM 2018)*”

Yapı Denetim Kuruluşları Sayısının Tespiti

Yönetmelikteki değişiklikler arasında yapı denetim kuruluşlarının sayısının hesaplanması da yer almaktadır. Yönetmeliğin 12. maddesinin 3. fıkrasında yapılan değişiklikle birlikte; bir önceki yılsonuna ait nüfus istatistiklerinin 20.000’e bölünmesi ile bulunan kuruluş sayısı, denetlenen inşaat alanının 360.000 m² bölünmesinden elde edilen sonucun %10 arttırılmasıyla elde edilen sayıdan az olması halinde, denetlenen inşaat alanına göre yapı denetim kuruluşlarının sayısı bulunmaktaydı (TBMM 2008). Yönetmelikteki değişikliklerden sonra; nüfus üzerinden hesaplama yapmak yerine, denetlenen inşaat alanı üzerinden hesaplama yapılmaya başlanmıştır. Sayının tespiti ise şu şekildedir; “*Bu sayı, o ilde hesap tarihi itibarıyla toplam denetlenen inşaat alanının kuruluş yetki sınırı olan 360.000 m²’ye bölünmesi ve elde edilen sonucun % 10’u oranında arttırılmasıyla bulunur. Küsurlar, bir üst tam sayıya tamamlanır (TBMM 2018).*”

Kontrol Elemanı - Yardımcı Kontrol Elemanı İbaresini

Kontrol elemanı ibaresi yürürlükten kaldırılmış ve yerine yardımcı kontrol elemanı ibaresi getirilmiştir (TBMM 2018).

Yardımcı Kontrol Elemanı Tanımı ve Denetim Yetki Sınırları

Yönetmelikteki değişikliklerle birlikte yardımcı kontrol elemanlarının kontrol sınırları değişmiştir. Teknik öğretmenlerin 15.000 m² den 13.500 m² ye,

teknikerlerin 10.000 m² den 8.500 m² ye ve teknisyenlerin 5.000 m² den 3.500m² olmak üzere her birinden 1.500 m² olmak üzere kontrol edebilecekleri yapı alanı düşürülmüştür.

Faal Yapı Denetim Kuruluşu Olmayan İllerde Yapı Denetim

Yönetmelikteki değişikliklerden önce, gerekli koşulları sağlayan yapı denetim kuruluşları faal yapı denetim kuruluşu olmayan illerde şube açarak faaliyet gösterebilmekteydiler. Değişikliklerden sonra; “*Faal yapı denetim kuruluşu bulunmayan ilde valilik binası esas alınarak en yakın ilde sıralamada yer alan ve üç gruptaki toplam puanı en az olan kuruluş kendi puanıyla o il için Bakanlıkça üç grup için yapılan sıralamaya da alınacaktır (ÇŞB).*”

Yapı Denetim Hizmet Sözleşmesi Feshi

Yönetmelikteki değişikliklerle birlikte önemli eksiklerden biri olan yapı deneti hizmet sözleşmesinin fesih şartları yönetmeliğe eklenmiştir (TBMM 2018). Değişikliklerden sonra; *1 Ocak 2019 da uygulamaya giren yönetmelikte yapılan bu düzenleme ile 1 Ocak 2019 öncesinde bilimsel yayınlarda yer alan “11- Projenin dışında uygulamaların olması” problemlerinin ortadan kaldırılması beklenmekteydi.*

Yapı Denetim Hizmet Bedeli

Yönetmelikteki değişikliklerden önce Yapı denetim hizmet bedeli işveren ve yapı denetim kuruluşları arasındaki Yapı Denetimi Hizmet Bedeline Esas Oranlar Cetveline göre asgari olarak belirlenmekteydi. Ancak çoğu zaman bu ücretinde altında denetimler yapılmakta idi. Yapılan değişikliklerle birlikte en önemli problemlerden biri olarak gözüken bu soruna çözüm bulunmaya çalışıldı. Yapılan değişikliklerle bakanlık tarafından belirlenen birim maliyetler üzerinden hesaplanacak olan hizmet bedeli şu şekilde bulunacaktır; “Yapı denetimi hizmet bedeli, hizmet bedeline esas yapı yaklaşık maliyeti ile hizmet bedeline esas oranın çarpımı suretiyle elde edilen bedeldir (TBMM 2018).” Yapı yaklaşık birim maliyetleri, her yıl 1 Ocak tarihinden itibaren geçerli olmak üzere bakanlığın ilgili biriminin elektronik adresinden yayınlanıp, bir önceki yılın yurt içi üretici fiyat endeksi esas alınarak güncellenecek ve küsuratlar bir üst tamsayıya yuvarlanarak birim maliyetler bulunacaktır (TBMM 2018). Bu Tebliğ’ te belirtilen sınıfların herhangi birinde yer almayan yapı gruplarının belirlenmesi için öncelikle yapının metraja dayalı maliyet hesabı yapılacak ve hesaplanan bu bedel yapı inşaat alanına bölünecektir. Elde edilen sonuç Tebliğ’ te belirtilen birim maliyetlerden hangisine yakınsa, yakın olduğu birim maliyete göre hesap yapılacaktır (TBMM 2018). Bu değişikli ile; 1 Ocak 2019 da

uygulamaya giren yönetmelikte yapılan bu düzenleme ile 1 Ocak 2019 öncesinde bilimsel yayınlarda yer alan ‘P18-Denetimin kalitesine değil, ücretine önem verilmesi’ ve ‘P25- Hizmet bedelinin minimum değer altına düşmesi’ problemlerinin ortadan kaldırılması beklenmektedir.

Tek Seferde Yatırılacak Yapı Denetim Hizmet Bedeli

Değişikliklerden önce toplam inşaat alanı 1.000 m²'yi (dahil) geçmeyen yapıların denetim hizmet bedeli tek seferde yatırılmaktaydı. Değişikliklerden sonra bu alan 3 katına çıkartılıp, toplam inşaat alanı 3.000 m²'yi (dahil) geçmeyen yapıların denetim hizmet bedeli tek seferde ödenecektir (TBMM 2018).

SONUÇ

Yönetmeliğimizde yıllardır süren değişikliklere rağmen sorunlar sürekli devam etmektedir. Devam eden sorunlar neticesinde yapılan değişiklikler köklü olmayıp, zaman içerisinde yeni değişiklikleri de beraberinde getirmektedir. Hal böyleyken denetim konusunda ileri gelen ülkelere bakarak yönetmelikteki değişikliklerden ziyade sistemin değişmesi gerektiği görülmektedir. Mevcut yapı denetim yönetmeliğinde denetimi yapacak olan yapı denetim firmalarında çalışan teknik personelin bilgi ve deneyimlerini yeterliliğini sınırlayan alt sınırlar yoktur. Dolayısıyla bilgi ve birikimi az olan teknik personellerle yapılan denetimin düzgün olması mümkün değildir. Denetim konusunda ileride olan ülkelere bakıldığında denetimi yapan teknik personellerde tecrübe ve bilgi birikiminin istendiği görülmektedir. Bu konuda ülkemizde yapılması gereken; denetimi yapacak olan mühendislerin ve denetimden sorumlu diğer teknik personellerin belirli sınavlarla bilgilerini ve tecrübelerini kanıtlamış olmaları gerekmektedir. Bu yüzden temelinde, denetimden sorumlu teknik personellerde bilgi ve tecrübe alt sınırları arayan ve denetimi yapacak firmaların yanında iş yapımından sorumlu bütün firmaların olası sorunlarda ciddi yaptırımlar uygulanacağı bir sistem ülke şartları altında en doğrusu olacaktır.

KAYNAKÇA

- Çelik, Gözde Tantekin, ve Cengizhan Ünal. «Yapı Denetim Firmalarının Sorunlarının Belirlenmesi ve Adana Örneği.» *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2017: 71-78.
- AFAD. T.C. İÇİŞLERİ BAKANLIĞI Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. 23 Temmuz 2018. <https://deprem.afad.gov.tr/tarihteBuAy?id=37> (Aralık 30, 2018 tarihinde erişilmiştir).
- AKBIYIKLI, Rıfat, Gülhan OPÇİN, Merve AKDEMİR, ve Emre GÜNDÜZ. «Türkiye’de Yapı Denetim Kavramı, Amacı, Yasal Dayanağı ve Uygulamaları Üzerine Bir İnceleme.» *Uluslararası Katılımlı 7. İnşaat Yönetimi Kongresi*. Samsun, 2017. 217-229.
- ÇŞB. «İlde faal yapı denetim kuruluşu kalmaması halinde ne yapılacak?» *TÜRKİYE CUMHURİYETİ ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI*. tarih yok. <https://csb.gov.tr/sss/yapi-denetimi> (Temmuz 1, 2019 tarihinde erişilmiştir).
- Demir, Ergül. «İSTATİSTİK DERS NOTLARI .» *researchgate*. Ocak 2017. https://www.researchgate.net/profile/Ergul_Demir/publication/312332685_Istatistik_Ders_Notlarim_-_My_Notes_for_Statistics_Classes_Teaching_Document/links/587b4b5208aed3826ae82101/Istatistik-Ders-Notlarim-My-Notes-for-Statistics-Classes-Teaching-Document.p (Aralık 24, 2018 tarihinde erişilmiştir).
- DİYARBAKIR ŞUBE. «3.Yapı Denetimi Sempozyumu Sempozyum Kitabı.» *İMO*. 5 Kasım 2013. http://www.imo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=6010&tipi=2&sube=10 (Nisan 2, 2019 tarihinde erişilmiştir).
- DOĞAN, Aynur. «ANKARA’DA YAPI DENETİM SORUNLARININ BELİRLENMESİYLE İLGİLİ BİR SAHA ÇALIŞMASI.» *Yüksek lisans tezi*, Şubat 2013: 1-106.
- ERDİŞ, Ercan, ve Halil GEREK. «Yapı Denetim Sisteminde Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri.» Bursa, 2011. 298-306.
- ERGÜNAY, Oktay. «Ülkemizde Yapı Denetiminin Gelişimi ve 595 Sayılı Kanun Hükmünde Kararname ile Getirilen Yeni Yapı Denetim Sistemi.» 2000. http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/819be53c51ff361_ek.pdf?dergi=183 (12 14, 2018 tarihinde erişilmiştir).
- GÜLAĞACI, Oktay. «Yapı Denetiminde Sigorta-2.» *imoistanbul*. tarih yok. <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:bDtm-VvYkyQJ:imoistanbul.org/imoarsiv/ist-bulten/bulten63/YAPIDENETIMINDESIG>

ORTA-2.doc+&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr (Temmuz 1, 2019 tarihinde erişilmiştir).

İMO. «AVRUPA'DA İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ SEKTÖRÜ.» *İMO. TÜRKİYE MÜHENDİSLİK HABERLERİ*. Kasım 1995. www.imo.org.tr/resimler/ekutphane/pdf/1137.pdf (Nisan 9, 2019 tarihinde erişilmiştir).

İslam, Yücel. *Araştırma Yazma Sunu Teknikleri*. Ankara: Seçkin yayıncılık, 2012.

Karasar, Niyazi. *BİLİMSEL ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ*. Ankara: Nobel yayıncılık, 2012.

Kozak, Metin. *BİLİMSEL ARAŞTIRMA*. Ankara: DETAY YAYINCILIK, 2017.

KURAL, Recep, ve Osman ÜNAL. «İnşaat Sektöründe Yapı Denetimi ve Afyonkarahisar İlindeki.» *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* (AKÜ FEMÜBİD), 2015: 1-10.

NCEES. *NCEES FE Exam Information*. 2018. <https://ncees.org/engineering/fe/> (12 21, 18 tarihinde erişilmiştir).

—. *What is a PE?* 2018. <https://www.nspe.org/resources/licensure/what-pe> (12 21, 2018 tarihinde erişilmiştir).

ÖZDEN, Ali Tolga. «MİMARLAR ODASI GAZİANTEP ŞUBE YAPI DENETİM SEMPOZYUMU.» *MİMARLAR ODASI GAZİANTEP ŞUBE YAPI DENETİM SEMPOZYUMU*. GAZİANTEP: Önder organizasyon, 2011. 2-19.

ÖZERGENE, Ahmet Onur. «AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİ -ABD VE İNGİLTERE- YAPI DENETİM SİSTEMLERİ.» *İMO*. 14 Ocak 2017. http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/fbf37ff20ae_ek.pdf?tipi_2&tu=X&sube=3 (Nisan 9, 2019 tarihinde erişilmiştir).

PALA, Murat, ve Mehmet Şirin DEMİR. «GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİNDE YAPI DENETİMİ UYGULAMASINDA KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE BU SORUNLARA İLİŞKİN ÇÖZÜM ÖNERİLERİ.» *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2017: 20-33.

Sakallı, Ferhat. «YAPI DENETİM SİSTEMİNDE YAŞANAN SORUNLAR,4708 SAYILI YAPI DENETİM HAKKINDA KANUN'DAKİ EKSİKLİKLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ.» *İnşaat mühendisliği*, istanbul, 2008, 1-213.

TBMM. «YAPI DENETİMİ UYGULAMA YÖNETMELİĞİ.» *Resmî Gazete*. 05 Şubat 2008. <https://www.yds.gov.tr/dosyalar/1326980235-9.pdf> (Nisan 2, 2019 tarihinde erişilmiştir).

- «YAPI DENETİMİ UYGULAMA YÖNETMELİĞİNDE DEĞİŞİKLİK YAPILMASINA DAİR YÖNETMELİK.» *Resmî Gazete*. 29 Aralık 2018. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/12/20181229-2.htm> (Nisan 2, 2019 tarihinde erişilmiştir).
- TELTİK, İlkay. «YABANCI ÜLKELERDE UYGULANAN YAPI DENETİM SİSTEMLERİNİN İCELENMESİ.» 25 Şubat 2017. http://hatay.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/7c99df85f88b79e_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=15 (Aralık 15, 2018 tarihinde erişilmiştir).
- TEZCAN, Semih S., Rıfat YARAR, ve Hasan BODUROĞLU. «YAPIDA DENETİM VE SERTİFİKALI MÜHENDİS.» *mmo*. 29 Kasım 1994. http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/e4e53aa080247bc_ek.pdf?dergi=157 (Şubat 15, 2018 tarihinde erişilmiştir).
- TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu. «tmmob.» *TÜRK MÜHENDİS ve MİMAR ODALARI BİRLİĞİ*. 04 01 2019. <https://www.tmmob.org.tr/icerik/imo-yapi-denetimi-sisteminde-yeni-donem> (Mart 10, 2019 tarihinde erişilmiştir).
- Yapı İşleri Genel Müdürlüğü . «YAPI DENETİM SİSTEMİNDE DEĞİŞİKLİK - Yapı İşleri Genel Müdürlüğü.» *T.C. ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI*. 31 Aralık 2018. <https://yapiisleri.csb.gov.tr/yapi-denetim-sisteminde-degisiklik-haber-232944> (Mart 10, 2019 tarihinde erişilmiştir).

23. Bölüm

Oluşumundan Kullanım Alanlarına Serpantinitle

Mustafa Eren RİZELİ¹

Mehmet Ali ERTÜRK²

Abdullah SAR³

¹ Arş. Gör. Dr.; Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü.
m.erenrizeli@gmail.com ORCID No: 0000-0003-3725-3063

² Arş. Gör. Dr.; Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü.
erturkmae@gmail.com ORCID No: 0000-0003-1197-9202

³ Arş. Gör. Dr.; Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü.
asar@firat.edu.tr ORCID No: 0000-0002-9752-7807

ÖZET

Serpantinit terimi çoğunlukla antigorit, lizardit ve krizotil gibi serpantin grubu minerallerinden bir veya daha fazlasını içeren metamorfik bir kayadır. Serpantinitler, ağırlıkça %13'e kadar su içerir. Serpantin mineralleri nispeten düşük sıcaklıklarda olivince zengin ultramafik kayaların hidrasyonu ile oluşur. Bu üç mineral de benzer kimyasal özelliklere, farklı fiziksel özelliklere sahiptir. Asbest, ticari ürünlerde kullanılan lifli minerale verilen genel bir isimdir dünya çapında üretilen asbestin neredeyse tamamı krizotil yani serpantindir. 2011-2021 yılları arası dünya asbest üretiminde en büyük paya sahip ilk dört ülke Rusya, Çin, Kazakistan ve Brezilya'dır. Serpantinitlerin birçok uygulama alanı bulunmaktadır. Bunlardan bazıları inşaat/seramik (dekoratif), Mg kaynağı, silisyum kaynağı, çelik kaplama, jeopolimer, absorpsiyon, kataliz ve kompozit ile ilgili alanlardır. Son zamanlarda serpantinitlerin havadaki karbondioksiti bağlaması için yapılan çalışmalar kuşkusuz serpantinitlerle ilgili en değerli araştırmalardan biridir.

Bu çalışmada doğada en bol bulunan serpantin minerallerinin özellikleri irdelenerek; oluşumları, eldeleri, kullanım alanları ve zararları ile ilgili literatür gözden geçirilerek derleme bir çalışma ortaya koyulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Serpantinit, serpantin, antigorit, lizardit, krizotil

SERPANTİTLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Ultramafik kayalarındaki olivin mineralinin düşük sıcaklıklardaki hidrotermal alterasyonu sonucu oluşan serpantinler (Şekil 1), yaklaşık yirmi mineralden oluşan bir mineral grubudur. Mg açısından zengin birincil minerallerden olan “olivin, ortopiroksen ve klinopiroksen” mineralleri yapraksı katmanlı Mg-silikat hidratlı mineraller (serpantinler), manyetit ve bazı durumlarda brusit [$Mg(OH)_2$] minerallerine dönüşür. Genelleştirilmiş formülü $(A)_{2-3}(B)_2O_5(OH)_4$ olan serpantin minerallerinde A ile temsil edilen alana genellikle “magnezyum, demir, nikel, alüminyum, çinko veya manganez”, B alanına ise “silisyum, alüminyum veya demir” elementleri girme eğilimindedir. Bu durumda serpantinlerin en genel kabul edilen mineral formülü $(Mg,Fe,Ni, Mn,Zn)_{2-3}(Si,Al,Fe)_2O_5(OH)_4$ 'tür (Evans vd., 2013). Benzer kimyasal özelliklere sahip olmalarına karşın farklı fiziksel özellikleri nedeniyle, antigorit ince levhamsı-pulsu-lifsi, lizardit çok ince levhamsı ve krizotil lifsi bir görünüme sahiptir (Zhou vd., 2017). Brusit ($Mg(OH)_2$), talk ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$), kalsit ($CaCO_3$) ve manyezit ($MgCO_3$) gibi diğer mineraller de serpantin grubunda yer alan diğer minerallerdendir.



Şekil 1: İtalya'nın Genua şehrinde Barconasco Vadisi'nden alınan bir serpantinit kayacı örneği (Serpantinit, t.y.)

Genel formülü $Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$ olan antigorit minerali ultrabazik kayalarda, beyaz, sarı, yeşil veya kahverengi renklerde; genellikle ince levhamsı, pulsu, lifsi ve bazen de masif şekillerde görülmektedir (Şekil 2). Antigorit, yalnızca $250^\circ C$ 'nin üzerinde, yüksek sıcaklıkta oluşan bir serpantin mineralidir. Monoklinik sistemde kristallenen yağsı parlaklığa sahip olan antigoritin, özgül ağırlığı $2.5-2.6 \text{ g cm}^{-3}$, sertliği ise 3.5-4 aralığında değişmektedir (Antigorit, t.y.).



Şekil 2: Yunanistan'ın Tinos Adası'ndan alınan bir antigorit minerali örneği (Antigorit, t.y.)

Antigoritle aynı kimyasal formüle sahip lizardit (Şekil 3), hacimsel olarak en yaygın bulunan serpantin minerali türüdür. Tipik olarak, gerileyen (*retrograd*) metamorfizmanın bir ürünü olarak ultramafik kayalardaki olivin, ortopiroksen (enstatit) veya diğer minerallerin yerini alır. Yeşil, kahverengi, açık sarıdan beyaza kadar farklı renklere sahip olabilen lizardit; reçinemsiz, mumsu ve yağsı parlaklıklarda görülmektedir. Düşük sıcaklık ($<250^\circ C$) serpantin minerali olan lizardit trigonal kristal sisteminde kristallenir. Oldukça ince levhamsı kristallere sahip mineralin özgül ağırlığı 2.55 g cm^{-3} ve sertliği ise 2.5'tur (Carmignano vd., 2020; Lizardit, t.y.).



Şekil 3: Amerika'nın New York Eyaleti'ndeki bir demir madeninden alınan lizardit minerali örneği (Lizardit, t.y.)

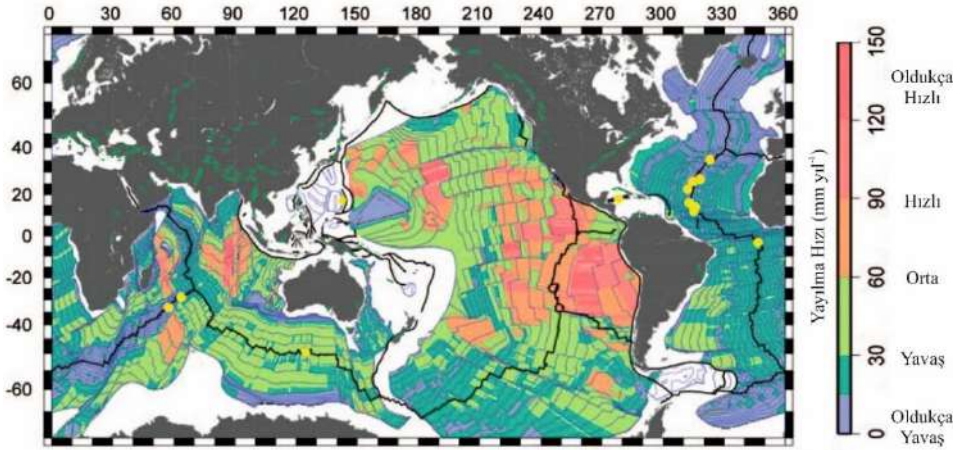
Krizotil de lizardit gibi düşük sıcaklık (<250°C) serpantin minerallerindedir. Doğadaki bolluklarına göre klinokrizotil, ortokrizotil ve parakrizotil türleri mevcuttur. Klinokrizotil, bilinen krizotil örneklerinin neredeyse tamamını temsil etmektedir. Monoklinik ve ortorombik kristal sistemlerine sahip krizotiller ipeksi parlaklığa sahiptir ve sertlikleri 2.5'tur. Dünya çapında çıkarılan asbestin çoğu, lifsi şekilli krizotilden oluşur (Deer vd., 2009; Krizotil, t.y.; Şekil 4).



Şekil 4: Slovakya'nın Kosice Bölgesi'nden alınmış yeşil lifsi krizotil damarları içeren serpantinit kayacı (Krizotil, t.y.)

SERPANTİNİTLERİN OLUŞUMU VE ELDESİ

Okyanus tabanı genellikle okyanus sırtlarında oluşan volkanik kayalardan oluşur; ancak manto peridotitlerinin bol miktarda yüzeylendiği yavaş yayılan sırtlarda volkanik kaya oluşumu azdır. Bu da manto peridotitlerinin bünyelerine su almasına ve deniz tabanında serpantinitlerin oluşmasına yol açar. Serpantinitler okyanusal litosferinin üst kısmının %25'e kadarını oluşturabilir (Cannat vd., 2010; Şekil 5).

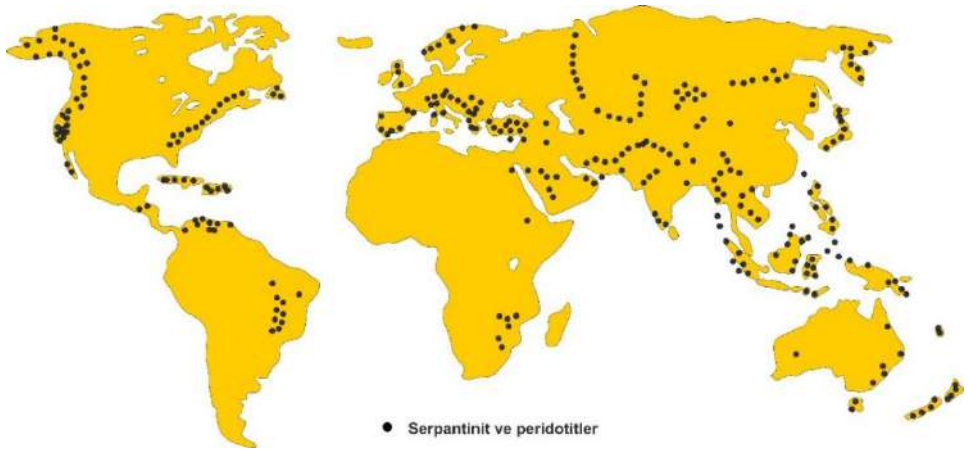


Şekil 5: Serpantinitlerin karalarda ve okyanus tabanlarındaki oluşum haritası (Guillot ve Hattori 2013). Okyanus litosferi yayılma hızı için renklerle kodlanmıştır (Cannat vd., 2010) ve siyah çizgiler sırt eksenlerini gösterir. Serpantinitin ana oluşumları, deniz tabanı bölgeleri için sarı dairelerle ve kıtalarda yeşil çizgilerle (Coleman 1977) gösterilmiştir. Serpantinitler ayrıca okyanus tabanında, okyanus içi, batı Pasifik yaylarının yay önu bölgelerinde bulunur (Fryer vd., 1999).

Yitim zonlarında, 10 km'den daha derinlerde manto kamasının tabanına yakın yerlerde serpantinitler oluşmaktadır. Bazı yay önu ortamlarında serpantinitler, normal faylar boyunca ve yitimden kaynaklı erozyon ve ayrıca yiten malzemenin bir dalma kanalındaki (iki plaka arasındaki düşük viskoziteli ara yüz) geri akışı gibi tektonik süreçler yoluyla deniz tabanına çıkarılmıştır. İkinci oluşumun en net örneği, serpantinitlerin manto kamasının tabanından deniz tabanına yükseldiği Mariana yay önündeki serpantinit diyapirleridir. Bu serpantinitlerin yukarı doğru hareketi, 2000 m'ye kadar kabarma ile "deniz dağları" ve "çamur volkanları" oluşacak şekilde sonuçlanmıştır (Guillot ve Hattori, 2013). Günümüzdeki serpantinitlerin oluşumlarının keşfi jeolojik geçmişte serpantinleşme için jeolojik ortamların belirlenmesi için yararlı bilgiler sağlamıştır (ör. Hattori ve Guillot 2007).

Karalardaki çok eski dönemlerde oluşmuş serpantinitler, eski okyanusların kapanmasıyla ilişkili kenet kuşaklarında yüzeylenmektedir. Bunların en iyi örnekleri kuzey Hindistan, Türkiye ve Apalachian'daki (Kuzey Amerika) serpantinitlerdir (Coleman 1977). Dünya'nın en büyük (yaklaşık 10000 km²) ofiyolitlerinden biri olan Umman ve Birleşik Arap Emirlikleri'ndeki Semail Ofiyoliti bazı araştırmacılara göre $\sim 5 \times 10^{13}$ ton serpantinleşmiş peridotit içerir (Kelemen ve Matter, 2008). Yeni Kaledonya'daki dünyanın en uzun kesintisiz

ofiyoliti "Massif du Sud", yaklaşık 6000 km²'lik bir alana yayılmıştır. Bu ofiyolit farklı derecelerde serpantinleşmiş manto peridotitinden oluşur. Antarktika da dâhil olmak üzere tüm kıtalarda farklı boyutlarda ofiyolitler ve dolayısıyla serpantinitler bulunmaktadır (Şekil 5). Bazı araştırmacılar, dünya yüzeyinin %3'ünden fazlasının serpantinit ve serpantinleşmiş peridotitten oluştuğunu tahmin etmektedir (Guillot ve Hattori 2013). Serpantinitler, yüz milyonlarca ton olarak tahmin edilen küresel rezervlerle dünyanın farklı yerlerinde bulunur. Şekil 6'daki harita güncel serpantinit rezervlerini göstermektedir. En önemli serpantin grubu doğal yataklar Avustralya, Ermenistan, İtalya, Rusya, ABD, Kanada, Paraguay, Yeni Zelanda ve Brezilya'da bulunur (Zulumyan vd., 2019).



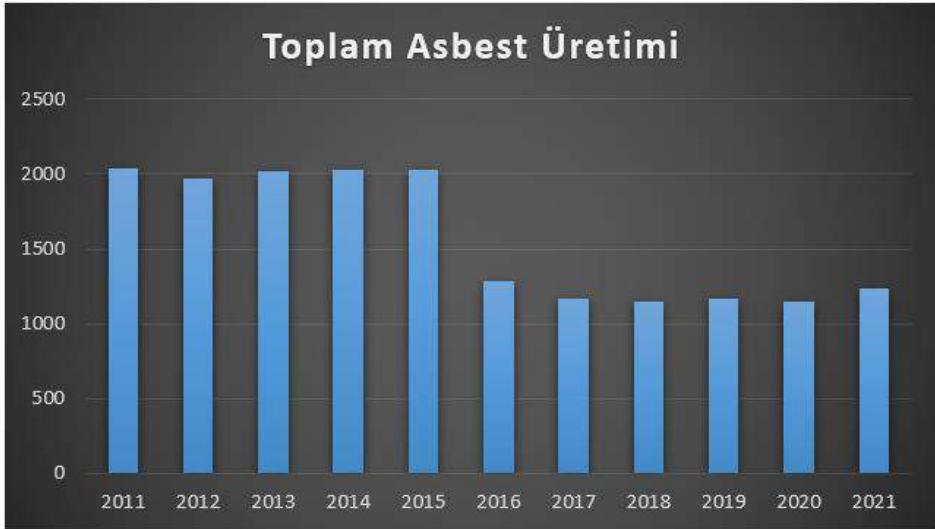
Şekil 6: Dünya ölçeğinde serpantinit ve peridotitlerin ana rezervleri. Veri noktaları kayaçların boyutunu veya kapsamını temsil etmez litolojilerin genel konumunu gösterir (del Real ve Vishal, 2016).

Asbest, ticari ürünlerde kullanılan lifli minerale verilen genel bir isimdir. Krizotil, krosidolit, amosit, antofilit asbest, tremolit asbest ve aktinolit asbest olmak üzere altı tür asbest vardır. Asbesti çok yönlü ve uygun maliyetli yapan çeşitli özellikler, yüksek gerilme mukavemeti, kimyasal ve termal kararlılığı, yüksek esneklik, düşük elektrik iletkenliği ve geniş yüzey alanıdır. Önde gelen pazarları çatı kaplama ürünleri, contalar ve sürtünme ürünleridir. Dünya çapında üretilen asbestin neredeyse tamamı krizotil yani serpantindir. ABD Jeolojik Araştırmalar Merkezi Mineral Hammadde Özeti 2011-2021 yılları arası dünya asbest üretiminde en büyük pay %55 ile Rusya'ya aitken diğer ülkeler sırasıyla Çin, Kazakistan ve Brezilya'dır (Asbest, t.y.; Şekil 7).



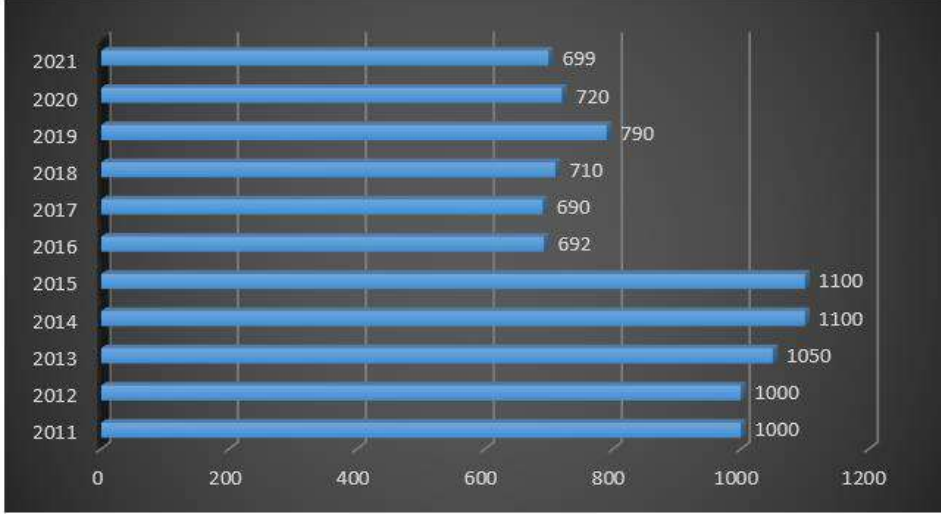
Şekil 7: 2011-2021 yılları arası asbest üretiminin ülkelere dağılımı (Asbest, t.y.)

ABD Jeolojik Araştırmalar Merkezi “Mineral Hammadde Özeti Ocak 2023” raporuna göre 2021 yılı dünya toplam asbest madeni üretimi 1.240.000 tondur (Asbest, t.y.). Asbest üretimi 2015 yılından itibaren bütün ülkelerde ortalama %25 civarında bir oranda azalmıştır (Şekil 8).



Şekil 8: 2011-2021 yılları arası dünya toplam asbest üretim miktarları (x1000 ton) (Asbest, t.y.)

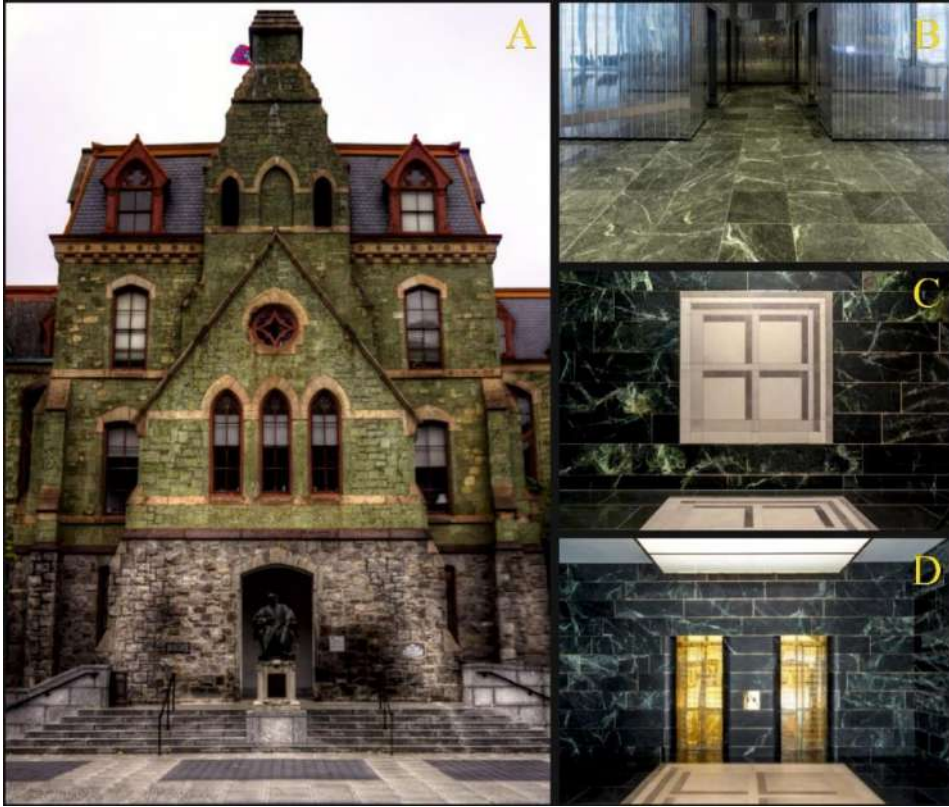
Asbest üretiminde lider konumda olan Rusya'da da durum aynı olmuştur. Rusya'nın 2011-2014 yılları arası beş yıllık süreçte asbest üretim miktarı ortalama 1.050.000 ton iken 2015-2021 yılları arası bu miktar ortalama 720.000 tona gerilemiştir (Asbest, t.y.; Şekil 9).



Şekil 9: Dünya asbest üretiminde lider konumda bulunan Rusya'nın 2011-2021 yılları arası üretim miktarları (x1000 ton) (Asbest, t.y.)

SERPANTİNİTLERİN KULLANIM ALANLARI

Serpantinitleler, fiziksel özellikleri, nispeten yüksek Mg ve Si konsantrasyonları, kendilerine has yüzey özellikleri ve diğer bazı özellikleri nedeniyle farklı alanlarda kullanılabilir. Bu uygulamalardan bazıları inşaat/seramik (dekoratif), Mg kaynağı, silisyum kaynağı, çelik kaplama, jeopolimer, absorpsiyon, kataliz ve kompozit ile ilgili alanlardır. Serpantinitleler büyük ölçüde seramik üretimi için hammadde olarak kullanılmıştır. Serpantinitleler uzun yıllardır mimari taş olarak kullanılmaktadır (Şekil 10). Yeşilin birçok tonunda çekici bir desene sahiptir. İşlenmesi kolaydır güzel bir görünüm elde etmek için genellikle parlatılır. Serpantinitleler, mimari ve inşaat alanında sıklıkla kullanılan granitten daha yumuşak ve genellikle çoğu mermerden daha serttir. Bu düşük sertlik, kaplama, duvar karoları, mantolamalar ve pencere pervazları gibi aşınmaya maruz kalacak yüzeylerde uygun kullanımını sınırlar. Serpantinitle, endüstriyel uygulamalarda termal ve elektrik yalıtkanı olarak da kullanılmıştır (Carmignano vd., 2020).



Şekil 10: Serpantinitin dekoratif amaçlı yapılarda kullanımı (Martin, t.y.; Serpantin, t.y.)

Seramik endüstrisi, bu madeni işleyen firmalardan çıkan atıkların geri dönüşüm imkânı sağlaması, yüksek üretim hacmine sahip olması, atıkların büyük miktarlarda tüketilmesine imkân vermesi sektörü bu mineralin işlenmesi için önemli seçeneklerden biri yapmaktadır (Cavallo, 2018).

Serpantinitlerin süs taşı olarak kullanımı oldukça yaygındır ve çoğu zaman kabaşon ya da damla halinde kesilir (Şekil 11). Genellikle bir dizi yeşil, sarı ve siyah renk sergilerler ve çoğu zaman ilginç kapanımlar olarak manyetit, kromit veya diğer mineralleri içerebilirler (King, t.y.).



Şekil 11: Çeşitli serpantin türlerinden kesilmiş üç farklı serpantin kabaşonu (King, t.y.).

Bazı serpantinilere oyularak şekil verilebilir. Düzgün bir dokuya sahip, boşlukları ve kırıkları olmayan ince taneli, yarı saydam malzeme tercih edilir. Serpantin nispeten yumuşaktır ve kolayca oyulur. Güzel bir cilayı da kabul eder ve sonucunda dikkat çekici heykeller oluşturulabilir. Serpantinitten oyulma heykellerin boyutları bir santimetrenin altından birkaç metre yüksekliğe kadar değişir. Kâseler, vazolar, masa takımları, saat altlıkları, hayvanlar, meyveler, çiçekler, efsanevi figürler, büstler ve heykeller serpantinle çalışan sanatçıların ortak nesnelere (Şekil 12).



Şekil 12: Serpantinit kayacının oyulmasıyla ortaya çıkarılan farklı boyutlardaki heykeller (King, t.y.; Serpentine Stone Horse, t.y.; Serpentine Galloping Horse, t.y.)

Serpantinitler, tarımda uygulama için çeşitli özelliklere sahiptir ve bir magnezyum, silika ve Ni-Cr kaynağı olarak kullanılabilir. Aynı zamanda serpantin minerallerinden biri olan brusitin (magnezyum hidroksit) varlığı nedeniyle tipik olarak asidik toprakların pH'ını yükseltmek için de kullanılmaktadır. Serpantinitin “nitrojen, fosfor ve potasyum” ile kombinasyon halinde Mg kaynaklı gübre olarak tarım alanında denendiği ve başarılı sonuçlar alındığı bilinmektedir (Błońska vd., 2017)

Serpantinit %32-38 MgO ve %35-40 SiO₂ içerir ve bu oksit değerleri Mg ve Si eldesi için serpantinitlerin kullanılabileceğini göstermektedir. Saf magnezyum bileşikleri, serpantinitten asitle süzme yoluyla aşağıdaki reaksiyonla üretilebilir (1):



Magnezyum hidroksit (brusit) ana uygulamaları arasında şeker rafine edilmesinin yanı sıra endüstriyel kâğıt ve selüloz üretimi ve uranyum işlemeden söz edilebilir. Plastik ve köpük endüstrisinde, magnezyum hidroksit, plastik malzemelerde yanma olasılığını ve alevin yayılmasını en aza indirmek için kullanılan bir alev geciktirici görevi görür. Magnezyum hidroksit ayrıca, ağır metal iyonlarının uzaklaştırılması için atıkların arıtılmasında çöktürücü bir madde olarak kullanılabilir (Sain vd., 2004).

Serpantin ayrıca mükemmel bir amorf silika kaynağı olabilir. Amorf silika, lastikler, kauçuk ürünler gibi ürünlerin güçlendirilmesinde; kauçuk üretimi, böcek ilaçları, kâğıt sanayii, katalizör desteği ve kimyasal sensörlerde kullanılmaktadır.

Serpantin, çelik üretim sürecinde MgO içeren bir madde olarak kullanılmaktadır. MgO, cürufu oluşturmak için erimiş çelikteki safsızlıklarla birleşir. Bu yan ürün cüruf, yol kaplama, beton agregası ve dolgu gibi farklı uygulamalarda kullanılabilir (Carmignano ve Carvalho, 2014).

Serpantin, Si temelli bir koruyucu tabaka oluşturmak için katkı olarak kullanılabilir. Deneysel veriler, bu katkı maddesinin kendi kendini onaran film katmanının oluşumunda yer aldığını göstermektedir. Fe/Cr ve serpantin arasında meydana gelen izomorfik yer değiştirmeler metalin kendi kendini tamir etmesinde etkin rol oynadığını ortaya koymaktadır (Qi vd., 2013).

Serpantin bir diğer kullanım alanı da, polipropilen kompozitlerde dolgu maddesi olarak kullanılmasıdır. Kompozitlerde serpantin dolgu kullanımı onların mekanik ve termokimyasal kararlılığında önemli sonuçlar elde edilmesine yol açar (Tan ve Tincer 2011). Serpantinler hem yüksek hem de düşük yoğunluklu polietilende ağırlıkça %20-40 oranında kullanıldığında, polietilenin mekanik özelliklerinde önemli bir artışa yol açmaktadır.

Altı değerli krom, kromat (CrO_4^{2-}) ve dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) olarak iki ana formda bulunur ve her iki form da doğası gereği oldukça zehirlidir. Bu iyon genellikle kaplama, pigment, krom kaplama, deri tabaklama ve metal kaplamadan kaynaklı endüstriyel atık sulara karışmaktadır. Altı değerlikli kromun uzaklaştırılmasında da serpantinler oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Du vd., 2019).

Serpantinler tarafından karbondioksit tutulması, mineral karbonasyonu yoluyla ultramafik ve bazaltik kayalarda karbondioksit (CO_2) depolanması, antropojenik kaynaklardan CO_2 'nin uzaklaştırılmasını, ilgili gazın yakalanmasını ve depolanmasını amaçlar (del Real ve Vishal, 2016). Bu işlem için genel olarak CO_2 , karbonik asit oluşturan çözelti içinde çözülür. Bu, ortamda bir pH düşüşüne neden olarak magnezyum silikatın çözünmesine ve devamında karbonatlaşmaya müsaade edilir. Bu süreç, Mg^{2+} 'nin asidik pH'ta çözünmesi ardından bazik pH'ta

magnezyum karbonatın çökmesi olarak iki aşamada özetlenebilir (Farhang vd., 2016).

Asbest, kristal ve kimyasal özellikleri bakımından farklılık gösteren iki lifli mineral ailesi için kullanılan ortak addır ve ağırlıklı olarak serpantin minerallerinden krizotil türünde bulunur. Asbestin kullanımı, esas olarak asbestin çıkarılması ve üretimiyle ilgili sağlık riskinin doğrulanmasının ardından, birçok ülkede yasaklanmıştır (Bonifazi vd., 2018). Asbeste maruz kalmanın canlıların DNA ya da RNA gibi hücresel bilgi ve yönetim zincirlerinin moleküler yapısını değiştirerek söz konusu canlıların doğal olarak beklenen düzeyin çok üzerinde mutasyona uğramasına neden olan fiziksel veya kimyasal etkileri vardır. Asbestin belirli bir süre solunum yoluyla vücuda alınması özellikle akciğer zarı kanseri (mezotelyoma) gibi asbestle ilişkili bazı hastalıklara neden olur (Kim ve Hong, 2017; Szymańska ve Lewandowska, 2019). En tehlikeli lifler, çözünürlüğü az olan 0-1 µm çapında ve 5-10 µm uzunluğunda olan liflerdir (Kusiorowski vd., 2013; Mackenzie ve Meinhold, 1994).

SONUÇ

Serpantinitler ve serpantinitleri oluşturan mineral ailesi çok ilginç fizikokimyasal özelliklere ve farklı teknolojik uygulamalar için büyük bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyele rağmen nispeten az sayıda çalışma yapılmıştır. Yine de serpantinlerin potansiyel uygulamaları üzerine gelecekteki araştırmalar için çeşitli yönler ve zorluklar ele alınmalıdır.

Önemli bir konu, şu anda kullanılmayan serpantinit madenciliği atıklarının kullanılmasıdır. Bu ince atık tozunun potansiyel uygulamalarından bazıları, bir polimer dolgu maddesi olarak kullanımı, katalizör ve adsorbent üretimidir. Serpantinit araştırmasının bir diğer önemli yönü, tarım için Mg'nin varlığını artırmak için yapısal değişimler ve ayrıca tarımda yeni bir uygulama için eski fosfat ve çinko gibi besinlerin adsorpsiyonudur. Maliyet ve çevresel etki açısından MgO ve SiO₂'yi ayırmak daha verimli süreçler için oldukça önemlidir (Carmignano vd., 2020). Diğer bir güncel eğilim, jeopolimerlerde kullanmak için silika elde etme amacıyla serpantinitlerin kullanımınıdır. Serpantinitin çelik endüstrisinde önemli bir kullanım alanına sahip olması nedeniyle üretilen serpantinit temelli cüruf atıklarının yeni uygulamaları önem arz etmektedir (Carmignano vd., 2020). Serpantinleşme süreçlerinin havadaki serbest CO₂'yi yakalayıp bağlayabilme doğası gereği bu uygulamanın geliştirilmesi her geçen gün kirlenen atmosferimiz için oldukça mühim bir çalışma olacaktır. Serpantinit kullanımında bir diğer önemli ve dikkat edilmesi gereken husus, önemli bir mesleki endişe kaynağı olan zararlı krizotil asbest liflerinin varlığıdır.

REFERANSLAR

- Antigorit (t.y.) Erişim adresi <https://www.mindat.org/min-260.html>
- Asbest (t.y.) Erişim Adresi <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/asbestos-statistics-and-information>
- Błońska, E., Pająk, M., Małek, S., ve Januszek, K. (2017). Effects of Serpentinite Fertilization with N, P, and K Fertilizers on Soil Properties and Needle Chemistry. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48, 692–704.
- Bonifazi, G., Capobianco, G., ve Serranti, S. (2018). Asbestos containing materials detection and classification by the use of hyperspectral imaging. *Journal of Hazardous Materials*, 344, 981–993.
- Cannat, M., Fontaine, F., ve Escartin, J. (2010). Serpentinization and associated hydrogen and methane fluxes at slow spreading ridges. Editörler P.A. Rona, C.W. Devey, J. Dymont, B.J. Murton, *Diversity of Hydrothermal Systems on Slow Spreading Ocean Ridges* (pp 241-264), American Geophysical Union Geophysical Monograph 188.
- Carmignano, O.R.D.R., ve Carvalho, C. de F. (2014). Comparison between bentonite and serpentinite in the production process of iron ore pellets. *Revista Escola de Minas*, 67, 47–53.
- Carmignano, O.R.D.R., Vieira, S.S., Brandão, P.R.G., Bertoli, A.C., ve Lago, R.M. (2020). Serpentinites: Mineral structure, properties and technological applications. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 31, 2–14.
- Cavallo, A. (2018). Serpentinic waste materials from the dimension stone industry: Characterization, possible reuses and critical issues. *Resources Policy*, 59, 17–23.
- Coleman, R.G. (1977). *Ophiolites: Ancient Oceanic Lithosphere?* Berlin: Springer.
- Deer, W.A., Howie, R.A. ve Zussman, J. (2009). *Rock-Forming Minerals, Volume 3B. Layered Silicates Excluding Micas and Clay Minerals*. London: Geological Society of London.
- del Real, P.G., ve Vishal, V. (2016). *Geologic Carbon Sequestration, Geologic Carbon Sequestration: Understanding Reservoir Behavior*. Switzerland: Springer International Publishing.
- Du, J.F., Dong, Z. ve Zhao, L. (2019). Radiation synthesis and heavy metal ions removal of cellulose microsphere based adsorbent. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 344, 012072.
- Evans, B.W., Hattori, K., ve Baronnet, A. (2013). Serpentinite: What, why, where? *Elements*, 9, 99–106.

- Farhang, F., Oliver, T.K., Rayson, M., Brent, G., Stockenhuber, M., ve Kennedy, E. (2016). Experimental study on the precipitation of magnesite from thermally activated serpentine for CO₂ sequestration. *Chemical Engineering Journal*, 303, 439–449.
- Fryer, P., Wheat, C.G., Mottl, M.J., (1999). Mariana blueschist mud volcanism: Implications for conditions within the subduction zone. *Geology*, 27, 103-106
- Guillot, S., ve Hattori, K. (2013). Serpentinites: Essential roles in geodynamics, arc volcanism, sustainable development, and the origin of life. *Elements*, 9, 95–98.
- Hattori, K. ve Guillot, S. (2007). Geochemical character of serpentinites associated with high- to ultrahigh-pressure rocks in the Alps, Cuba, and the Himalayas: Recycling of elements in subduction zones. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 8(9), 1-27.
- Kelemen, P.B. ve Matter, J. (2008). In situ carbonation of peridotite for CO₂ storage. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105: 17295-17300
- Kim, Y.-C. ve Hong, W.-H. (2017). Optimal management program for asbestos containing building materials to be available in the event of a disaster. *Waste Management*, 64, 272–285.
- King, H. M. (t.y.) Erişim adresi <https://geology.com/minerals/serpentine.shtml>
- Krizotil (t.y.) Erişim adresi <https://www.mindat.org/min-975.html>
- Kusiorowski, R., Zaremba, T., Piotrowski, J., ve Gerle, A. (2013). Thermal decomposition of asbestos-containing materials. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 113, 179–188.
- Lizardit (t.y.) Erişim adresi <https://www.mindat.org/min-2425.html>
- Mackenzie, K.J.D. ve Meinhold, R.H. (1994). A glass-bonded ceramic material from chrysotile (white asbestos). *J. Mater. Sci.*, 29, 2775–2783.
- Martin, A.W. (t.y.) The Trouble With Serpentine: College Hall [Blog Gönderisi]. Erişim Adresi <https://valleyvillage.home.blog/2019/02/15/the-trouble-with-serpentine-college-hall/>
- Qi, X., Jia, Z., Chen, H., Yang, Y., ve Wu, Z. (2013). Self-Repairing characteristics of serpentine mineral powder as an additive on steel-chromium plating pair under high temperature. *Tribol. Trans.*, 56, 516–520.
- Sain, M., Park, S., Suhara, F., ve Law, S. (2004). Flame retardant and mechanical properties of natural fibre–PP composites containing magnesium hydroxide. *Polymer Degradation and Stability*, 83, 363–367.

- Serpantin (t.y.) <https://www.stone-ideas.com/tr/94873/tauerngrun-serpentinite-lausitzer-steinbau/>
- Serpantin (t.y.). Erişim adresi <https://www.mindat.org/photo-1013895.html>
- Serpentine Galloping Horse (t.y.) Erişim Adresi <https://www.3jade.com/natural-serpentine-galloping-horse-statue-xiu-jade-carving-sculpture/>
- Serpentine Stone Horse (t.y.) Erişim Adresi <https://www.rubylane.com/item/501662-7258/Hefty-Chinese-Serpentine-Stone-Horse-Head?search=1>
- Szymańska, D., ve Lewandowska, A. (2019). Disposal of asbestos and products containing asbestos in Poland. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 21, 345–355.
- Tan, S., ve Tincer, T. (2011). Preparation and characterization of polypropylene/serpentine composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 121, 846–854.
- Zulumyan, N., Isahakyan, A., Beglaryan, H., Melikyan, S., ve Terzyan, A. (2019). The development of a new route to the synthesis of strontium orthosilicate. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 137(4), 1471.

24. Bölüm

Mangan Jeolojik-Mineralojik Özellikleri, Kullanım Alanları ve Önemi

Mehmet Ali ERTÜRK¹

Abdullah SAR²

Mustafa Eren RİZELİ³

¹ Arş. Gör. Dr.; Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü.
erturkmae@gmail.com ORCID No: 0000-0003-1197-9202

² Arş. Gör. Dr.; Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü.
asar@firat.edu.tr ORCID No: 0000-0002-9752-7807

³ Arş. Gör. Dr.; Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü.
m.erenrizeli@gmail.com ORCID No: 0000-0003-3725-3063

ÖZ

Manganez, Mn sembolü ile gösterilir. Manganezin atom numarası 25, atom ağırlığı 54,93'tür. Geçiş metalleri arasında yer alır, metalik görünüşlüdür. Erime noktası 1246°, kaynama noktası 2061°'dir. Grimsi metal bir rengi vardır. Kristal yapısı, hacim merkezli kübik kafeslidir. Toz haline getirilebilir. Sert, gevrek ve kırılğan yapıda olup, elektrik ve ısıyı iletir. Geçiş elementleri arasında ise demirden sonra en bol bulunan ikinci elementtir. Doğada demir başta olmak üzere birçok elementle bağlı olarak bulunmaktadır. Doğal olarak karbonat, oksit, sülfür, spat ve silikat halinde dağılmış olarak bulunur. En önemli mangan cevherleri, piroluzit, romaneşit, manganit ve hausmannit oksitleri ve karbonat cevheri olan rodokrozit'dir. Doğada 300'ün üzerinde mangan içeren mineral bulunmaktadır. Yalnızca %35'ten fazla mangan içeren cevherler ticari olarak kullanılabilir olarak kabul edilir. Kimyasal özellikleri bakımından demirle benzerlikler gösterir. Demir gibi nemli ortamlarda paslanır. Yüksek sıcaklıklarda oksijen ve hava ile yanar. Isısına göre suyu ayrıştırabilmektedir. Isısı arttıkça ayrıştırma hızı da artar. Seyreltik mineral asitlerinde kolayca çözünür ve hidrojen açığa çıkar.

Manganez, yer kabuğunda nispeten bol bulunan bir elementtir ve bolluk açısından 12. sırada yer alır ve ortalama konsantrasyonu yaklaşık %0.1'dir. Demir içeren bir metal olan mangan, modern endüstriyel ekonomilerde vazgeçilmez bir elementtir ve tüm endüstrileşmiş ülkeler tarafından büyük miktarlarda tüketilmektedir. Mangan, kükürt giderme, oksit giderme, alaşımlama özellikleri ve diğer kimyasal özellikleri nedeniyle önemlidir. Manganın bolluğu ve istikrarlı üretimi sanayileşmiş ülkeler ile gelişmekte olan ülkeler için kritik öneme sahiptir. Mangan çelik üretiminde, manganizyum alaşımlı pil üretiminde, çeşitli kimyasal ve pigment üretiminde, su arıtma sistemlerinde, tarımsal gübre ve hayvan yemine katkı malzemesi olarak, tıbbi uygulamalar ve birçok metalurjik uygulamalarda yoğun olarak kullanılır.

Anahtar Kelimeler: Manganez, Mangan, Mangan Mineralleri, Sedimanter Kayaçlar, Diyajenez, Metamorfizma.

1. MANGAN TARİHÇESİ ve JEOLojİK OLUŞUMU

1740 yılında Alman kimyager Johann Heinrich Pott, manganı kimyasal anlamda araştıran ilk kişidir. Ancak araştırmalarında sadece güçlü oksitleyici olan potasyum permanganat elde edebilmiştir. Avusturyalı kimyacı Ignatius Goofried Kaim, mangan metalinin nasıl elde edileceğini 1770 yılında yayınlanan doktora tezinde açıklamıştır. 1774 yılında İsveçli kimyacı ve mineralog olan Johan Gottlieb Gahn bilimsel olarak mangan elementini bulan kişi olarak kabul edilir ve pirolüsit mineralinden manganı izole etmeyi başarmıştır. 1856 yılında Sir Henry Bessemer, çelik-mangan alaşımı elde ederek mangana ticari önemini kazandıran ilk kişi olarak bilinmektedir.

Manganez, periyodik tablonun 4. periyodunun 7B grubunda yer alan bir elementtir (Şekil 1). Yer kabuğunda nispeten bol bulunan bir elementtir ve bolluk açısından 12. sırada yer alır. Kabuk kayaçları yaklaşık olarak %0.1 oranında mangan içerir ve mangan konsantrasyonu kayaç türüne göre değişir. Bazalt gibi mafik kayaçlar tipik olarak yaklaşık %0.16 mangan içerirken, granitik kayalar yaklaşık %0.06 mangan içerir. Manganez cevherleri en az %15 mangan içerir, ancak çoğu cevher, yaklaşık %50'ye kadar değişen oranlarda önemli ölçüde daha yüksek dereceli mangan içerir. Bu nedenle, mangan cevherinin oluşumu, manganezi ortalama kabuk bolluğunun en az 150 katı ve daha yüksek dereceli cevherler için 500 katına kadar yoğunlaştıran bir jeokimyasal sistem gerektirir (Cannon vd., 2017). Manganezin birçok kimyasal benzerliği paylaştığı ve genellikle bileşimsel olarak ilişkili olduğu demiri konsantre etmeden güçlü mangan zenginleştirilmesi üretilebilmesi için ek bir özel koşullar dizisi gereklidir. Manganez cevherleri, tipik kabuk kayalarına göre çok daha yüksek bir mangan-demir oranına sahiptir. Hemen hemen tüm mangan cevherleri, manganezin en azından kısa mesafeler için su çözeltilerinde taşınması ve mangan minerallerinin bu çözeltilerden yeterince yüksek konsantrasyon ve hacimlerde çökeltilebilir cevher kütleleri oluşturması sonucunda oluşmuştur. Sudaki mangan çözünürlüğünü kontrol eden faktörleri ve mangan içeren suyun metrelerce ölçekteki davranışını okyanus havzalarına kadar anlamak, mangan metalojenezini anlamının anahtarıdır (Cannon vd., 2017).

Mangan doğada yaygın olarak dağılır ve çeşitli minerallerde, kayaçlarda, topraklarda ve sedimanlarda bulunur. Karasal kaynaklara ek olarak, mangan, deniz tabanına geniş bir şekilde dağılmış nodüllerde bulunur. Daha yüksek dereceli nodüller, önemli miktarlarda kobalt, bakır ve nikel ile birlikte %10-20 arasında mangan içerir. Manganezin birincil jeolojik oluşumu, mangan üretiminin çoğunu oluşturan sedimanter yataklardır. Bu oluşumlar, manganezin

deniz suyu veya yeraltı sularından milyonlarca yıl boyunca deniz veya göl ortamlarında çökmesiyle oluşur. Sedimanlar birikip gömüldükçe, manganer mineralleri diyajenez ve metamorfizma gibi jeolojik süreçlerle manganer cevherlerine dönüştürülür.

Los Alamos NATIONAL LABORATORY CHEMISTRY

element names in blue are liquids at room temperature
 element names in red are gases at room temperature
 element names in black are solids at room temperature

Şekil 1. Manganer elementinin periyodik cetveldeki yeri (URL-1)

2. MANGAN CEVHER MİNERALOGİSİ

Manganer birçok mineralde eser element olarak bulunur, ancak cevher mineralleri manganer oksitler, hidroksitler, karbonatlar ve silikatlarla sınırlıdır. Manganer cevherleri tipik olarak doğada çeşitli şekillerde manganer içeren mineraller olarak bulunur (Şekil 2).

Cevher yataklarında en yaygın manganer mineralleri mangan oksitlerdir ve bunu mangan karbonatlar takip eder. Bununla birlikte, manganer zenginleştirilmiş tüm kayaçlar dikkate alındığında, manganer karbonatlar en bol bulunan manganer mineralleridir. Oksitler arasında, pirolüsit (mangan oksit) ve kriptomelan (potasyum içeren mangan oksit), en çok bilinenlerdir. Karbonat mineralleri, rodokrozit (bir manganer karbonat) ve kutnahoritir (kalsiyum-manganer karbonat). Ek olarak, manganer hidroksit manganit, manganer silikat mineral braunit gibi çok yaygın olarak bulunan bir cevher mineralidir. Manganer minerallerinden en bol bulunan bu minerallerin bazı özelliklerinin açıklamaları aşağıda verilmiştir:

Rodokrozit ($MnCO_3$): Rodokrosit, kahverengi, gri veya sarı da olabilmesine rağmen tipik olarak pembe ile kırmızı renkte olan bir manganer karbonat mineralidir. Genellikle gümüş ve kurşun cevherleriyle ilişkili hidrotermal damarlarda ve sedimanter yataklarda bulunur. Şu anda alt ekonomik oluşumlar da dahil olmak üzere bilinen yataklarda en yaygın olarak bilinen manganer mineralidir.

Pirolusit (MnO_2): Pirolusit, en yaygın manganer mineralidir ve manganer için birincil cevher mineralidir. Tipik olarak siyah ile koyu gri renktedir ve metalik bir parlaklığa sahiptir. Pirolusit genellikle okyanus tabanındaki nodüller ve kabuklar dahil olmak üzere sedimanter kayaçlarda bulunur.

Psilomelan ($BaMn_9O_{18}(OH)_4$): Psilomelan, siyahtan koyu kahverengiye kadar değişen bir grup manganer oksit mineralidir. Genellikle batryoidal veya sarkıt agregalar olarak oluşur, sedimanter ve hidrotermal yataklar dahil olmak üzere çeşitli manganer yataklarında bulunabilir.

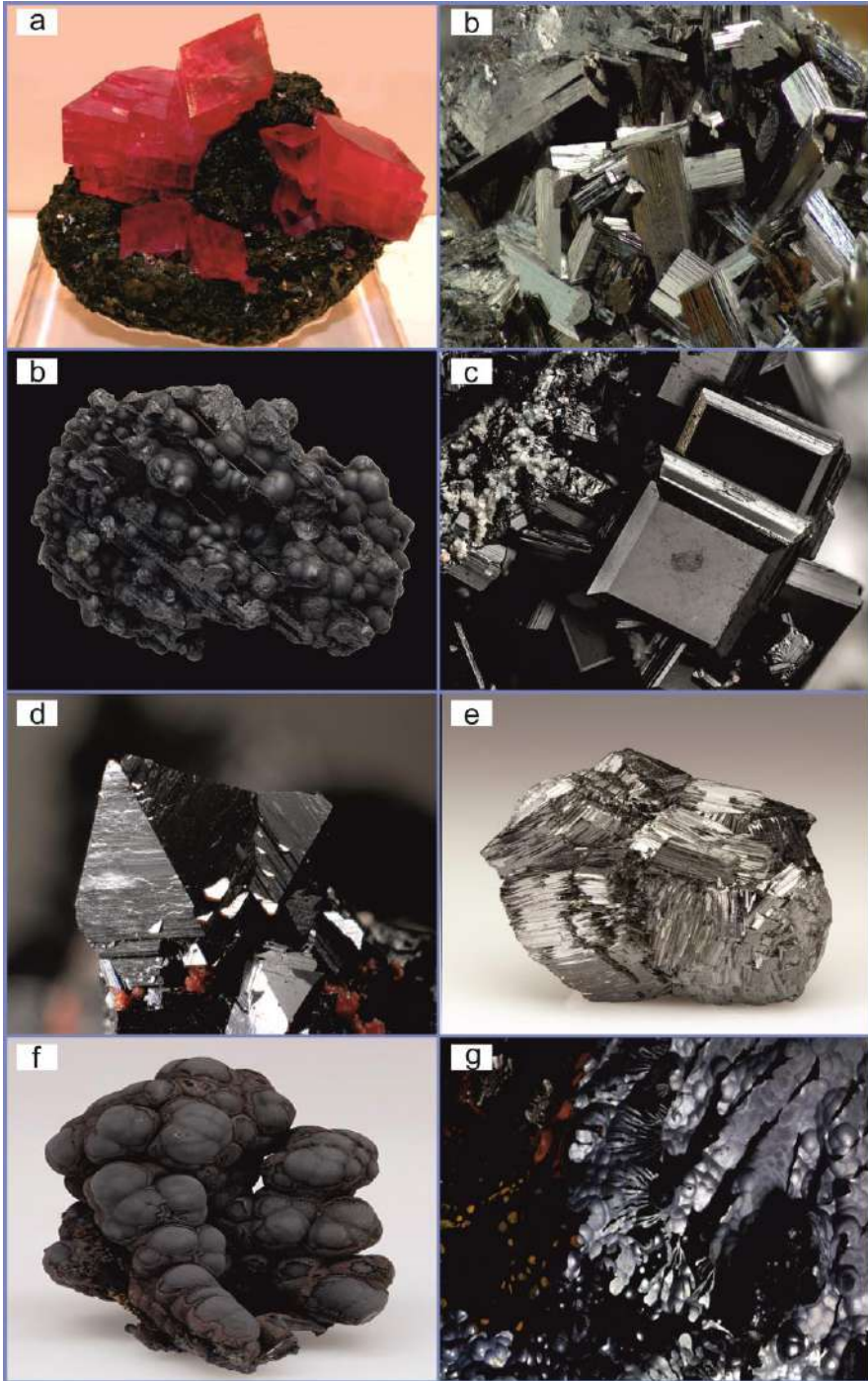
Braunit ($Mn^{+2}Mn^{+3}_6(SiO_4)_8O_8$): Braunit, tipik olarak siyahtan koyu kahverengiye değişen bir manganer silikat mineralidir. Metamorfik kayaçlarda bulunur ve genellikle pirolusit ve rodokrosit gibi diğer manganer mineralleri ile ilişkilidir.

Hausmannit ($Mn^{+2}Mn^{+3}_2O_4$): Hausmannit, tipik olarak siyah veya kahverengimsi siyah renkli bir manganer oksit mineralidir. Hidrotermal damarlarda bulunur ve genellikle pirolusit ve psilomelan gibi diğer manganer mineralleri ile ilişkilidir.

Manganit ($MnO(OH)$): Manganit, tipik olarak siyah ile koyu kahverengi renkte olan bir manganer oksit hidroksit mineralidir. Genellikle hidrotermal damarlarda bulunur ve diğer manganer minerallerinin alterasyon ürünü olarak da ortaya çıkabilir.

Kriptomelan ($K(Mn^{+4}Mn^{+2})_8O_{16}$): Kriptomelan, tipik olarak siyah renkli bir potasyum manganer oksit mineralidir. Genellikle okyanus tabanındaki nodüller ve kabuklar dahil olmak üzere sedimanter kayaçlarda bulunur.

Bunlar doğada bulunan yaygın manganer cevheri minerallerinden bazılarıdır. Manganer cevherleri, belirli yatak ve jeolojik koşullara bağlı olarak başka mineraller ve elementler de içerebilir.



Şekil 2a. Rodokrozit minerali, **b.** Pirolusit minerali, **c.** Psilomelan minerali **d.** Braunit minerali, **e.** Hausmannit minerali, **f.** Manganit minerali, **g:** Kriptomelan minerali (URL-2)

3. MANGAN KULLANIM ALANLARI

Çelik üretimi: Manganez, çeliğin mukavemet, dayanıklılık ve aşınma direnci gibi özelliklerini iyileştirerek deoksidize edici ve kükürt giderici olarak işlev gördüğü çelik üretiminde temel bir elementtir. Manganez, inşaat, demiryolu rayları ve ağır makineler gibi yüksek mukavemet gerektiren uygulamalarda kullanılan östenitik manganez çeliği dahil olmak üzere çeşitli çelik alaşımlarında kullanılır.

Piller: Manganez, yüksek elektrokimyasal aktivitesi nedeniyle alkalın piller ve şarj edilebilir piller dahil olmak üzere pillerin üretiminde kullanılır. Manganez, taşınabilir elektronik cihazlarda ve elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılan lityum-iyon pillerin katodunda bileşen olarak kullanılmaktadır.

Pigmentler: Manganez dioksit (MnO₂) gibi manganez bileşikleri, koyu renkler üretme ve solmaya karşı direnç gösterme özelliklerinden dolayı boya, seramik ve camda pigment olarak kullanılır.

Gübreler: Manganez, bitki büyümesini iyileştirmek ve fotosentezi geliştirmek için gübrelerde bir bileşen olarak kullanılır. Manganez, fotosentez ve nitrojen metabolizması dahil olmak üzere çeşitli metabolik süreçlerde rol oynayan bitkiler için gerekli bir mikro besindir.

Diğer endüstriyel uygulamalar: Manganez, alaşımların, kimyasalların üretimi ve kimyasal işlemlerde bir katalizör olarak dahil olmak üzere çeşitli başka endüstriyel uygulamalara sahiptir. Manganez, paslanmaz çelik, alüminyum alaşımları ve diğer demir dışı alaşımların üretiminde kullanılır. Manganez bileşikleri, petrokimya üretimi gibi kimyasal reaksiyonlarda ve içme suyundan safsızlıkları gidermek için su arıtma endüstrisinde katalizör olarak kullanılır.

Sonuç olarak manganez, çelik üretiminden pillere, pigmentlere, gübrelere ve diğer endüstriyel işlemlere kadar çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Eşsiz özellikleri ve çok yönlü reaktivitesi, onu modern endüstrilerde değerli bir unsur haline getirerek çeşitli teknolojik gelişmelere ve ekonomik gelişmeye katkıda bulunur.

4. MANGAN REZERV VE PİYASA DURUMLARI

Türkiye, Alp-Himalaya orojenik kuşağında yer alır ve Tetis Okyanusu'nun evrimine bağlı olarak oluşan D-B yönlü mangan yataklarını içerir. Yatakların çoğu, geniş madencilik faaliyetlerine maruz kalan radyolarit-şeyl aralanmasında derin deniz çökellerinde meydana gelir. Ancak, bu oluşumlar veya birikintiler Kretase'nin yığışım kompleksinde tektonik tabakalar veya bloklar halinde ortaya çıkar ve çok nadiren ekonomik bir dereceye ulaşır. Türkiye'de birçok farklı türde mangan yatağı bulunmasına karşın, bunlar birkaç

milyon ton rezervi geçmemektedir. Potansiyel ve ekonomik olarak, iki önemli manganez yatağı siyah şeyl barındırır (Öztürk vd., 2019). Bunlar Denizli-Tavas-Ulukent mangan yatakları ve Trakya Havzası Binkılıç mangan yataklarıdır

Türkiye'de radyolara çört litolojileri, ofiyolitik melanj kompleksi içinde bloklar halinde iyi yüzeylenir ve kenet kuşağında/ve yakınında çok sayıda demir ve manganez içeren oksit yataklarını barındırır, ancak temel litolojiler üzerine bindirilmiş bazı ofiyolitik melanj birimleri daha fazla kenet bölgesinden uzakta bulunur (Aydoğan 2021).

Türkiye'deki demir ve mangan cevher yatakları, jeotektonik ortamlara, oluşum süreçlerine ve yan kayaçlara bağlı olarak dört ana tipe ayrılır: (1) siyah şeyl yatakları (Batı Toroslar), (2) radyolar çört yatakları (Paleotetis) Karakaya Kompleksi ve Neotetis Kenet Zonları), (3) Oligosen sedimanter yataklar (Trakya Havzası, KB Türkiye), (4) Volkanik yay bağlantılı (Doğu Pontidler) ve/veya damar tipi Fe-Mn yatakları (Aydoğan 2021). Bu yataklardan Fe-Mn oksit yataklarının çoğu, Tetis okyanusunun iki ana fazında (Paleo-Tetis ve Neo-Tetis) deniz tabanı çökelme ortamıyla ilişkilidir (Öztürk 1997; Öztürk ve Hein 1997; Gültekin ve Balcı 2018; Öksüz ve Okuyucu 2014; Öztürk vd., 2019; Aydoğan 2021).

Dünya geneli mangan üretimi ve rezerv durumları Tablo 1'de verilmiştir. Manganezin önde gelen kullanımı olan küresel çelik üretimi, Rusya ile Ukrayna arasındaki çatışmadan kaynaklanan tedarik zinciri kesintileri ve Çin'deki aralıklı koronavirüs hastalığı 2019 (COVID-19) pandemisiyle ilgili kilitlenmeler nedeniyle 2021'deki üretime kıyasla 2022'de azaldı. Manganez cevheri üretimi için önde gelen ülkeler sırayla Güney Afrika, Gabon ve Avustralya'dır (Şekil 3). Sınırlı ağırlık bazında, toplam ABD manganez ithalatının 2022'de 2021'dekilere kıyasla neredeyse %20 arttığı tahmin ediliyor. Eylül 2022 itibarıyla, Çin'den %44 manganez cevheri için ortalama spot piyasa fiyatları 2021'deki yıllık ortalama spot fiyatıyla karşılaştırıldığında %23 artmıştır (USGS 2023). Mart 2023'te, Çin'e yapılan manganez cevheri teslimatları için ortalama spot fiyatlar sırasıyla metrik ton birim başına 4,63 \$ (%36-%38 kalite) ve ton birim başına 5,78 \$'dır (%44 kalite).

Tablo 1. 2021-2022 yılları dünya geneli mangan üretimi ve rezerv durumları (USGS 2023)

	Mangan Üretimi		Rezerv
	2021	2022	(ton)
Amerika Birleşik Devletleri	-	-	-
Avustralya	3260	3300	270000
Brezilya	542	400	270000
Burma	206	200	-
Çin	991	990	280000
Fildişi Sahili	362	360	-
Gabon	4340	4600	61000
Gürcistan	224	220	-
Gana	940	940	13000
Hindistan	453	480	34000
Kazakistan (konsantre)	90	110	5000
Malezya	356	360	-
Meksika	226	230	5000
Güney Afrika	7200	7200	640000
Ukrayna (konsantre)	600	400	140000
Vietnam	146	150	-
	15	15	
Diğer ülkeler	0	0	-
Dünya toplamı (yuvarlanmış)	20100	20000	1700000



Şekil 3. Güney Afrika'daki Mamatwan açık ocak mangan madeninin genel görünümleri (URL-3)

5. SONUÇLAR

- Manganez, atom sembolü Mn ve atom numarası 25 olan kimyasal bir elementtir.
- Periyodik tablonun 7. Grubuna (VIIB) ait bir geçiş metalidir.
- Manganez gümüşi gri metalik bir görünüme sahiptir ve saf haliyle sert ve kırılıgandır.
- Çeşitli mineraller ve cevherlerde doğal olarak bulunan, yer kabuğunda nispeten bol bulunan bir elementtir.
- Manganez, çelik, pil ve diğer uygulamaların üretiminde tarihsel ve endüstriyel öneme sahip olarak insanlar tarafından binlerce yıldır bilinmekte ve kullanılmaktadır.
- Manganez, fiziksel özellikleri (erime noktası, kaynama noktası, yoğunluğu ve kristal yapısı gibi), kimyasal özellikleri (oksidasyon durumları, reaktivite, kompleks oluşumu, asit-baz özellikleri ve redoks reaksiyonları gibi) dahil olmak üzere çeşitli özelliklere sahiptir.
- Manganez, cevherlerinden madencilik, zenginleştirme ve eritme dahil olmak üzere çeşitli yöntemlerle çıkarılabilir.
- Manganezin çelik üretimi, piller, elektronik, kimyasallar, seramik ve tarım gibi birçok kullanım alanı ve uygulaması vardır.
- Manganez, oksijen, asitler, redoks reaksiyonları, kompleks oluşumu, çökelme reaksiyonları ve yer değiştirme reaksiyonları dahil olmak üzere çeşitli kimyasal reaksiyonlara maruz kalabilir.
- Birden fazla oksidasyon durumunda var olma ve karmaşık bileşikler oluşturma yeteneği, manganezi birçok kimyasal işlem ve reaksiyonda çok yönlü hale getirir.
- Genel olarak, manganez, metalurji, enerji depolama ve kimyasal üretim gibi çeşitli alanlarda çok önemli bir rol oynayan, çeşitli özelliklere, tarihsel öneme ve endüstriyel uygulamalara sahip önemli bir elementtir.

REFERANSLAR

- Aydoğan, M.S., (2021) An example of ridge-proximal hydrothermal mineralisation: evidence from radiolarian chert-hosted Fe-Mn-oxide mineralisation within the İzmir-Ankara-Erzincan Neotethyan Ocean, Central Turkey, *All Earth*, 33:1, 136-160, 10.1080/27669645.2021.2003009
- Cannon, W.F., Kimball, B.E., and Corathers, L.A., 2017, Manganese, chap. L of Schulz, K.J., DeYoung, J.H., Jr., Seal, R.R., II, and Bradley, D.C., eds., Critical mineral resources of the United States—Economic and environmental geology and prospects for future supply: *U.S. Geological Survey Professional Paper* 1802, p. L1– L28, <https://doi.org/10.3133/pp1802L>.
- Gültekin, A.H., ve Balcı, N. (2018). Geochemical Characteristics of Sedimentary Manganese Deposit of Binkılıç, Trache Basin, Turkey. *Journal of Geology and Geophysics.*, 7(3), 1–13. doi:10.4172/2381-8719.1000336
- Öksüz, N., ve Okuyucu, N. (2014). Mineralogy, Geochemistry, and Origin of Buyukmahal Manganese Mineralization in the Artova Ophiolitic Complex, Yozgat, Turkey. *J Chem*, 2014, 1–11. doi:10.1155/2014/837972
- Öztürk, H., (1997). Manganese Deposits in Turkey: Distribution, Types and Tectonic Setting. *Ore Geology Reviews*, 12(3), 187–203. 10.1016/S0169-1368(97)00005-X
- Öztürk, H., Hein, J.R., (1997). Mineralogy and Stable Isotopes of Black Shale-Hosted Manganese Ores. Southwestern Taurides, *Turkey Economic Geology*, 92(1), 733–744. doi:10.2113/gsecongeo.92.6.733
- Öztürk, H., Kasapçı, C., ve Özbaş, F. (2019). Manganese Deposits of Turkey. In F. Pirajno, T. Ünlü, C. Dönmez, & M. B. Şahin (Eds.), *Mineral Resources of Turkey* Springer Verlag (pp. 261–282).
- USGS, 2023, Mineral commodity summaries 2023: *U.S. Geological Survey*, 210 p., <https://doi.org/10.3133/mcs2023>.
- URL-1: <http://periodic.lanl.gov/images/periodictable.pdf>
- URL-2: <https://www.mindat.org/>
- URL-3: <https://www.mindat.org/photo-727960.html>

25. Bölüm

U Bükme İşleminin Sonlu Elemanlar Analizi

Engin ÜNAL¹

Merve HORLU²

¹ Doç. Dr. ; Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü.
enginunal@firat.edu.tr ORCID No: 0000-0002-0501-3690

² Öğrenci; Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Teknolojileri Ana Bilim Dalı
mervehorlu@gmail.com ORCID No: 0000-0003-0775-2849

ÖZET

Bükme işlemi sac dökümünde önemli bir rol oynar. Bükümlü ürünün istenilen ölçülerde ve açılarda olması çok önemlidir. Bu çalışmada, en sık kullanılan şekillendirme yöntemlerinden biri olan U-bükme işleminde elde edilen test numunelerinin kalıp ve malzeme değişkenlerine göre dayanım ve çekme davranışları incelenmiştir. Şekil değişkeni, şeklin U açısı, erkek şeklin ucunun yarıçapı olarak alınır. Farklı işlem parametreleri için U bükme analizleri Ansys workbench explicit ara yüzünde gerçekleştirildi. Analizlerde titanyum malzemesi seçilerek, eğme radüsü (4, 6, 8 mm) ve baskı hızı (25, 50, 75 mm/sn) parametreleri doğrultusunda karşılaştırılması yapıldı. Yapılan analizler sonucunda numuneye uygulanan kuvvet etkisi ile meydana gelen toplam deformasyon, şekil gerilme miktarı ve kuvvet reaksiyonları analiz edildi. 2mm et kalınlığındaki titanyum saca 25mm/sn baskı hızında U bükme işlemi uygulandı. Değişken olarak üç farklı eğme radüsü değerlendirildi. 6 ve 8 mm baskı yarıçapları maksimum gerilme değerlerinde benzer sonuçlar elde edildi. En yüksek gerilme ise 3650 MPa ile 8mm baskı yarıçapında meydana geldi. Kuvvetler karşılaştırıldığında ise en yüksek kuvvet 3000N ile 8mm eğme radüsünde, en düşük kuvvet ise 4mm eğme radüsünde görüldü. Son olarak baskı yarıçapı 6mm olarak seçilerek baskı hızlarının etkisi numuneler üzerinde kıyaslandı. 25, 50 ve 75 mm/sn baskı hızlarına göre en yüksek kuvvet 3800 N ve gerilmenin 2500 MPa ile 75 mm/sn baskı hızında olduğu görüldü.

1. GİRİŞ

Günümüzde artan teknolojik gelişme, diğer birçok sektör gibi sac sektörünün de talep görmesini ve gelişmesini sağlamıştır. Bükülerek şekillendirilen sac ürünleri, havacılık ve uzay ve otomotiv sanayinin yanı sıra beyaz eşya, savunma sanayi, hassas teçhizat, medikal malzeme, uzay ve havacılık sanayi vb. sektörlerde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerin otomotivden havacılığa kadar birçok alanda kullanıldığı bilinmektedir. Ürünün istenen özelliklerine bağlı olarak malzeme seçimi oldukça geniştir. Beklendiği gibi sac tercihleri, otomotiv güvenlik ekipmanlar dışındaki alanlarda kullanılan yumuşak (sünek) sac malzemelerden uçak motoru gövdelerinde kullanılan çok güçlü saclara kadar değişebilir. Motorlu taşıtların ağırlığının azaltılmasının önemi son yıllarda enerji tüketimi ve çevre koruma politikaları ile artmıştır. Aracın kütlelerinin neredeyse %75'i çelik malzemelerden yapıldığından, kütleli azaltmak için kullanılan malzemeler çok önemlidir. Sac metal şekillendirme metotları; sıvama, kesme, bükme ve ütüleme olarak sınıflandırılmaktadır. Sac metal tasarımında düşük maliyet, zaman ve hassasiyet (boyutlar) alanında öne çıkan önemli faktörlerdir.

Sac metal şekillendirme işlemi, erkek kalıp ve dişi kalıp adı verilen birbirini tamamlayan çelik malzeme kalıp parçaları arasına istenen şekle yerleştirilerek sıkıştırılabilir bir demir levha oluşturmaktır. Şekillendirme sürecinde, sıkıştırma kuvvetinin etkisi altında sacın deformasyonları meydana gelir (Özek, Çelik, and Özek 2013; ŞEN, ÇOLAKOĞLU, and TAŞDEMİR 2021). Bastırma kuvvetini uygulayan deformasyon levhaya istenilen şekli veriyorsa, basma kuvveti kaldırıldığında meydana gelen deformasyon malzemenin eğilme açısını değiştirir. Sac malzemeleri bükerek şekillendirirken karşılaşılan temel sorun geri yaylanmadır. Belirli bir açı değerinde bükülen bir sac malzeme, üzerine uygulanan yük kaldırıldığında bir miktar toparlanmaya çalışacaktır. Bu elastik toparlanmaya geri yaylanma denir. Levhaların kalıplarla şekillendirilmesi sırasında meydana gelen deformasyonlardan levhanın geri yaylanma davranışı bilinirse, işlem süresini kısaltmak ve maliyetleri düşürmek mümkündür. Sac metal şekillendirme için en yaygın kullanılan yöntem, bir V oluşturmak için sac metali bükme kalıpları kullanarak farklı açılarda bükme işlemidir. Sac metal şekillendirmede U-bükme işlemi, bükme, germe ve ters bükme gibi işlemleri içerir. U-bükümlü sac şekillendirme ile ilgili en büyük sorun, bükülmüş sacın geri yaylanmasıdır, yani. bükme işlemi tamamlandığında bükme açısı artar. Bu konuda yapılan araştırmalara göre iyileşmeyi etkileyen en önemli parametreler; sac malzeme, sac kalınlığı, bükme şekli ve bükme sürecidir (Özek and Taşdemir 2018; Şen and Taşdemir 2021; Taşdemir 2020).

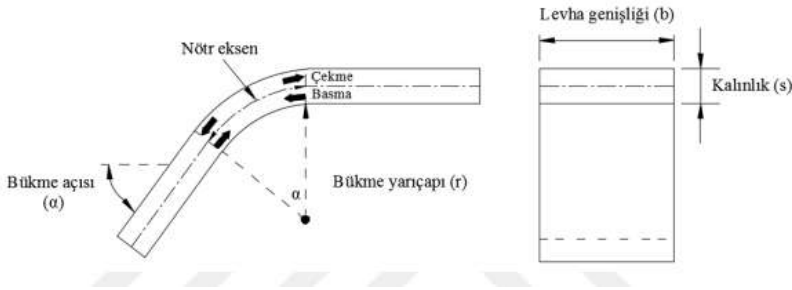
Sac malzemelerin kıvrırma işleminin deneysel çalışmasında zaman, işçilik ve maliyet parametreleri önemli dezavantajlar olarak görülmektedir. Sac malzemelerin özelliklerini belirlemek için laboratuvarlarda deneyler yapmak her zaman mümkün

değildir. Bu durumda, analiz programları ile karşılaşmaktayız. Malzemenin mekanik davranışının, ANSYS gibi yaygın olarak kullanılan sonlu elemanlar analiz yazılımlarında uygun modelleme ile belirlenebileceğini göstermek ve deneysel sonuçları sayısal modelleme ile doğrulamak önemli bir teknik yaklaşımdır. Bu yaklaşım, benzer deneysel modelleri dijital ortamlara aktararak ön araştırma yapmak için kullanılabilir. Çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre deneysel ortamlarda çalışmalara devam edilebilir ve literatüre önemli yaklaşımlar kazandırılabilir (Seçgin and Taşdemir 2020; Şen and Taşdemir 2021; Ünal and Özek 2017).

Bu çalışmada; farklı işlem parametreleri için U bükme analizleri Ansys workbench explicit ara yüzünde gerçekleştirildi. Analizlerde üç farklı malzeme (titanyum, alüminyum ve çelik) için üç farklı eğme yarıçapı (4, 6, 8 mm) ve üç farklı baskı hızında (25, 50, 75 mm/sn) karşılaştırılması numuneye uygulanan kuvvet etkisi ile meydana gelen toplam deformasyon, şekil gerilme miktarı ve kuvvet reaksiyonları analiz edildi.

2. BÜKME İŞLEMLERİ

Sac şekillendirme yöntemleri arasında en yaygın kullanılan işlemlerden biri de bükme işlemidir. Bükme bir malzemenin ısı veya ısı yardım olmaksızın plastik deformasyona uğrayacak şekilde bir eksen etrafında şekillendirilmesi ve malzemenin hacmi değiştirilmeden biçimlendirilmesi işlemidir. Şekil 1'de görüldüğü gibi, bükme işlemi sırasında levhanın dış yüzeyi çekme kuvveti ile, iç yüzeyi ise basma kuvveti ile sıkıştırılmaktadır.



Şekil 1: Bükme işlemi [11]

Çekilen ve sıkıştırılan kısımları ayıran çizgi nötr eksen olarak tanımlanır. Bükülen kısımlarda levha kalınlığının değişmediği kabul edilirse nötr eksen levhanın merkezinden geçer. Bu durumda levhanın iç ve dış yüzeylerindeki gerilmelerin eşit olduğu varsayılır (Çapan 2010).

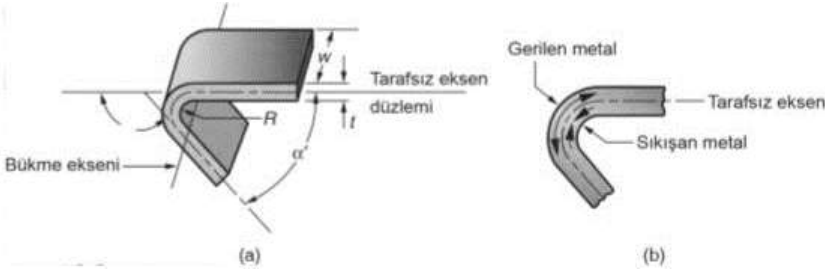
Şekil 2'den de görüleceği üzere eğilme parametreleri;

- α Bükme açısı
- R Bükme yarıçapı

- t Sac kalınlığı
- w Sac genişliği

Bükme şiddeti ile bükme parametreleri arasındaki ilişki ise şöyledir;

- Bükme şiddeti, artan kalınlık ile artar.
- Bükülme açısı değeri arttıkça bükme şiddeti artar.
- Bükülme yarıçapının nötr eksenin altına düşürülmesi bükülme şiddetini artırır.
- Bükme sırasındaki plastik deformasyon miktarı malzemenin cinsine bağlıdır.
- Sac malzeme sertliği ile bükme direnci arasında ters bir ilişki vardır.



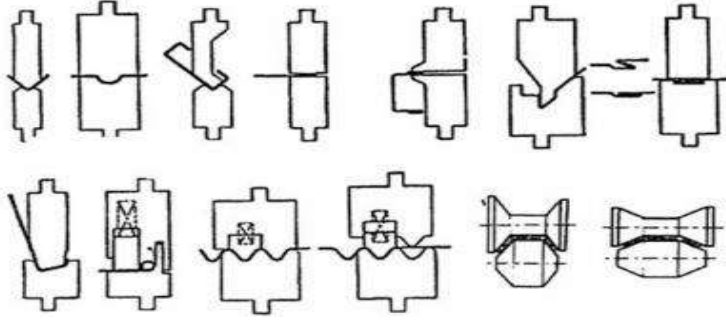
Şekil 2: Bükme parametreleri

Bükülme yarıçapı, malzemenin iç yüzeyi tarafından belirlenir. Malzemenin iç yüzeyinde basma gerilmeleri ve dış yüzeyinde çekme gerilmeleri olmasına rağmen nötr eksen merkezinde herhangi bir deformasyon olmamaktadır. Ancak bükülme yarıçapı küçültüldüğünde nötr eksen basınç bölgesine doğru hareket eder.

Bükme işlemi çeşitleri;

- V bükme,
- Serbest Bükme,
- Kenar Bükme,
- Çift Etkili Bükme,
- Ezerek Bükme,
- Döndürerek Bükme
- U Bükme

olarak sıralanabilir. Şekil 3’de farklı bükme yöntemleri gösterilmektedir (Tekiner 2004).

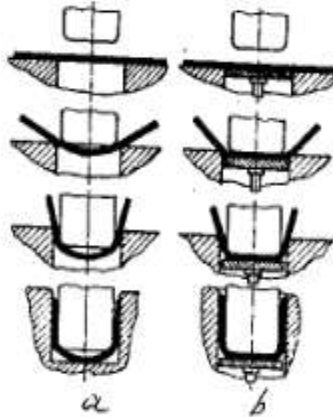


Şekil 3: Çeşitli bükme işlemleri.

2.1. U BÜKME

U bükme, metal plakaların veya levhaların kenarlarının bükülerek "U" şeklinde bir profil oluşturulması işlemidir. Bu işlem genellikle metal levhaların yapısal veya dekoratif amaçlarla kullanıldığı birçok uygulamada kullanılır. U bükme işlemi, birçok endüstride metal parçaların üretimi için yaygın olarak kullanılan bir şekillendirme yöntemidir. Metal levhaların mobilya, araç parçaları, metal kasalar, kapı ve pencere çerçeveleri gibi birçok uygulamada U şeklinde bükülmesi yaygındır.

Bu tür kalıplara U bükme kalıpları adı verilir çünkü bükülen parçanın şekli ve dolayısıyla kalıp boşluğu U harfine benzer. U bükmenin son aşaması şekilde şematik olarak gösterilmiştir. Karşı basınç, parçanın alt kısmının düz çıkmasını ve bükülmüş parçanın kalıptan kolayca çıkarılmasını sağlar. Şekil 4'te görüldüğü gibi herhangi bir karşı basınç kullanılmadığı takdirde bükmenin başlangıcında parçanın tabanında oluşan eğim bükme işleminin sonuna kadar devam eder (Çapan 2010).



Şekil 4: Bükme işlemi safhaları.

Bu nedenle tabanın düzgün bir şekilde dışarı çıkması için parçaya bükme kuvvetine göre 3 kata kadar artabilen bir kuvvetle bastırmak gerekir. Bunun için yüksek kapasiteli presler kullanmak gerekir. Karşı baskı kullanılıyorsa, bükmeden önce karşı baskı sacını bir damga ile sıkıca tutarlar. Sıkıştırma kuvveti karşı basınca eşittir. Karşı baskı bir yay ise, bükme sırasında sıkma kuvveti sürekli olarak artar; hidrolik olarak geri basınç uygulandığında sıkıştırma kuvveti bükme sırasında sabit tutulabilir.

Bükme kuvvetinin hesabı için farklı ifadeler vardır. Onlardan biri;

$$P = 0.2e1' \text{dir} \quad (2.1)$$

Burada e: sac kalınlığı, 1 bükülen kenarların uzunluğu, sacın çekme dayanımıdır.

Karşı baskı kuvveti bükme kuvvetinin 0.3 ü kadar olmalıdır. Dolayısıyla ıstampa kuvveti

$$P = Pb + 0.3Pb - 1.3Pb \quad (2.2)$$

Bükme işi ise

X=0.5,...,0.6 arasında bir katsayı ve h ıstampa sacına değdiği anda bükme sonuna kadar olan kursu olmak üzere

$$W = p.h.x \text{ şeklinde hesaplanır.} \quad (2.3)$$

Flanşlı U bükmelerde $l < 30\text{mm}$ olursa bükme bir işlemde tamamlanabilir; fakat $l > 30\text{mm}$ ise parçanın bükülebilmesi için iki işlem gerektirir.

U bükme işlemi için kullanılan parametreler şunları içerebilir:

Malzeme Seçimi: U bükme işlemi için kullanılacak malzemenin seçimi önemlidir. Malzemenin mukavemeti, esneklik özellikleri ve geri yaylanma eğilimi, uygun malzemenin seçilmesine yardımcı olur. Malzeme seçimi, bükme sonucunda istenilen sonuçları elde etmek için dikkate alınmalıdır.

Levha Kalınlığı: U bükme işlemi için kullanılan levhanın kalınlığı, bükme kuvveti ve bükme aletlerinin tasarımı üzerinde etkilidir. Levha kalınlığı, bükme işlemi sırasında uygulanacak kuvvetin belirlenmesinde önemli bir parametredir.

Bükme Kuvveti: U bükme işlemi sırasında levha üzerine uygulanan bükme kuvveti, levhanın bükülme derecesini etkiler. Doğru bükme kuvveti, istenen U şeklinin elde edilmesini sağlar. Bükme kuvveti, presin kapasitesine ve işlenen malzemenin özelliklerine bağlı olarak belirlenmelidir.

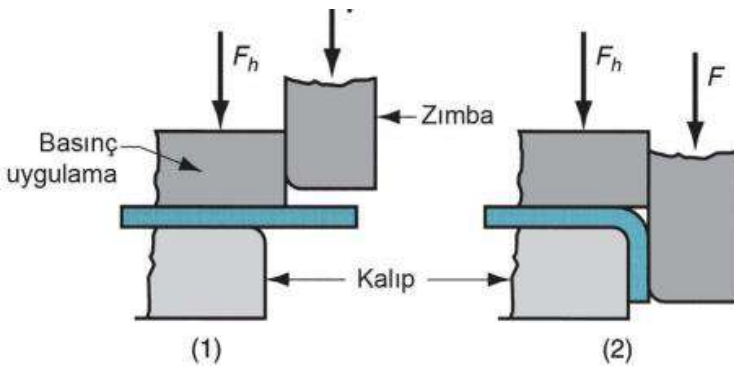
Bükme Takımları: U bükme işlemi için kullanılan bükme takımları veya kalıplar, levhanın kenarlarına uygulanan kuvveti ve bükme açısını belirler. Takımların geometrisi ve tasarımı, istenen sonucun elde edilmesinde etkilidir. Takımların doğru şekilde seçilmesi ve ayarlanması önemlidir.

Bükme Açısı ve Radyus: U bükme işlemi sırasında belirli bir bükme açısı ve radyus kullanılır. Bu parametreler, parçanın son şeklini ve eğimini belirler. Tasarım gereksinimlerine bağlı olarak doğru bükme açısı ve radyus seçimi önemlidir.

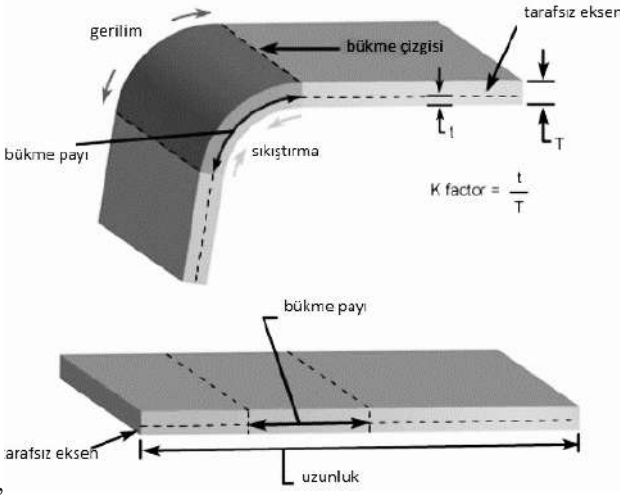
Gerilim Giderme: U bükme işleminden sonra gerilim giderme işlemleri uygulanabilir. Gerilim giderme, geri yaylanmayı azaltmaya ve parçanın şeklini sabitlemeye yardımcı olur. Isıl işlem adımları veya gerilim giderme işlemleri kullanılabilir.

Bu parametreler, U bükme işleminde dikkate alınması gereken bazı önemli faktörlerdir. İşlemi optimize etmek ve istenen sonuçları elde etmek için doğru parametrelerin seçilmesi önemlidir.

Bükme işlemine tabi tutulan parça, plâstik şekil değişimine uğrar. Bükülen parçanın iç yüzeyinde basılma gerilimi, dış yüzeyinde ise çekilme gerilimi meydana gelir. Bu nedenle, bükme işlemine tabi tutulan parça, kalıptan çıktıktan sonra bir miktar esner. Bükme kalıplama işleminde kalıcı plâstik şekil değişimini sağlayabilmek için parça üzerinde meydana gelen çekilme ve basılma gerilimleri giderilir (Şekil 5 ve Şekil 6) (Hu, Marciniak, and Duncan 2002).



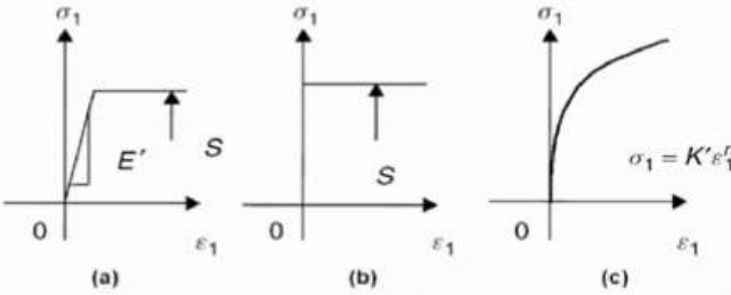
Şekil 5: U bükme yönteminin uygulanışı.



Şekil 6: Bükme işlemi sonrası çekilme ve basılma gerilimleri.

2.2. Farklı Malzeme Modellerinde Bükme

Çelik gibi çoğu sac metal, elastik deformasyonun bir sonucu olarak sertleşen plastik davranış sergiler. Ancak kalıp işlemleri analiz edilirken kullanım kolaylığı açısından daha basit malzeme modelleri tercih edilebilir. Bu malzeme modellerine göre, Şekil 7'de gösterildiği gibi, bükme işleminde farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. (Hu, Marciniak, and Duncan 2002).



Şekil 7: Malzeme modelleri: (a) elastik-mükemmel plastik, (b) rijit-mükemmel plastik, (c) deformasyonla sertleşen malzeme.

2.3. Sac Metal Şekillendirme ve Geri Yaylanma

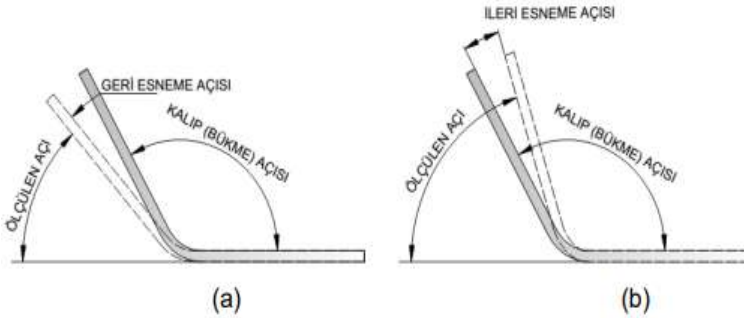
Geriyaylanma" terimi, metal şekillendirme işlemlerinden sonra oluşan geriyaylanma dönüşlü deformasyonu veya metalin eski formuna kısmen geriyaylanmasını ifade eder. Bir metal şekillendirildiğinde, özellikle plastik deformasyon (bükme, çekme, haddeleme vb.) ile kristal yapıdaki taneler kayar ve yeniden düzenlenir. Bu süreçte, metalin içindeki taneler arasında gerilim ve boşluklar meydana gelir.

Bu gerilimler, metalin şekli değiştirildikten sonra bile devam eder ve metalde geri yaylanma olarak adlandırılan bir olaya yol açar.

Geri yaylanma, şekillendirilen metalin eski formuna doğru kısmen geri dönmesine neden olur. Bu, özellikle hassas toleranslar veya belirli şekil gereksinimleri olan parçaların üretimi sırasında sorun yaratabilir. Geri yaylanmayı azaltmak veya önlemek için, şekillendirme işlemi sırasında uygun sıcaklık, basınç, hız ve takip eden ısıtma işlem adımları kullanılabilir.

Geri yaylanma fenomeni, metal şekillendirme süreçlerinde dikkate alınması gereken bir faktördür ve mühendisler ve üretim uzmanları tarafından ele alınır. Uygun tasarım, malzeme seçimi ve işleme parametrelerinin kullanımı, geri yaylanmanın etkisini minimize etmeye yardımcı olabilir.

Bükme işlemlerinde, istenen mükemmel bükme profilini elde etmek için gerilim-uzama dağılımı önemlidir. Bükme işlemleri sırasında malzemelerin elastik sınırı aşılır ancak maksimum çekme gerilmesi aşılamaz. Bu nedenle, malzeme orijinal esnekliğinin bir kısmını korur. Malzemeden yük kaldırıldığında malzeme eski haline dönmeye çalışacak ve bükülen malzeme hafifçe esneyecek ve tekrar açılacaktır. Malzemenin gösterdiği bu olguya geri esneme denir. (Şekil 8) (Tekaslan, Gerger, and Şeker 2008). Sac şekillendirmede kullanılan bükme yöntemi, seçilen kalıp tipi ve bükme geometrisi, bükme işleminin kalitesini ve çekme miktarını etkiler. Bükme işlemi sonucunda elde edilen nihai ürünün kalitesinin kontrol edilebilmesi için öncelikle bükme işleminin fiziksel prensibinin detaylı olarak bilinmesi gerekmektedir.



Şekil 8: Bükme işlemi sonrası (a) geri yaylanma, (b) ileri yaylanma.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Çalışmanın Amacı

Sac malzeme tasarımındaki en büyük sorunlardan biri geri yaylanmadır. Günümüzde bu sorunla ilgili araştırmalar, avantajları nedeniyle yaygın olarak kullanılan geliştirilmiş yüksek dayanımlı plakalarla devam etmektedir. Bu

çalışmada en sık kullanılan şekillendirme yöntemlerinden biri olan U bükme ile elde edilen numunelerin kalıp ve malzeme değişkenleri açısından davranışları incelenmiştir (Yenice 2006). Deneyleerde değişkenler ise üç tip sac metal numunesi, üç farklı baskı yarıçapı ve baskı hızı olarak incelenmiştir.

3.2. Analizde Kullanılan Malzemeler

3.2.1. Titanyum

Alüminyum, demir ve magnezyumdan sonra yeryüzünde en bol olan yapısal metaldir. Titanyumun ana mineral kaynağı, ilmenite ($FeTiO_3$) ve rutile (TiO_2)'dir. Titanyum, 4.54 g/cm^3 yoğunluğuyla birçok metalin içinde en hafifidir. Alüminyum ve demirin arasında bir yoğunluğa sahip olan titanyumun elastisite modülü, demirinkinden daha düşük ve alüminyumunkinden daha yüksektir (Tablo 1). Ayrıca titanyumun ergime noktasının yüksek olması yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirliğini arttırmaktadır (Lütjering and Williams 2007).

Tablo 1: Alüminyum, demir ve titanyumun temel fiziksel özellikleri.

Özellikler	Alüminyum	Demir	Titanyum
Yoğunluk (g/cm^3)	2.7	7.87	4.54
Oda sıcaklığındaki kristal yapı	YMK	HMK	SPH
Ergime noktası ($^{\circ}C$)	660	1536	1668
Elastisite modülü (GPa)	72	197	115

Titanyum hafif, güçlü, korozyona karşı dirençli olmakla beraber doğada oldukça fazla bulunan bir elementtir. Titanyum ve alaşımları 30,000 - 200,000 psi (210-1380 Mpa) arasında bir çekme dayanımına sahiptir. Bu değerler çoğu eşdeğer çelik alaşımında sağlanamamaktadır.

Titanyum düşük yoğunlukta bir elementtir (yaklaşık olarak demirin %60'ı kadar azdır) ve alaşım ile deformasyon işlemleri ile güçlendirilebilir. Isıl genişleme katsayısı çelikten ve alüminyum alaşımlarının da yarısından daha düşüktür.

Titanyumun en önemli özelliklerinden biri erime noktasının çok yüksek olmasıdır; $3135^{\circ}F$ ($1725^{\circ}C$). Bu erime noktası çeliğin yaklaşık $400^{\circ}F$ üzerinde ve alüminyumun $2000^{\circ}F$ üzerindedir. Titanyum pasiftir ve çoğu asidik mineral ve klorüre karşı iyi bir dirence sahiptir. Titanyum zehirsizdir ve genellikle insan kemiklerine ve dokularına uyum sağlayabilir. Mükemmel korozyon direncine sahiptir ve doğa ile uyumundan dolayı kimya, petrokimya, denizcilik ve biyomalzeme uygulamalarında kullanılmaktadır. Titanyum iyi bir elektrik iletkeni değildir. Bakırın iletkenliğini 100 alırsak titanyum yüzde 3,1'de kalıyor.

Bu nedenle, elektriksel iletkenliğin istendiği yerlerde titanyum kullanılmaz. Kıyaslamayı tekrar yaparsak; paslanmaz çeliğin elektriksel iletkenliği %h3,5, alüminyumun ise %30'dur. Elektrik direnci elektron akış yönünün tersidir. Titanyum zayıf bir iletken olduğu için iyi bir dirence sahiptir (Lütjering and Williams 2007).

3.2.2. Paslanmaz Çelik

Gelişen ülke sanayimizde paslanmaz çelik ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Petrokimya, kimya ve gıda endüstrilerinde tank, basınçlı kap, eşanjör ve paslanmaz boru üretiminde çeşitli paslanmaz çelikler kullanılmaktadır. Bu yapıları oluşturmak için geleneksel veya modern kaynak yöntemleri kullanılmaktadır (Ünal, Karaca, and Sarsılmaz 2019).

Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması

Paslanmaz çeliklerin koşullara bağlı olarak farklı mekanik ve kimyasal özelliklere sahip kaliteleri olduğu gibi, karbon çelikleri de uygulamaya bağlı olarak farklı özelliklere (dayanım, sertlik, dayanıklılık vb.) sahip kalitelere sahiptir. Paslanmaz çeliğin korozyon direnci ve mukavemet değerleri, farklı kaliteler arasında önemli ölçüde değişebilir. Bu değişiklik, içyapıdaki bir değişiklikten kaynaklanmaktadır. Paslanmaz çeliğin içyapısını belirleyen en önemli elementler önem sırasına göre krom, nikel, molibden ve mangandır. Özellikle krom ve nikel, çeliği etkili bir şekilde ferritik veya östenitik yapar. Bu alaşımlar, farklı özellikler oluşturmak için çeliğe eklenir ve sonuçta beş farklı kalite elde edilir. Bunlar;

- a) Östenitik paslanmaz çelikler
- b) Ferritik paslanmaz çelikler
- c) Martenzitik paslanmaz çelikler
- d) Dupleks (çift fazlı) paslanmaz çelikler
- e) Çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerdir.

Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler esas olarak demir-krom-nikel çelik alaşımlarıdır. Östenitik paslanmaz çelik, dünya çapında üretilen tüm paslanmaz çeliğin yaklaşık %65-70'ini oluşturur. AISI'de östenitik kaliteler 200 ve 300 serisi olarak adlandırılır. Bileşim değerleri %16-26 krom, %10-24 nikel ve maksimum %0,40 karbondur. Molibden, titanyum, niyobyum ve tantal gibi alaşım elementlerini az miktarda içerirler. Nikel östenit, alanin genişletme etkisinden dolayı östeniti oda sıcaklığında kararlı hale getirir. Molibden ilavesi korozyon direncini artırır.

Östenitik paslanmaz çelikler yüksek tokluk ve mukavemet değerlerine sahip olup, korozyon dayanımları ferritik ve martensitik paslanmaz çeliklere göre daha iyidir.

Genel özellikleri;

- Üstün süneklige ve şekil değiştirme kabiliyetine sahiptirler.
- Düşük sıcaklıklarda yüksek darbe dayanımı vardır.
- Östenit yapılarından dolayı manyetik özelliği yoktur.
- Kaynaklanabilirliği iyidir.
- Yüksek korozyon direncine sahiptirler.
- Östenitik yapısının kararlılığı sayesinde su verme yerine plastik deformasyonla sertleştirilebilirler.
- Düşük termal iletkenliğe ve yüksek termal genleşme katsayısına sahiptirler.
- Kristal kafes yapısı yüzey merkez kübiktir.

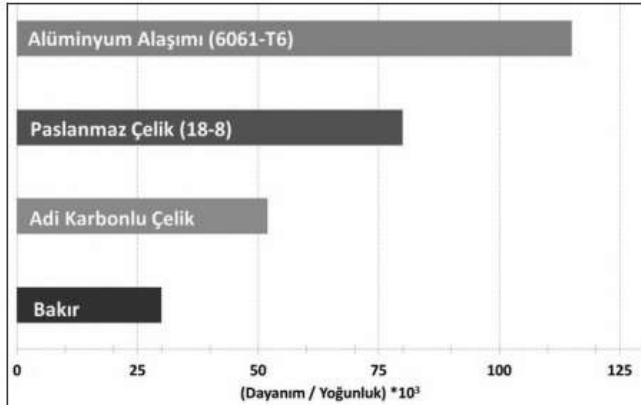
Genel olarak östenitik paslanmaz çeliklerin ısıl işlemi, 1000 °C'ye kadar ısıtma ve boyutuna bağlı olarak su veya havada hızlı soğutmadan oluşur. Katı bir eriyikte ısıtıldığında homojen östenit oluşur. Hızlı soğutmanın amacı bu yapıyı korumak ve karbon çökmesini önlemektir. Bu koşullar altında %0,05-0,10 C içeriğinde ortalama mekanik özellikler Tablo 2'de verilmiştir (Unal and Karaca 2022);

Tablo 2: Östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri.

Çekme dayanımı:	55-70 kg/mm ²
Akma dayanımı:	15-20 kg/mm
Uzama (L=5d) :	%30-40 olur. (Wegst, 1989).

3.2.3. Alüminyum

Alüminyum alaşımları, günümüzde çelikten sonra metal imalatında en çok kullanılan malzemelerdir. Diğer mühendislik malzemelerine göre düşük yoğunluk (2,7 g/cm³), yüksek korozyon direnci, yüksek elektriksel iletkenlik ve yüksek özgül dayanım gibi özellikler (Şekil 9) alüminyum alaşımlarında ilgi uyandırmaktadır. Manyetik olmayan yapısı nedeniyle manyetizmaya dayalı elektronik cihazların imalatında tercih edilen malzemedir. Ayrıca alüminyum alaşımları, yüksek ısıl iletkenlikleri, yanmaz, tamamen geri dönüştürülebilir ve kaynaklanabilir özelliklerinden dolayı diğer mühendislik malzemelerine göre önemli avantajlar sunmaktadır (Altenpohl 2012; Scamans 2009).

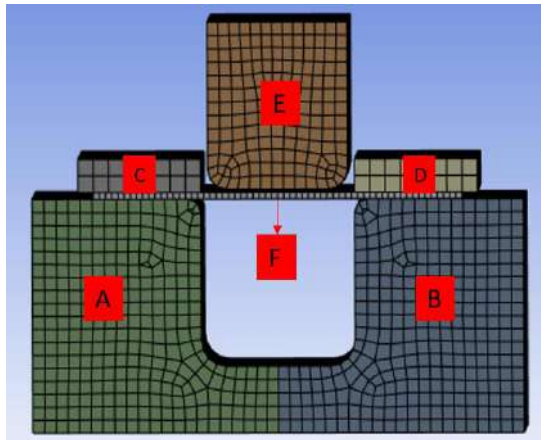


Şekil 9: Bazı mühendislik malzemelerinin dayanım/yoğunluk oranı

Alüminyum alaşımlarının günümüzde daha fazla ilgi görmesinin bir diğer nedeni de ulaşım sektörünün gelişmesidir. Özellikle otomotiv ve havacılık sektörleri daha hafif ve dolayısıyla daha az yakıt tüketen ve çevreye daha az zarar veren araçlar üretmeye çalışılmaktadır. Günümüzde alüminyum alaşımları, daha hafif araçların imalatında kullanılan en popüler malzemelerden biridir (Ghassemieh 2011; Hirsch 2011).

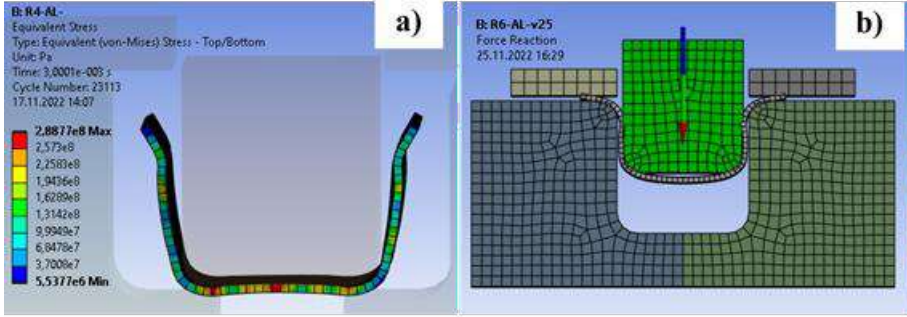
3.3. Sonlu Elemanlar Metodu ile İnceleme

Yapılan sayısal çalışma Ansys Workbench Explicit Dynamics ara yüzü kullanılarak modellenmiştir. Modellenen bükme kalıbı sonlu elemanlara ayrılmış hali Şekil 10'da gösterilmiştir. Bükme modelinde A, B, C ve D parçaları sabitlenmiştir. E parçasına -4100 N' luk aşağı yönlü bir kuvvet verilmiştir. U bükme işlemi için F ile gösterilen parça ise bükme işleminin uygulanacağı levha.

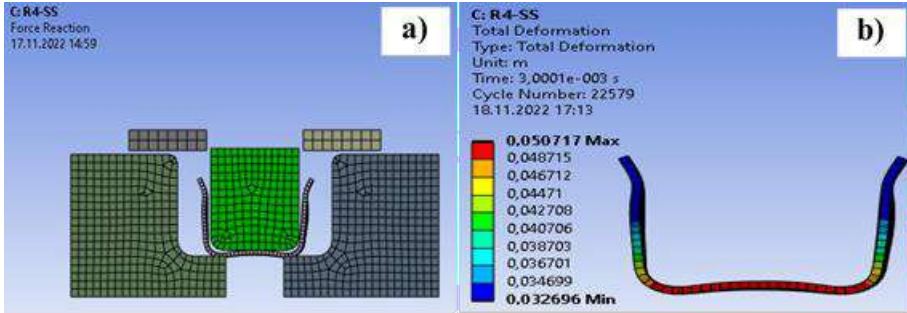


Şekil 10: U bükme işlemi örnek analiz geometrisi ve meshleme işlemi.

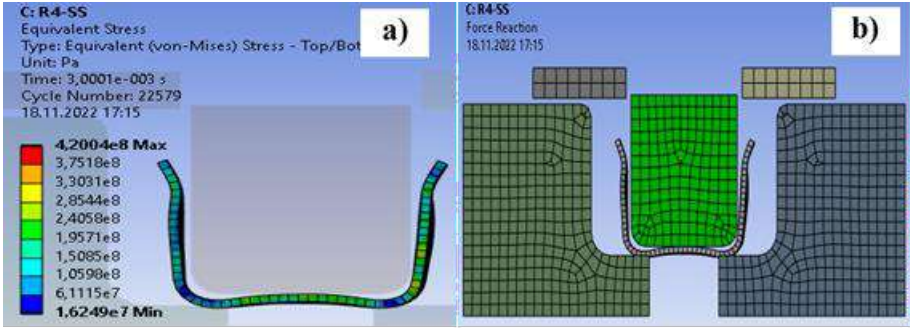
Yapılan analiz sonuçlarında numuneye uygulanan kuvvet sonucunda meydana gelen toplam deformasyon, şekil gerilme miktarı ve kuvvet reaksiyonları alüminyum, paslanmaz çelik ve titanyum malzemesi için 4, 6 ve 8 mm eğme yarıçapında ve 25 mm/sn baskı hızında gerçekleştirilmiştir. 6 mm eğme yarıçapında parçalar için ayrıca 25, 50 ve 75 mm/sn baskı hızında da analizler gerçekleştirilmiştir. Şekil 11 - 14 alüminyum, paslanmaz çelik ve titanyum malzemelerinin 4mm eğme yarıçapındaki toplam deformasyon, eşdeğer gerilme miktarı ve kuvvet reaksiyonları gösterilmiştir.



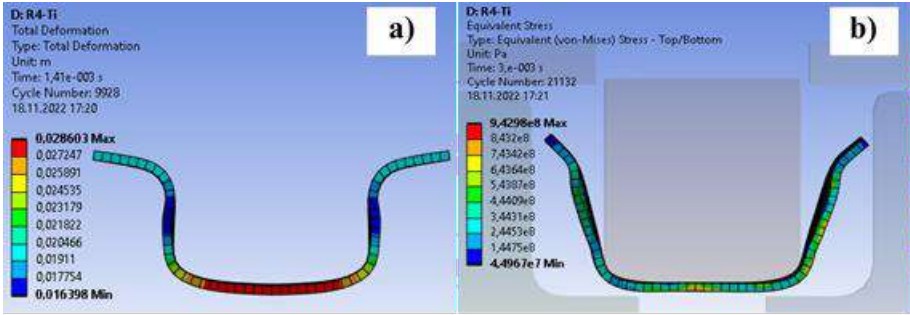
Şekil 11. Alüminyum sacın U bükme sonrası meydana gelen eşdeğer gerilme ve kuvvet reaksiyonu. a) 4mm eğme yarıçapında. b) 6mm eğme yarıçapında



Şekil 12. Paslanmaz çelik sacın 4mm eğme yarıçapında U bükme işlemi sonundaki a) Kuvvet reaksiyonu ve b) toplam deformasyon.



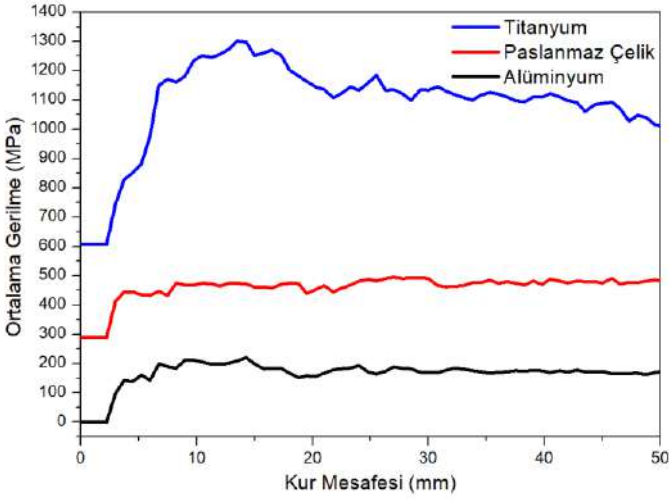
Şekil 13: a) 4mm eğme yarıçapında paslanmaz çelik sacın u bükme işlemi sonundaki eşdeğer gerilme değerleri. b) 4mm eğme yarıçapında paslanmaz çelik sacın kuvvet reaksiyonu.



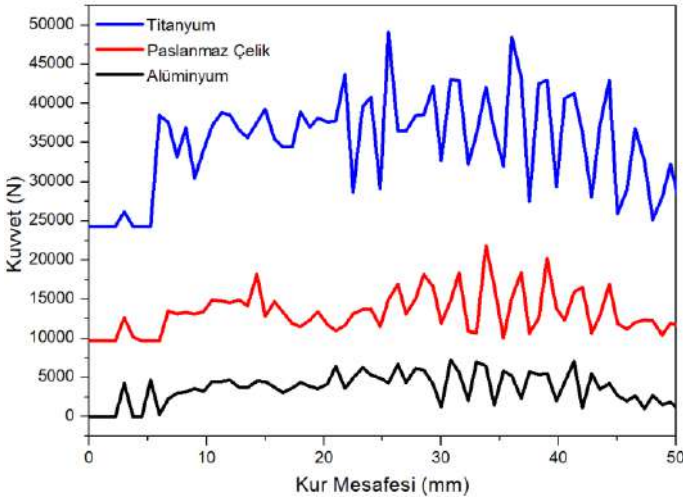
Şekil 14: a) 4mm eğme yarıçapında titanyum sacın u bükme işlemi sonundaki a) Toplam deformasyon b) Eşdeğer gerilme değerleri.

3.3.1. Analiz Sonuçlarının Yorumlanması

Yapılan analizlerde eğme yarıçapı 4mm, baskı hızı ise 25mm/sn de sabit tutulduğunda üç farklı malzemenin davranışları incelenmiştir. Şekil 15’de görüldüğü gibi kur mesafesi baz alındığında en yüksek ortalama gerilme titanyum da görülmektedir. Şekil 16’ de ise yine aynı şartlar altında kuvvet kıyaslaması yapıldığında en yüksek kuvvet titanyum malzemede (1300 Mpa) en düşük kuvvet ise alüminyum da (200 Mpa) görülmüştür.

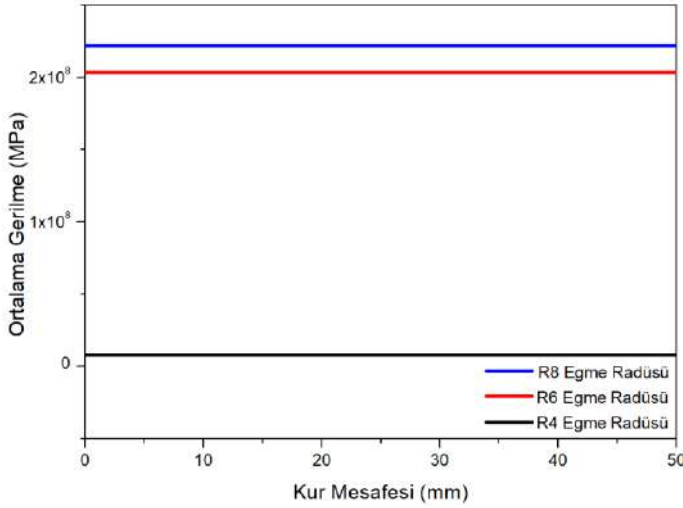


Şekil 15: 4mm eğme yarıçapında 25mm/sn baskı hızında gerçekleşen bükme işlemine malzemenin ortalama basınca etkisi

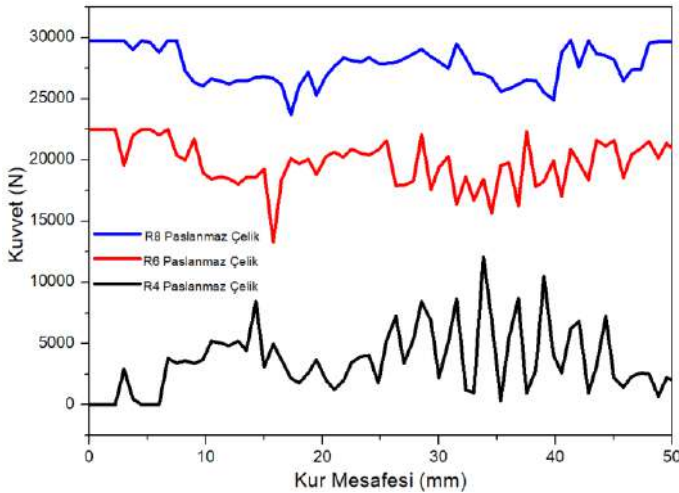


Şekil 16: 4mm eğme yarıçapında 25mm/sn baskı hızında gerçekleşen bükme işlemine malzemenin kuvvete etkisi.

Analiz sonuçlarında 2mm paslanmaz çelik saca 25mm/sn baskı hızında U bükme işlemi uygulanmıştır. Değişken olarak üç farklı eğme yarıçapı değerlendirilmiştir. Şekil 17’de görüleceği üzere r8 ve r6 eğme yarıçapı ortalama gerilmede çok benzer özellik göstermiştir. Şekil 18’de kuvvetler kıyaslandığında ise en yüksek kuvvet titanyum (2×10^9 Mpa) en düşük kuvvet ise alüminyuma uygulanmıştır.

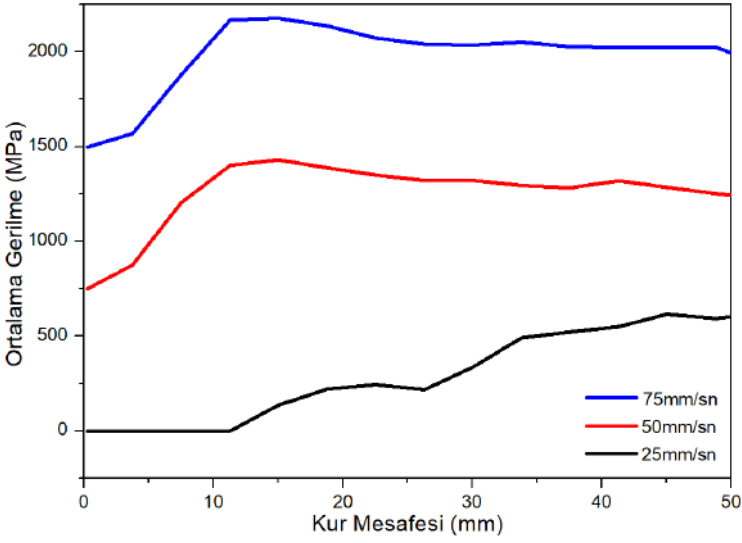


Şekil 17: 25mm/sn baskı hızında bükülen paslanmaz çelik malzemenin farklı eğme yarıçaplarında ortalama basınç değişimi.

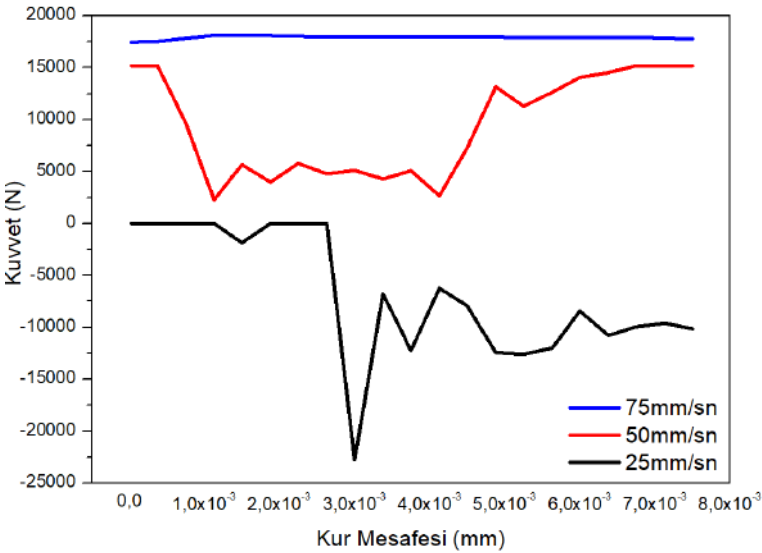


Şekil 18: 25mm/sn baskı hızında bükülen paslanmaz çelik malzemenin farklı eğme yarıçapında kuvvet değişimi.

Eğme yarıçapı 6mm, malzemede titanyum olarak sabit tutulmuş ve baskı hızlarının etkisi Şekil 19 ve 20’de kıyaslanmıştır. 25, 50 ve 75 mm/sn baskı hızlarına göre en yüksek kuvvet ve ortalama gerilmenin yine titanyum malzemede (2500 Mpa) olduğu görülmüştür.



Şekil 19: 6mm eğme yarıçapında titanyum malzemenin farklı baskı hızlarında meydana gelen ortalama gerilme değişimi.



Şekil 20: 6mm eğme yarıçapında titanyum malzemenin farklı baskı hızlarında meydana gelen kuvvet değişimi

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörü tarafından finanse edilmiştir (Proje No: TEKF.23.13).

REFERANSLAR

- Altenpohl, Dieter Gustav. 2012. *Materials in World Perspective: Assessment of Resources, Technologies and Trends for Key Materials Industries*. Springer Science & Business Media.
- Çapan, LEVON. 2010. *Metallere Plastik Şekil Verme*. 7th ed. İstanbul: Çağlayan Kitabevi.
- Ghassemieh, Elaheh. 2011. "Materials in Automotive Application, State of the Art and Prospects." *New trends and developments in automotive industry* 20: 365–94.
- Gomes, Carlos, Oladipo Onipede, and Michael Lovell. 2005. "Investigation of Springback in High Strength Anisotropic Steels." *Journal of Materials Processing Technology* 159(1): 91–98.
- Hirsch, Jürgen. 2011. "Aluminium in Innovative Light-Weight Car Design." *Materials transactions* 52(5): 818–24.
- Hu, Jack, Zdzislaw Marciniak, and John Duncan. 2002. *Mechanics of Sheet Metal Forming*. Elsevier.
- Lee, S. W., and D. Y. Yang. 1998. "An Assessment of Numerical Parameters Influencing Springback in Explicit Finite Element Analysis of Sheet Metal Forming Process." *Journal of Materials Processing Technology* 80–81: 60–67.
- Liu, Gang, Zhongqin Lin, Weili Xu, and Youxia Bao. 2002. "Variable Blankholder Force in U-Shaped Part Forming for Eliminating Springback Error." *Journal of Materials Processing Technology* 120(1–3): 259–64.
- Lütjering, Gerd, and James C Williams. 2007. "Special Properties and Applications of Titanium." *Titanium*: 383–415.
- Özek, Cebeli, Yahya Hışman Çelik, and Müzeyyen Bulut Özek. 2013. "A Fuzzy Logic Model to Determine the Effects of Die/Blank Holder Angle and Punch Radius on Drawing Ratio in Angular Deep Drawing Dies." *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems* 25(2): 379–88. <https://www.medra.org/servlet/aliasResolver?alias=iospress&doi=10.3233/I-FS-2012-0644>.
- Özek, Cebeli, and Vedat Taşdemir. 2018. "Derin Çekme İşlemi Sonrası Malzemede Oluşan Sertlik Dağılımı Üzerine Kalıp Yüzey Açısı, Sıcaklık ve Baskı Plakası Kuvveti Etkilerinin İncelenmesi." *Academic Platform Journal of Engineering and Science* 6(3): 35–41.
- Özer, Fırat. 2011. "Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çeliklerde Şekil Verme Operasyonları Sonucu Oluşan Geri Yaylanmanın Doğru Tahmini ve Telafisi."

- Pourboghraat, F., and E. Chu. 1995. "Prediction of Spring-Back and Side-Wall Curl in 2-D Draw Bending." *Journal of Materials Processing Tech.* 50(1-4): 361-74.
- Sarikaya, Onur Turgay. 2008. "Analysis of Heat Treatment Effect on Springback in V-Bending."
- Scamans, Geoff. 2009. "The Future of Light Metals." *Materials Technology* 24(3): 129-30.
- Seçgin, Ömer, and Vedat Taşdemir. 2020. "Finite Element Analysis of Angular Deep Drawing Process without Blank Holder." *International Journal of Innovative Research in Applied Sciences and Engineering* 4(6): 789-92. https://www.ijirase.com/assets/paper/issue_1/volume_4/V4-Issue-6-789-792.pdf.
- Şen, Nuri, İsa Çolakoğlu, and Vedat Taşdemir. 2021. "Investigation of Deep Drawing of Square Cups Using High-Strength DP600 and DP800 Sheets." *International Journal of Automotive Science and Technology* 5(4): 378-85. <http://dergipark.org.tr/en/doi/10.30939/ijastech..995381>.
- Şen, Nuri, Naci Kurgan, İbrahim Karaağaç, and Onuralp Uluer. 2016. "İlık Derin Çekme Prosesinde Yağlayıcı Etkisinin Şekillendirilebilirlik Açısından Deneysel Araştırılması." *Politeknik Dergisi* 19(2): 185-93.
- Şen, Nuri, and Vedat Taşdemir. 2021. "Experimental and Numerical Investigation of the Springback Behaviour of CP800 Sheet after the V-Bending Process Experimental and Numerical Investigation of the Springback Behaviour of CP800 Sheet after the V-Bending Process." <https://doi.org/10.1080/03019233.2021.1872466>.
- Sousa, L. C., C. F. Castro, and C. A.C. António. 2006. "Optimal Design of V and U Bending Processes Using Genetic Algorithms." *Journal of Materials Processing Technology* 172(1): 35-41.
- Ştefan, Mihalache, Nagiţ Gheorghe, and Chiorescu Dan. 2010. "THE SPRINGBACK ANALYSE ON SHEET ALUMINUM V BENDING USING AN SYSTEMIC ANALYSIS ON BENDING OPERATION." *TEHNOMUS-New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies*.
- Taşdemir, Vedat. 2020. "Ofset Bükme Kalıplarında Bükme Açısı Konumunun Geri Esnemeye Olan Etkisinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi." *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 8(2): 1571-79. <https://dergipark.org.tr/tr/doi/10.29130/dubited.684468>.
- Tekaslan, Özgür, Nedim Gerger, and Ulvi Şeker. 2008. "V BÜKME KALIPLARINDA BAKIR SAC MALZEMELERİN GERİ ESNEME MİKTARLARININ TESPİTİ." *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 23(1).

- Tekiner, Zafer. 2004. "An Experimental Study on the Examination of Springback of Sheet Metals with Several Thicknesses and Properties in Bending Dies." *Journal of Materials Processing Technology* 145(1): 109–17. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924013603008781>.
- Unal, Engin, and Faruk Karaca. 2022. "Effect of Turning Parameters of AISI 316 Stainless Steel on Temperature and Cutting Forces with Finite Element Model." *Thermal Science* 26(Spec. issue 1): 61–66. <https://doiserbia.nb.rs/Article.aspx?ID=0354-983622061U>.
- Ünal, Engin, Faruk Karaca, and Furkan Sarsılmaz. 2019. "Investigation of Interface Microstructure Properties of AISI 316L /AISI 4140 Steel Couple Welded by Friction Welding Process." *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 34(2): 701–8. <https://dergipark.org.tr/tr/doi/10.17341/gazimmfd.416528>.
- Ünal, Engin, and Cebeli Özek. 2017. "A Study on the Wall Thickness in the Angular Deep Drawing Process." *Materialpruefung/Materials Testing* 59(2): 178–82. <http://www.hanser-elibrary.com/doi/10.3139/120.110980>.
- Yenice, M Mustafa. 2006. "Bükme İle Şekillendirilen Saclarda Geri Yaylanma Davranışının İncelenmesi."

26. Bölüm

İnşaat Mühendisliği Öğrencilerinin Motivasyonlarını Etkileyen Faktörlerin Lojistik Regrasyonla Analizi

Gülgün MISTIKOĞLU¹

¹ Doç. Dr.; Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü gmistik@mku.edu.tr
ORCID No:0000-0003-2937-8691

ÖZET

Üniversitelerden mezun olacak öğrencilere uluslararası konjektürde değişen koşullara ayak uydurabilme ve yaşam boyu öğrenme alışkanlığı kazandırmanın, verilen eğitimin bir parçası haline getirilmesi gerekmektedir. Bu nitelikteki inşaat mühendislerinin yetiştirilebilmesi de ancak öğrencinin eğitimi süresince motivasyonunu olumlu yönde etkileyen faktörlerin iyileştirilmesi ile mümkün olabilecektir. İstenilen kalitede mezunlar yetiştirebilmek için öğrencilerin eğitim süreçlerinin aktif birer parçası olacakları, onların motivasyonlarını etkileyen faktörlerin öne çıkarıldığı yöntemlere başvurulmalıdır. Bu araştırmada İstanbuldaki devlet üniversitelerinden dört büyük üniversitenin inşaat mühendisliği bölümlerindeki son sınıf öğrencileriyle çalışılmıştır. İnşaat mühendisliği öğrencilerinin; üniversite ve meslek seçimi sırasında motivasyonlarını etkileyen faktörler, üniversitelerin ders plan ve içerikleri ve bunun öğrenci motivasyonuna etkileri, öğretim elemanının niteliği ve niceliği ile ders işleme yöntemleri ve bunun öğrenci motivasyonuna etkileri, öğrencilerin öğrenim hayatları sırasında uygulamaya dönük mesleki stajların öğrencilerin motivasyonuna etkisi araştırılmıştır. İnşaat mühendisliği öğrencilerinin motivasyonunda etkili olan önemli faktörler araştırılmış ve elde edilen sonuçlar lojistik regresyon yöntemi ve istatistiksel analizler ışığında ayrı ayrı ele alınmıştır. Lojistik Regresyon analizi kullanılarak yapılan değerlendirme sonucunda, öğrencilerin üniversite seçimleri ve öğrenimleri sırasında motivasyonlarını etkileyen en önemli faktörler belirlenmiştir. Öğrencilerin motivasyonlarını etkileyen en önemli faktörler, üniversitenin marka değeri, üniversite yerleşkesinin altyapısı ve öğretim üyesinin niteliği olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre, öğrencinin olumlu yönde motive olabilmesi için, öğrencisiyle ilgilenebilen, onunla gerektiğinde iletişim kuran, aynı zamanda bilgilerini güncelleyen, değişen teknolojiye ayak uyduran, bir anlamda kendini sürekli yenileyen öğretim üyelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Motivasyon, lojistik regresyon, marka değeri, altyapı, eğitim

1. GİRİŞ

Doğada hiçbir nesne bir sebep olmadan kendi statik durumundan hareketli duruma geçemez. O halde insan organizmasının da hareket edebilmesi, davranışta bulunması için, doğa yasası gereği, bir takım sebepler olmalıdır. Bu sebepler insan organizmasının içinden veya dışından gelen bir basınç, bir dürtü, bir güdü, bir itme, bir uyarıcı veya uyarıcılar bütünü olabilir. İnsan organizmasını hareket veya tepki yapmaya iten sebep veya sebepler, aynı zamanda bu hareket veya tepkilere belirli bir yön, belirli bir hedef, belirli bir hız tayin etmiş olur. Motivasyon, işte tam bu nedenle insan organizmasını davranışa iten, bu davranışların şiddet ve enerji düzeyini tayin eden, davranışlara belirli bir yön veren ve devamını sağlayan, çeşitli iç ve dış sebepleri ve bunların işleyiş mekanizmalarını içeren bir kavramdır. Davranışların yapılışındaki canlılık, sarf edilen enerji, değişmeye-dağılmaya karşı olan direnç, devam süreleri gibi kişiye özgü hareketler bize bu davranışların motive edildiklerini gösterir.

Motivasyon, psikolojik bir olgu olduğundan, farklı açılardan ele alınıp, farklı tanımları yapılan bir kavramdır. Sözcük olarak latince 'movere' kelimesinden gelmektedir ve "*Harekete geçirme*" anlamı taşır. Diğer bir tanımlamada 'bir şeyi yapmak istemeyi sağlayan ve içten gelen güç' olarak ifade edilmiştir.

Motivasyon, istekleri, arzuları, gereksinimleri, dürtüleri ve ilgileri kapsayan genel bir kavramdır. Bir başka deyişle, davranışın her aşamasında motivasyonun önemli bir rolü vardır. Ayrıca motivasyonu etkileyen bir takım içsel ve dışsal etkenler de vardır. İçsel faktörler; bireysel hedefler ve niyetler, biyolojik ve psikolojik ihtiyaçlar, kendine güven, risk alma, kaygı ile baş etme, merak gibi kişisel faktörleri ifade etmektedir. Dışsal faktörler ise; toplumun ve ailenin beklentileri, uygulanan öğretim modelleri, altyapı, barınma, ulaşım gibi çevresel faktörlerdir.

Motivasyon, her davranışın olduğu gibi, öğrenmenin de ön koşullarından biridir. İnsanlar genelde merak duydukları ve ilgi çekici buldukları konuları daha çabuk öğrenirler. Öğrenme motivasyonu, öğrenen bireyin, öğrenme etkinliklerini anlamlı ve değerli bulması ve bunlardan yarar sağlaması olarak tanımlanır. Motivasyon eksikliği ise, çoğu kez öğrenme ile ilgili faaliyetlerden uzaklaşmayı beraberinde getirir.

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Eğitim alanında ise motivasyon; biliş ve davranış boyutunda, harekete geçiren, öğrenmeyi sağlayan itici bir güçtür. Motivasyon, eğitimin başarısını etkileyen en önemli unsur olarak ifade edilir. Öğrenme ve başarı için, güçlü istek veya dürtü gerektirir. Bu doğrultuda öğrenme ve başarı motivasyonunu etkileyen değişkenler iki grupta toplanabilir. Bunlar bilindiği gibi kişisel ve çevresel

değişkenlerdir. Kişisel değişkenler, kişilik özellikleri ve mizaça ilgili değerlerden oluşmaktadır ve bu çalışmada ele alınan konuların kapsamında yer almamaktadır. Çevresel değişkenler ise ortam, fiziki çevre, rekabet ortamı ve başarıya götüren, ilgi çekici ve dikkat sağlayan öğretim uygulamalarıyla ilgili faktörlerdir ve bu faktörler, bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır.

Çeşitli araştırmacılar, motivasyonun özellikle eğitim alanında çok daha önemli olduğunu belirtmişlerdir. Vallerand vd (1992), yaptıkları çalışmada eğitimde kullanılmak üzere "*Akademik Motivasyon Skalası*" adlı bir ölçeği geliştirmişlerdir. Gençay ve Gençay (2007) ise öğrencilerin motivasyon düzeylerini etkileyen faktörleri araştırmıştır. Acat ve Demiral (2002), yabancı dil öğrenen öğrencilerin motivasyon kaynaklarını ve sorunlarını belirlemeye çalışmışlardır. Leung vd (2006) ise, Hong Kong ve Çin'deki inşaat mühendisliği öğrencilerinin öğrenme yaklaşımlarını kıyaslayarak, öğrencilerin öğrenme motivasyonlarını incelemişlerdir. Dede ve Yaman (2008), ilköğretim öğrencilerinin fen derslerini öğrenmeye yönelik motivasyon düzeylerini belirlemek için Likert tipi bir ölçme aracı geliştirmişlerdir.

Alpay vd (2008) İngiltere'de mühendislik öğrencilerinin motivasyonlarını etkileyen faktörleri tespit ettikleri bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sırasında ankete katılanlardan %26' sının mühendislik çalışma konusunu seçimlerinde anne-babalarının etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada katılımcıların %50' den fazlasının da anne-babalarının mühendislik, matematik veya bilimsel bir alanda bir alt yapısı olduğunu belirtmesi dikkat çekici bir bulgu olarak gözlemlenmiştir.

Sancho vd (2009) çalışmasında '*Multi-User Virtual Environments (MUVE's)*' adlı bir öğrenme metodunu (e-learning) kullanarak, yöntemin mühendislik öğrencilerinin motivasyonları üzerindeki etkisini incelemiştir.

Ergin vd (2009), Kocaeli Üniversitesinde, İnşaat mühendisliği öğrencilerinin performansını etkileyen faktörleri araştırmışlardır. Benzer bir çalışmada, İnşaat Mühendisliği öğrencilerinin motivasyonlarını etkileyen faktörler iki üniversite arasında karşılaştırmalı olarak incelenmiştir (Mıstıkoğlu, 2010). Baillie ve Fitzgerald (2010) (MOT5), okulu bırakan mühendislik öğrencilerinin okulu bırakma sebeplerini veya bölüm değiştiren öğrencilerin motivasyon problemlerini tespit etmek ve onları önleyecek yolları çalışmalarında irdelemişlerdir. Savage vd (2011) yaptıkları çalışmada Portsmouth Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi öğrencilerini etkileyen motivasyonel faktörleri anket uygulaması ve yüz yüze görüşmelerle tespit etmişlerdir. Eryılmaz (2013), 294 lise öğrenimi gören öğrenci ile bu öğrencilerin motivasyonlarını ilişkilendirerek derse katılmada öğretmenden beklentilerini ölçebilecek bir motivasyon ölçme aracı geliştirmiştir.

Kolmos vd (2013), yaptıkları çalışmada 2010 yılı güz döneminde Danimarka da mühendislik eğitimi alan öğrencileri kapsayan bir anket çalışmasıyla, bay ve bayan öğrencilerin mühendislik bölümlerine girişte, kişiye özgü motivasyonel faktörleri, motivasyonu etkileyen en önemli faktör olarak tespit etmişlerdir. Yazarlar, kişisel ve sosyal değişkenlerin de motivasyonu etkileyen en önemli faktörler olduklarını, daha sonra sırasıyla finansal faktörlerin bunları izlediğini, mentor (akıllıhocası) ve parental (anne- baba faktörü) değişkenlerin ise önem sırasına göre en sonda yer aldığını saptamışlardır. Yazarlar ayrıca bu faktörlerin cinsiyet ayrımına göre aldığı değerleri de tespit etmişlerdir.

2.1. Türkiye' deki İnşaat Mühendisliği Eğitimi ve Öğrenci Motivasyonu İle İlişkisi

2.1.1. Türkiye' deki İnşaat Mühendisliği Eğitimi ve Standartları

Dünyada Mühendislik programlarının eğitim-öğretim faaliyetlerini akredite eden iki büyük kapsayıcı kuruluş bilinmektedir. Bunlardan biri, Washington Anlaşması (Washington Accord) (WA)dır. Türkiyenin de içinde olduğu, Amerika Birleşik Devletleri, Avustralya, İngiltere, Kanada, İrlanda, Yeni Zelanda, Hong Kong, Güney Afrika, Japonya, Singapur, Güney Kore gibi birçok ülkenin yer aldığı küresel bir anlaşmadır. Avrupa Mühendislik Programları Akreditasyonu (European Accreditation of Engineering Programmes) (EURACE)da diğer akreditasyon kuruluşudur. Ülkemizde akreditasyon çalışmalarını ise, Mühendislik Eğitim Programları Değerlendirme ve Akreditasyon Derneği (MÜDEK) yürütmektedir. MÜDEK, yukarıda sözü edilen WA ve EURACE'nin üyesidir.

Ülkemizdeki İnşaat Mühendisliği Lisans Programlarından mezun olacak mühendisler, sadece ülkemizde değil, yurtdışında da çalışacakları düşüncesiyle yetiştirilmektedir. Bu nedenle öğretim dili olarak, yabancı dil ve anadilde eğitim veren lisans programları bulunmaktadır. Yabancı dille eğitim veren lisans programları, dil eğitimi için hazırlık dil sınıflarını oluşturarak, eğitimlerini tamamlamaktadırlar. Ayrıca Türkiyedeki üniversitelerde, mühendislik fakültelerinde, eğitim dönemleri dışındaki dönemlerde uygulamaya yönelik, pratik kazanma amacıyla, görgü ve bilgilerini arttıracakları şantiye ve bürolarda staj yapılması gerekmektedir. Aynı zamanda staj, lisans programlarında mezuniyet koşuludur. Öğrencilerin yaptığı stajlar öğrenciye motivasyon kazandırması ve ileride mesleki başarısı açısından çok faydalıdır. Türkiyedeki bir çok Üniversite Avrupa Birliği ülkeleri ile işbirliği çerçevesinde yürütülen Erasmus kapsamında, öğrencilerinin stajlarını yurt dışında da yapabilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca staj sonunda öğrencilerin hazırladıkları staj

dosyaları, raporlar vb. gibi dokümanlar öğretim üyelerinden oluşan komisyonlar tarafından değerlendirilmektedir.

2.1.2. İnşaat Mühendisliği Özelinde Ülkemizdeki Gelişmeler ve Öğrenci Motivasyonuna Etkisi

İnşaat Mühendisliği, yirminci yılın sonlarında, bilim ve teknolojiadaki gelişmelerden etkilenerek, önemli değişim ve ilerlemeler kaydetmiştir. Bilgiye sahip olmanın dışında, sahip olunan bilginin sürdürülebilirliği ayrı önem taşımaya başlamıştır. Bu yüzden, gelecekte, sadece üniversitede öğrendiğini meslek hayatı boyunca uygulayan değil, rasyonel düşünebilen, araştırabilen, meslek ile ilgili yeni bilgileri becerilerine katabilecek, donanımlı inşaat mühendislerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Ülke ekonomisinin lokomotif sektörü olan inşaat sektörü, ekonomik kriz dönemlerinde bile varlığını sürdürmekte, yurt dışı pazarlarda da gelişmektedir. Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliği'nin (ASCE) hazırladığı "2025 Yılı İnşaat Mühendisliği için Vizyon" isimli çalışmada da belirtildiği gibi "İnşaat Mühendisleri, toplumun kendisine emaneti olan sürdürülebilir bir dünya oluşturmak ve küresel yaşam kalitesini artırmak için, etik kurallar ışığında, işbirliğini gözeterek ve etkin bir biçimde belirlenen bu rolleri bir uzman olarak üstlenmelidirler.

Türkiye'de ise mevcut İnşaat Mühendisliği Eğitiminin durumunu ortaya koyabilmek için, İMO 40. Dönem Çalışma Programı çerçevesinde, inşaat sektörü çalışanları ve öğrenciler üzerinde anket çalışması yapmış ve bu anketin sonuçları "İnşaat Mühendisliği Eğitiminde Türkiye Gerçeği" adı altında yayımlanmıştır. (TMMOB-İMO,2008) Çalışmanın sonuçlarına dayanarak, Türkiye'deki İnşaat Mühendisliği mesleğinin ve eğitiminin başlıca sorunları; üniversitelerin altyapı sorunları, eğitim- öğretim sorunları ve akademik sorunlar ana başlıkları halinde verilmiştir. Bu çalışma da da sorun olarak belirtilen konuların öğrencilerin motivasyonlarını nasıl etkilediğini araştırabilmek için anket kapsamında ilgili sorular oluşturulmuştur.

Türkiye'deki İnşaat mühendisliği fakülteleri misyon ve vizyon olarak bir bilim merkezi olarak araştırma yapan, bilgi üreten uluslararası bilim adamları yetiştirmeyi hedeflerken, bunun yanında inşaat sektöründe istihdamı sağlamak üzere tasarlayan, hesaplayan, üreten ve denetleyen inşaat mühendislerinin yetiştirilmesini de amaçlamaktadırlar. Bir yandan bu hedeflere ulaşabilmek, bir yandan da (ASCE) hazırladığı "2025 Yılı İnşaat Mühendisliği için belirlediği özellikleri var edebilmenin koşulları; üniversitelerde eğitimin kalitesi ile doğrudan etkili, ayrıca öğretim elemanının niteliği ve niceliği, derslik, laboratuvar ve kütüphanelerin varlığına bağlı olmaktadır. Bunun yanında

öğrencilerin barınma, ulaşım, sosyal ve kültür aktivitelerine olanak sağlayan donanımlarla, alt yapıların varlığı ile mümkün olabilmektedir. Bu koşullar öğrencinin üniversiteye giriş döneminde üniversite seçiminde etkin olmakla birlikte, öğrenim yaşamı süresince öğrencinin motivasyonunu da etkilemektedir.

Bu çalışmanın amacı inşaat mühendisliği öğrencilerinin; üniversite seçimleri sırasında ve öğrencilik hayatları boyunca motivasyonlarını etkileyen faktörleri araştırarak, öğrencilerin motivasyonlarını sağlamak için öneriler oluşturmaya çalışmak şeklinde özetlenebilir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Çalışma sırasında inşaat mühendisliği öğrencilerinin motivasyonları ile ilgili örnek kütle seçiminde; ülkedeki en fazla üniversite sayısına sahip olan İstanbul ili seçilmiştir. İstanbul'da bünyesinde İnşaat Fakültesi bulunduran üniversitelerden 4'ü vakıf, 4'ü devlet olmak üzere 8 üniversite seçilmiştir. Anket çalışması 4 vakıf üniversitesinde çeşitli sebeplerden dolayı yapılamamıştır. Hedeflenen örnek kütlede 4 devlet üniversitesi çalışma kapsamında ele alınmıştır. Çalışma kapsamında ankete katılan üniversiteler Boğaziçi Üniversitesi (BÜ), İstanbul Üniversitesi (İÜ), İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) ve Yıldız Teknik Üniversitesidir (YTÜ). Anketler ilgili fakültelerin öğretim üyeleri ile birlikte veya bilgileri dahilinde, öğrencilerle yüz yüze görüşülerek uygulanmıştır.

Bu çalışmada inşaat mühendisliği öğrencilerinin; gerek üniversite ve meslek seçimi sırasında motivasyonlarını etkileyen faktörler, üniversitelerin ders plan ve içerikleri ve bunun öğrenci motivasyonuna etkileri, öğretim elemanının niteliği ve niceliği ile ders işleme yöntemleri ve bunun öğrenci motivasyonuna etkileri, öğrencilerin öğrenim hayatları sırasında uygulamaya dönük mesleki stajların öğrencilerin motivasyonuna etkisi araştırılmıştır. Çalışma sırasında yukarıda belirtilen bu faktörler bağımsız değişkenler olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma eğitimin yeterliliği ise bağımlı faktör olarak tanımlanmıştır. Bu kapsamda, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında neden-sonuç ilişkisi kurularak, Lojistik regresyon analizi gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında lojistik regresyon analizi dışında, anket sonuçlarından yola çıkılarak, istatistiksel analizler ile İstanbul genelindeki sonuçlarla, her bir üniversitenin sonuçları karşılaştırılarak, öğrencilerin anket sorularına verdiği yanıtların, hangi konularda birbirlerine yakınlığı, hangi konularda farklılaştığı konusuna dikkat çekilmek istenmiştir.

3.2. Lojistik Regresyon

Lojistik regresyon analizi, son dönemlerde özellikle sosyal bilimler ve fen bilimleri alanında kullanımı yaygınlaşan bir yöntemdir. Neden-sonuç ilişkilerinin ortaya konulması amacıyla yapılan çoğu sosyo-ekonomik araştırmada, incelenen değişkenlerden bazıları olumlu-olumsuz, başarılı-başarısız, evet-hayır, memnun-memnun değil şeklinde iki düzeyli verilerden oluşmaktadır. Bu türde bağımlı değişkenin iki düzeyli ya da çok düzeyli kategorik verilerden oluşması durumunda; bağımlı değişken ile bağımsız değişken (ler) arasındaki neden-sonuç ilişkisinin incelenmesinde, Lojistik Regresyon Analizi önemli bir yere sahiptir. Amaçlarından birisi sınıflandırma, diğeri ise bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkileri araştırmak olan lojistik regresyon analizinde, bağımlı değişken kategorik veri oluşturmakta ve kesikli değerler almaktadır. Bağımsız değişkenlerin ise hepsinin veya bazılarının sürekli ya da kategorik değişkenler olmasına ilişkin bir zorunluluk bulunmamaktadır. Lojistik regresyon analizi, regresyon analizinin normallik, ortak kovaryansa sahip olma gibi bir kısım varsayımlarının sağlanamaması durumunda, diskriminant analizi ve çapraz tablolara alternatif bir yöntemdir. Bağımlı değişkenin 0 ve 1 gibi iki düzey ya da ikiden fazla düzey içeren kesikli bir değişken olması durumunda da uygulanabilir olmasının yanında, matematiksel olarak esnekliği ve kolay yorumlanabilirliği, bu yönetime olan ilgiyi arttırmaktadır. Lojistik regresyon analizi, sınıflama ve atama işlemi yapmaya yardımcı olan bir regresyon yöntemidir. Normal dağılım varsayımı, süreklilik varsayımı önkoşulu yoktur. Bağımlı değişken üzerinde açıklayıcı değişkenlerin etkileri olasılık olarak elde edilerek, risk faktörlerinin olasılık olarak belirlenmesi sağlanır. (Özdamar 2002), (Tatlıdil 2002)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Araştırma kapsamında lojistik regresyon analiziyle; üniversite ayrımı gözetmeksizin inşaat mühendisliği eğitimlerini yeterli bulan veya yeterli bulmayan öğrencilerin motivasyonlarını etkileyen önemli faktörler tespit edilmiştir. Ayrıca anket sonuçlarından her bir üniversitenin verdiği yanıtları, diğer üniversitelerin yanıtlarına ve tüm İstanbul'daki üniversite yanıtlarının ortalamasına göre değerlendirebilmek için ise istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir.

4.1. Lojistik Regresyon Analizi Sonuçları

Anket sonuçlarının analizinde; inşaat mühendisliği öğrencilerinin üniversitede aldıkları eğitimin yeterli olup olmadığı şeklindeki soruya verdikleri evet veya hayır yanıtları, bağımlı değişken olarak ele alınmıştır. Bağımsız değişkenler ise; *ders plan ve içeriği, öğretim üyesinin niteliği, ders işleme*

yöntemleri, staj faktörü, üniversite seçimi, meslek seçimi ve üniversitenin altyapı durumu olarak belirlenmiştir.

4.1.1. Eğitim yeterliliğini etkileyen bağımsız değişkenlerin analizi

Bağımlı değişken olan eğitimin yeterliliğine göre, yukarıda sayılan yedi bağımsız değişkenin frekans ve yüzdelik dağılımları Tablo 1-7' de sırasıyla sunulmuştur.

Tablo 1. Eğitim yeterliliğine göre ders plan ve içeriğine ait frekans ve yüzde dağılımları

Bağımsız Değişken Çeşidi		Eğitiminin yeterliliği										
		Havır					Evet					
		I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	
Ders Plan ve içeriği	Temel derslerin haftalık ders saati yeterlidir	n	14	14	13	29	65	6	5	6	13	15
		%	10,4	10,4	9,6	21,5	48,1	13,3	11,1	13,3	28,9	33,3
	Sosyal derslerin haftalık ders saatleri yeterlidir	n	42	21	29	23	20	17	9	11	4	4
		%	31,1	15,6	21,5	17,0	14,8	37,8	20,0	24,4	8,9	8,9
	Mesleki derslerin haftalık ders saatleri yeterlidir	n	12	19	31	32	41	1	10	12	9	13
		%	8,9	14,1	23,0	23,7	30,4	2,2	22,2	26,7	20,0	28,9
Mesleki derslerin uygulama saati yeterlidir	n	31	37	25	25	17	11	14	8	7	5	
	%	23,0	27,4	18,5	18,5	12,6	24,4	31,1	17,8	15,6	11,1	
Ders programında 4 yıllık derslerin dağılımı başarımıza katkıda bulunacak sekildedir	n	23	24	44	18	26	9	5	8	15	8	
	%	17,0	17,8	32,6	13,3	19,3	20,0	11,1	17,8	33,3	17,8	

I:En Önemli II: Önemli III: Orta Derecede Önemli IV: Önemli V:En Önemli

Tablo 2. Eğitim yeterliliğine göre öğretim üyesi niteliğine ait frekans ve yüzde dağılımları

Bağımsız Değişken Çeşidi		Eğitiminin yeterliliği										
		Havır					Evet					
		I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	
Öğretim üyesi niteliği	Öğretim üyelerinin bilgi düzeyi	n	14	21	21	23	56	7	5	4	11	18
		%	10,4	15,6	15,6	17,0	41,5	15,6	11,1	8,9	24,4	40,0
	Öğretim üyesinin bilgilerinin güncel koşullarına göre güncellenmesi	n	13	15	17	33	57	2	5	11	13	14
		%	9,6	11,1	12,6	24,4	42,2	4,4	11,1	24,4	28,9	31,1
	Öğretim üyelerinin öğrenciler ile iletişimi	n	5	11	22	30	67	1	8	8	11	17
		%	3,7	8,1	16,3	22,2	49,6	2,2	17,8	17,8	24,4	37,8
Öğretim üyesinin öğrenci seviyesine uygun ders anlatması	n	8	20	27	34	46	10	11	8	6	10	
	%	5,9	14,8	20,0	25,2	34,1	22,2	24,4	17,8	13,3	22,2	
Yardımcı öğretim elemanlarının (arş. gör.) ilgili olması	n	41	22	26	23	23	17	7	6	8	7	
	%	30,4	16,3	19,3	17,0	17,0	37,8	15,6	13,3	17,8	15,6	

I:En Önemli II: Önemli III: Orta Derecede Önemli IV: Önemli V:En Önemli

Tablo 3. Eğitim yeterliliğine göre ders işleme yönteminin frekans ve yüzde dağılımları

Bağımsız Değişken Çeşidi		Eğitiminin yeterliliği										
		Havır					Evet					
		I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	
Ders İşleme Yöntemi	Derslerde çok sayıda örnek çözümlenmesi	<i>n</i>	3	18	27	33	54	6	4	5	14	16
		%	2,2	13,3	20,0	24,4	40,0	13,3	8,9	11,1	31,1	35,6
	Derslere öğrencinin aktif katılımının sağlanması	<i>n</i>	7	33	38	29	28	2	10	13	8	12
		%	5,2	24,4	28,1	21,5	20,7	4,4	22,2	28,9	17,8	26,7
	Derslerde devam zorunluluğunun olması	<i>n</i>	88	12	19	10	6	20	9	6	4	6
		%	65,2	8,9	14,1	7,4	4,4	44,4	20,0	13,3	8,9	13,3
	Öğretim üyesinin öğrenciye dersi sevdirmesi	<i>n</i>	1	19	21	31	63	5	7	4	11	18
		%	0,7	14,1	15,6	23,0	46,7	11,1	15,6	8,9	24,4	40,0
	Derslerin görsel araçlarla veya uygulamalı alanlarında verilmesi	<i>n</i>	11	17	27	30	50	9	6	13	12	5
		%	8,1	12,6	20,0	22,2	37,0	20,0	13,3	28,9	26,7	11,1

I:En Önemli II: Önemli III: Orta Derecede Önemli IV: Önemli V:En Önemli

Tablo 4. Eğitim yeterliliğine göre staj faktörünün frekans ve yüzde dağılımları

Bağımsız Değişken Çeşidi		Eğitiminin yeterliliği										
		Havır					Evet					
		I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	
Staj faktörü	Zorunlu stajın süresi yeterlidir	<i>n</i>	27	10	21	27	50	6	5	7	7	18
		%	20,0	7,4	15,6	20,0	37,0	14,0	11,6	16,3	16,3	41,9
	Stajlar meslek yaşantısına hazırlanmayı sağlar	<i>n</i>	6	12	12	30	75	5	2	5	16	17
		%	4,4	8,9	8,9	22,2	55,6	11,1	4,4	11,1	35,6	37,8
	Staj süresince meslek ile ilgili yapılan aktiviteler yeterlidir	<i>n</i>	27	18	50	31	9	7	8	11	11	8
		%	20,0	13,3	37,0	23,0	6,7	15,6	17,8	24,4	24,4	17,8
	Staj yaptırılan kurumun olanakları yeterlidir	<i>n</i>	21	41	39	21	13	11	18	6	5	5
		%	15,6	30,4	28,9	15,6	9,6	24,4	40,0	13,3	11,1	11,1
	Staj, mezuniyet sonrası için iş başvurusu yerine geçebilir	<i>n</i>	31	27	33	23	21	14	8	10	7	6
		%	23,0	20,0	24,4	17,0	15,6	31,1	17,8	22,2	15,6	13,3

I:En Önemli II: Önemli III: Orta Derecede Önemli IV: Önemli V:En Önemli

Tablo 5. Eğitim yeterliliğine göre üniversite seçiminin frekans ve yüzde dağılımları

Bağımsız Değişken Çeşidi		Eğitiminin yeterliliği										
		Havır					Evet					
		I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	
Üniversite seçimi	Üniversitenin ailemin yaşadığı şehre yakınlığı veya aynı şehirde olması	<i>n</i>	57	15	33	12	18	14	5	5	9	12
		%	42,2	11,1	24,4	8,9	13,3	31,1	11,1	11,1	20,0	26,7
	Üniversitenin burs, barınma vb. olanaklarının iyi olması	<i>n</i>	51	38	31	10	5	12	9	17	6	1
		%	37,8	28,1	23,0	7,4	3,7	26,7	20,0	37,8	13,3	2,2
	Arkadaşlarının aynı üniversitede olduğu veya olacağı	<i>n</i>	62	39	21	12	1	16	17	7	5	0
		%	45,9	28,9	15,6	8,9	0,7	35,6	37,8	15,6	11,1	0,0
	Üniversitenin öğretim üyesinin kalitesi ve sayısı	<i>n</i>	6	3	23	62	41	3	5	10	13	14
		%	4,4	2,2	17,0	45,9	30,4	6,7	11,1	22,2	28,9	31,1
	Üniversitenin bir marka olması	<i>n</i>	6	2	8	41	78	3	5	2	10	25
		%	4,4	1,5	5,9	30,4	57,8	6,7	11,1	4,4	22,2	55,6

I:En Önemli II: Önemli III: Orta Derecede Önemli IV: Önemli V:En Önemli

Tablo 6. Eğitim yeterliliğine göre meslek seçimine ait frekans ve yüzde dağılımları

Bağımsız Değişken Çeşidi		Eğitiminin yeterliliği										
		Hayır					Evet					
		I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	
Meslek seçimi	İnşaat mühendisliğinin kazancının yüksek olacağı düşüncesi	n	13	12	33	45	32	5	6	10	13	11
		%	9,6	8,9	24,4	33,3	23,7	11,1	13,3	22,2	28,9	24,4
	Aile üyelerinin inşaat sektöründe çalışıyor olması	n	55	21	18	20	21	11	9	6	6	13
		%	40,7	15,6	13,3	14,8	15,6	24,4	20,0	13,3	13,3	28,9
	İnşaat mühendisliği mesleğine olan ilgi	n	9	18	27	30	51	3	5	11	14	12
		%	6,7	13,3	20,0	22,2	37,8	6,7	11,1	24,4	31,1	26,7
Aile üyelerinin ısrarcı tutumları	n	67	35	20	6	7	22	11	5	5	1	
	%	49,6	25,9	14,8	4,4	5,2	50,0	25,0	11,4	11,4	2,3	
Tercih edilen bölümün, ÖSYM sınav sonucunda alınan puanı en yakın bölüm olması	n	33	16	19	31	36	11	15	8	6	5	
	%	24,4	11,9	14,1	23,0	26,7	24,4	33,3	17,8	13,3	11,1	

I:En Önemli II: Önemli III: Orta Derecede Önemli IV: Önemli V:En Önemli

Tablo 7. Eğitim yeterliliğine göre altyapı faktörünün frekans ve yüzde dağılımları

Bağımsız Değişken Çeşidi		Eğitiminin yeterliliği										
		Hayır					Evet					
		I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	
Altyapı	Üniversite yerleşkesinin düzeni	n	29	19	13	37	37	8	3	3	9	22
		%	21,5	14,1	9,6	27,4	27,4	17,8	6,7	6,7	20,0	48,9
	Sosyal etkinlik olanaklarının çokluğu(öğrenci toplulukları, sinema, tivatro vb.)	n	23	18	14	30	50	4	7	8	15	11
		%	17,0	13,3	10,4	22,2	37,0	8,9	15,6	17,8	33,3	24,4
	Laboratuvar olanaklarının iyi olması	n	19	22	30	35	29	8	13	6	11	7
		%	14,1	16,3	22,2	25,9	21,5	17,8	28,9	13,3	24,4	15,6
Bilişim alt yapısının iyi olması	n	15	21	30	32	37	6	12	12	8	7	
	%	11,1	15,6	22,2	23,7	27,4	13,3	26,7	26,7	17,8	15,6	
Kütüphane ve diğer araştırma olanaklarının iyi olması	n	15	14	29	38	39	10	4	10	8	13	
	%	11,1	10,4	21,5	28,1	28,9	22,2	8,9	22,2	17,8	28,9	

I:En Önemli II: Önemli III: Orta Derecede Önemli IV: Önemli V:En Önemli

4.1.2. Lojistik Regresyon Analizi Sonuçları

Hedeflenen lojistik regresyon analizi için öncelikle bir model oluşturmak ve bu modelin geçerliliğini test etmek gerekmektedir. Tablo 8, 9 ve 10 da hedeflenen modelde bağımlı değişkenin aldığı değerler, modelin katsayılarının olasılık değerleri ve modelin özeti belirtilmiştir.

Tablo 8. Bağımlı Değişkenin Aldığı Değerler

Original Value	Internal Value
Hayır	0
Evet	1

Tablo 9. Model Katsayılarına İlişkin OMNIBUS Testi

	Ki Kare	Serbestlik Derecesi	Olasılık Değeri (p)
Step	62,456	35	0,003
Block	62,456	35	0,003
Model	62,456	35	0,003*

Kurulan regresyon modeli istatistiksel olarak anlamlıdır ($X^2_{(35)} = 62,456$; $p < 0,05$)

Tablo 10. Amaçlanan Modelin Özeti

-2 LL	Cox & Snell R ²	Nagelkerke R ²
0,000	0,666	1,000

Tablo 10 da görüldüğü üzere, -2LL ya da -2log olabirlik (-2log likelihood) bir model uyumu indeksidir. En çok olabirlik kestiriminin ne kadar iyi uyuma işaret ettiğine ilişkin temel ölçü, çoklu regresyondaki kareler toplamına benzeyen “olabirlik değeridir (likelihood value)” Lojistik regresyon, kestirilen model uyumunu olabirlik değerinin -2 log’unu alarak ölçer. -2LL’nin alabileceği en küçük değer 0’dır ve mükemmel uyuma karşılık gelir. -2LL=0 olduğunda, olabirlik=1’dir.

Buna göre modelin -2 LL değeri mükemmel uyum düzeyinde çıkmıştır.

Cox & Snell R² ve Nagelkerke R² değerleri, lojistik model tarafından açıklanan varyans miktarını gösterir ve 1.00 mükemmel model uyumunu ifade eder. Cox & Snell R² hiçbir zaman 1’e ulaşmaz ve bu nedenle yorumlanması çok kolay olmamaktadır. Tablo 10’ da görüldüğü üzere bu değer 0,666’ dır. Bu nedenle Nagelkerke R² değeri hesaplanır. Nagelkerke R² katsayısı, aralığın 0-1 arasında değişmesini sağlamak adına Cox & Snell katsayısının dönüşüme uğramış şeklidir. Bu modelde Nagelkerke R² değeri 1.000’dir (Tablo 10). Buna göre bağımsız değişkenler, incelenen bağımlı değişkendeki değişimin %100’ünü açıklamaktadır. Bağımsız değişkenlerin aldığı değerler ise Tablo 11 de listelenmiştir.

Tablo 11. Modelde Yer Alan Bağımsız Değişkenlere Ait Değerler

Bağımsız Değişkenler	Katsayı	S.E.	Wald	sd	p	ODDS Ratio
Temel derslerin (matematik, fizik vb.) haftalık ders saati yeterlidir	-0,244	0,229	1,132	1	0,287	0,784
Sosyal derslerin haftalık ders saatleri yeterlidir	-0,457	0,241	3,580	1	0,058	0,633
Mesleki derslerin (Ba., Y. Statığı, Zemin Mekaniği) haftalık ders saatleri yeterlidir	0,417	0,254	2,703	1	0,100	1,518
Mesleki derslerin uygulama saati yeterlidir	-0,466	0,243	3,670	1	0,055	0,628
Ders programında 4 yıllık derslerin dağılımı başarımıza katkıda bulunacak şekildedir	0,015	0,219	0,004	1	0,947	1,015
Öğretim üyelerinin bilgi düzeyi	-0,303	0,213	2,019	1	0,155	0,739
Öğretim üyesinin bilgilerini günümüz koşullarına göre güncellenmesi	0,116	0,238	0,240	1	0,624	1,123
Öğretim üyelerinin öğrenciler ile iletişimi	-0,310	0,248	1,560	1	0,212	0,734
Öğretim üyesinin öğrenci seviyesine uygun ders anlatması	-0,569	0,235	5,858	1	0,016*	0,566
Yardımcı öğretim elemanlarının (ar. gör) ilgili olması	0,167	0,231	0,524	1	0,469	1,182
Derslerde çok sayıda örnek çözülmesi	-0,153	0,265	0,332	1	0,565	0,858
Derslere öğrencinin aktif katılımının sağlanması	0,140	0,242	0,336	1	0,562	1,150
Derslerde devam zorunluluğunun olması	0,321	0,231	1,925	1	0,165	1,378
Öğretim üyesinin öğrenciye dersi sevdirmesi	-0,175	0,232	0,572	1	0,450	0,839
Derslerin görsel araçlarla veya uygulama alanlarında verilmesi	-0,314	0,247	1,626	1	0,202	0,730
Zorunlu stajın süresi yeterlidir	0,193	0,200	0,931	1	0,335	1,212
Stajlar meslek yaşantısına hazırlanmayı sağlar	-0,226	0,228	0,981	1	0,322	0,798

Staj süresince meslek ile ilgili yapılan aktiviteler yeterlidir	0,433	0,234	3,426	1	0,064	1,541
Staj yaptırın kurumun olanakları yeterlidir	-0,164	0,221	0,552	1	0,457	0,849
Staj, mezuniyet sonrası için iş başvurusu yerine geçebilir	0,047	0,187	0,064	1	0,801	1,048
Üniversitenin ailemin yaşadığı şehre yakınlığı veya aynı şehirde olması	0,439	0,192	5,253	1	0,022*	1,552
Üniversitenin burs, barınma vb. olanaklarının iyi olması	0,667	0,291	5,257	1	0,022*	1,949
Arkadaşlarının aynı üniversitede olduğu veya olacağı	0,099	0,264	0,140	1	0,709	1,104
Üniversitenin öğretim üyesinin kalitesi ve sayısı	0,247	0,267	0,860	1	0,354	1,281
Üniversitenin bir marka olması	0,489	0,281	3,030	1	0,082	1,631
İnşaat mühendisliğinin kazancının yüksek olacağı düşüncesi	-0,449	0,255	3,090	1	0,079	0,638
Aile üyelerinin inşaat sektöründe çalışıyor olması	-0,143	0,186	0,591	1	0,442	0,867
İnşaat mühendisliği mesleğine olan ilgi	-0,461	0,243	3,614	1	0,057	0,631
Aile üyelerinin ısrarcı tutumları	-0,282	0,263	1,148	1	0,284	0,754
Tercih edilen bölümün, ÖSYM sınav sonucunda alınan puana en yakın bölüm olması	-0,453	0,201	5,083	1	0,024*	0,635
Üniversite yerleşkesinin düzeni	0,434	0,218	3,944	1	0,047*	1,543
Sosyal etkinlik olanaklarının çokluğu(öğrenci toplulukları, sinema, tiyatro vb.)	0,202	0,213	0,899	1	0,343	1,224
Laboratuvar olanaklarının iyi olması	-0,042	0,218	0,038	1	0,846	0,958
Bilişim alt yapısının iyi olması	-0,122	0,221	0,301	1	0,583	0,886
Kütüphane ve diğer araştırma olanaklarının iyi olması	0,199	0,226	0,775	1	0,379	1,220
Sabit	1,335	3,351	0,159	1	0,690	3,800

Tablo 11’ de tahmin edilen değeri (p) en küçük olana göre bağımsız değişkenlere ait göreceli olasılık oranı-etki büyüklüğü (ODDS Ratio) aşağıda yorumlanmıştır:

- Öğretim üyesinin öğrenci seviyesine uygun ders anlatmasının öğrenci başarısına etki ettiğinin belirtilme olasılığı; eğitimin yeterli olduğunu belirtenlerde, eğitimin yeterli olmadığını belirtenlere göre %56,6 daha fazladır. Eğitimin yeterli olduğunu belirtenler içerisinde öğretim üyesinin öğrenci seviyesine uygun ders anlatmasının öğrenci başarısına etki ettiğinin belirtilmesi oranı daha fazladır.
- Üniversitenin ailesinin yaşadığı şehre yakınlığı veya aynı şehirde olmasının etkili olduğunu belirtenlerin oranı eğitimin yeterli olduğunu belirtenlerde, yeterli olmadığını belirtenlere göre 1,552 kat daha fazladır.
- Üniversitenin burs, barınma vb. olanaklarının iyi olmasının etkili olduğunu belirtenlerin oranı eğitimin yeterli olduğunu belirtenlerde, yeterli olmadığını belirtenlere göre 1,949 kat daha fazladır.
- Tercih edilen bölümün, ÖSYM sınav sonucunda alınan puana en yakın bölüm olmasının belirtilme olasılığı eğitimin yeterli olduğunu belirtenlerde, eğitimin yeterli olmadığını belirtenlere göre %63,5 daha fazladır. Eğitimin yeterli olduğunu belirtenler içerisinde Tercih edilen bölümün, ÖSYM sınav sonucunda alınan puana en yakın bölüm olmasının belirtilmesi oranı daha fazladır.
- Üniversite yerleşkesinin düzeninin etkili olduğunu belirtenlerin oranı eğitimin yeterli olduğunu belirtenlerde, yeterli olmadığını belirtenlere göre 1,543 kat daha fazladır.

Tablo 12’ de ise katılımcıların ankete verdikleri cevapların doğruluğunun testi yapılmıştır.

Tablo 12. Sınıflandırma Tablosu

Gözlenen	Öngörülen			
	Eğitiminin yeterliliği		Doğrulanmış Sınıflandırma	
	Hayır	Evet	Yüzdesi	
Eğitiminin yeterliliği	Hayır	131	4	97,0
	Evet	16	26	61,9
Toplam Doğrulanmış Sınıflandırma Yüzdesi				88,7

Buna göre ankete katılan ve eğitimin yeterli olmadığını belirten 131 kişi doğru, 4 kişi ise yanlış sınıflandırılmış olup, doğru sınıflama yüzdesi %97,0 ve

eğitimin yeterli olduğunu belirten 26 kişi doğru, 16 kişi yanlış sınıflandırılmış olup doğru sınıflama yüzdesi %61,9'dur. Model sonucunda toplam doğru sınıflandırma yüzdesi %88,7dir. (Tablo 12)

4.2. İstatistiksel Analiz Sonuçları

Bu bölümde inşaat mühendisliği öğrencilerinin üniversite seçimlerinde onları motive eden faktörler irdelenmiş ve öğrencilerin üniversite seçimleri ve öğrenimleri sırasında motivasyonlarını etkileyen önemli faktörler; üniversitenin marka değeri, üniversite yerleşkesinin altyapısı ve öğretim üyesinin niteliği olarak belirlenmiştir.

4.2.1. Öğrencileri üniversite seçimleri sırasında motive eden faktörler

Ankete katılan öğrencilerden, üniversite seçimlerinde onları motive eden, seçeneklerdeki faktörleri önem derecelerine göre sıralamaları istenmiştir. Üniversitelerin tümünde, öğrencilerin üniversite seçimlerinde motivasyonlarını birinci ve ikinci sırada önemli olarak etkileyen faktörler; üniversitenin bir marka olması ve üniversitenin öğretim üyelerinin sayısı ve kalitesi faktörleri olduğu tespit edilmiştir (Tablo 13). Tablo 13 incelendiğinde; BÜ, İTÜ ve İÜ 'de motivasyonu etkileyen faktörlerin sırası aynı kalırken, YTÜ'de üniversitenin öğretim üyelerinin sayısı ve kalitesi birinci sırada önemli bulunurken, üniversitenin bir marka değerinin olmasının ise, ikinci sırada önemli faktör olarak ifade edilmiştir.

Tablo13. Öğrencileri üniversite seçimleri sırasında motive eden faktörler

<i>Öğrencileri üniversite seçimleri sırasında motive eden faktörler</i>	<i>Boğaziçi Üniversitesi</i>	<i>İstanbul Teknik Üniversitesi</i>	<i>İstanbul Üniversitesi</i>	<i>Yıldız Teknik Üniversitesi</i>	<i>Ortalama Değeri (x₀)</i>
Ailenin yaşadığı yere olan yakınlığı	2.22	2.52	2.89	2.66	2.55
Üniversitenin burs, barınma özelliklerinin iyi olması	2.45	1.89	2.24	2.03	2.19
Arkadaşlarının aynı üniversitede olduğu veya olacağı	1.81	1.93	2.26	1.69	1.93
Öğretim üyelerinin sayısı ve kalitesi	3.96	3.89	3.42	4.17	3.88
Üniversitenin bir marka değerinin olması	4.53	4.39	4.13	4.06	4.29

4.2.2. Öğrencilerin motivasyonunu etkileyen altyapıya dönük faktörler

Ankete katılan öğrencilere, motivasyonlarının üniversitenin altyapısıyla ilgili hangi özelliklerden etkilendiği sorusuna, üniversiteler arasında birinci sırada farklı bir faktörün yer aldığı görülmektedir (Tablo 14). BÜ öğrencileri, üniversitenin öğrenci topluluklarının faaliyetlerini, sosyal etkinlikleri ve benzeri faktörleri motivasyonlarını etkileyen önemli bir faktör olarak belirlerken, İTÜ öğrencileri, üniversitenin araştırma olanaklarının, kütüphane ve bilgiye ulaşılabilirliği gibi faktörleri motivasyonlarını etkileyen önemli faktör olduğunu ifade etmişlerdir. İÜ öğrencileri ise, motivasyonlarını etkileyen önemli faktör olarak, üniversitenin yerleşke düzeni olduğunu belirtmişlerdir. YTÜ öğrencileri de, motivasyonlarını etkileyen önemli bir faktör olarak, üniversitenin bilişim alt yapısından etkilendiklerini belirtmişlerdir.

Tablo14. Öğrencilerin motivasyonunu etkileyen altyapıya dönük faktörler

Öğrencilerin motivasyonunu etkileyen altyapıya dönük faktörler	Boğaziçi Üniversitesi	İstanbul Teknik Üniversitesi	İstanbul Üniversitesi	Yıldız Teknik Üniversitesi	Ortalama Değeri (x ₀)
Üniversite yerleşkesinin düzeni	3.44	2.74	3.94	3.58	3.60
Sosyal etkinlikleri (Öğrenci toplulukları vs)	3.90	3.09	3.64	3.47	3.49
Laboratuvar olanakları	2.89	3.22	3.36	3.50	3.16
Bilişim altyapısı	3.36	2.89	3.42	3.94	3.29
Araştırma olanakları ve kütüphane	3.42	3.46	3.39	3.42	3.46

4.2.3. Öğrencilerin motivasyonunu etkileyen öğretim üyesi niteliği ile ilgili faktörler

Ankete katılan öğrencilerden, onları motive eden, öğretim elemanının nitelikleriyle ilgili seçeneklerdeki faktörleri, önem derecelerine göre sıralamaları istenmiştir. Katılımcı tüm üniversite öğrencilerinin birinci veya ikinci sırada önemli buldukları faktörün öğretim üyesinin öğrenci ile iletişimi olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 15). Tablo 15 incelendiğinde; BÜ, İÜ ve YTÜ öğrencileri için öğretim üyesi ile öğrencinin iletişimi birinci sırada önemli bir faktör olarak görülürken, İTÜ öğrencileri için ise, motivasyonlarını etkileyen faktör olarak öğretim üyesinin bilgilerini güncellemesi faktörü birinci sırada önemli olarak yer almış, öğretim üyesinin öğrencilerle iletişimi faktörü ise ikinci sırada önemli bir diğer faktör olarak görülmüştür.

Tablo15. Öğrencilerin motivasyonunu etkileyen öğretim üyesi niteliği ile ilgili faktörler

Öğrencilerin motivasyonunu etkileyen öğretim üyesi niteliği ile ilgili faktörler	Boğaziçi Üniversitesi	İstanbul Teknik Üniversitesi	İstanbul Üniversitesi	Yıldız Teknik Üniversitesi	Ortalama (X _{ort.})
Öğretim üyesinin bilgi düzeyi	3.51	3.37	3.89	4.20	3.63
Öğretim üyesinin bilgilerinin güncelleme	3.75	3.61	3.78	4.03	3.77
Öğretim üyesinin öğrenci ile iletişimi	4.28	3.35	4.17	4.23	3.99
Öğretim üyesinin öğrenci seviyesine uygun ders anlatması	3.65	3.09	3.83	3.31	3.47
Yardımcı ögr. Elemanlarının ilgili olması	2.65	2.43	3.30	2.63	2.70

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada inşaat mühendisliği öğrencilerinin motivasyonunda etkili olan belirgin faktörler lojistik regresyon yöntemi ve frekans analizleri ışığında ayrı ayrı ele alınmış ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Lojistik regresyon analizi sonucunda çalışmada *öğrencilerin üniversite seçimini etkileyen faktörler* arasında sıralamada ilk faktör üniversitenin burs, barınma vb. olanaklarının iyi olması şeklinde belirlenmiştir. Üniversitenin ailesinin yaşadığı şehre yakınlığı veya aynı şehirde olmasının etkili olduğu faktörü ise ikinci sırada yer almıştır. Yine lojistik regresyon analizi ile öğrencilerin motivasyonunu etkileyen üniversite altyapısına ait en önemli faktörün ise üniversite yerleşkesinin düzeni olarak belirlenmiştir. Analiz sonucunda ayrıca öğretim üyesinin öğrenci seviyesine uygun ders anlatmasının ise öğrenci başarısı ve motivasyonuna etki eden en önemli faktör olduğu görülmektedir.

Frekans analizi sonuçlarına bakıldığında ise, İstanbuldaki dört üniversitede İnşaat Mühendisliği Fakültelerini tercih eden öğrencilerin ankete verdikleri yanıtların ağırlıklı ortalaması alınarak genel sonuçlar irdelenmiş ve aşağıdaki çıkarımlara ulaşılmıştır. Analiz sonucunda inşaat mühendisliği öğrencilerinin

oldukça yüksek bir ortalama ($x_{ort}=4.29$) ile üniversite seçiminde üniversitenin marka olmasının kendilerini etkilediğini ve bunu önemli bir faktör olarak algıladıkları görülmektedir. Üniversite seçiminde ikinci sırada önemli faktöründe üniversitenin öğretim üyesinin nitelik ve niceliği olduğu ($x_{ort}=3.88$), ve üniversitelerin marka özelliği kazanmasında bu faktörün de önemli bir etken olduğu anlaşılmaktadır. Çalışmada öğrenciler, üniversitenin altyapısıyla ilgili özelliklerinin de motivasyonlarını etkilediğini ifade etmişlerdir. Analiz sonucunda İstanbul genelinde, öğrencilerin motivasyonunu etkileyen ilk sıradaki faktör, üniversitenin yerleşkesinin düzeni ve kampüs olanakları ($x_{ort}=3.60$) olarak belirlenmiştir. Yerleşke içinde bulunan barınma olanakları, ulaşım ile ilgili kolaylıklar, her türlü çalışma araştırma, spor ve kültürel etkinliklere olanak sağlayan birimlerin varlığı ya da yokluğu, öğrencilerin motivasyonunu olumlu ya da olumsuz etkilemektedir. Bunun yanında üniversitenin sosyal alandaki aktivitelerinin de (öğrenci toplulukları, sinema vb.) ($x_{ort}=3.49$) öğrencilerin motivasyonlarını ikinci sırada etkilediği analiz sonuçlarından görülmektedir. Ankete katılan öğrenciler, öğretim üyelerinin nitelikleri ile ilgili özelliklerinin de kendi motivasyonlarını önemli ölçüde etkilediğini belirtmişlerdir. Öğretim üyelerinin nitelikleri ile ilgili özelliklerden ‘Öğretim üyesinin öğrenci ile iletişimi’ öğrenci motivasyonunu etkileyen en etkin faktördür ($x_{ort}=3.99$). İkinci sırada ise ‘Öğretim elemanının bilgilerini güncelliyor olması’ faktörü gelmektedir ($x_{ort}=3.77$). Günümüzde artık öğrencinin olumlu yönde motive olabilmesi için, öğrencisiyle ilgilenebilen, onunla gerektiğinde iletişim kuran, aynı zamanda bilgilerini güncelleyen, değişen teknolojiye ayak uyduran, bir anlamda kendini sürekli yenileyen öğretim üyelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Analiz sonuçlarından öğrencilerin motivasyonunu etkileyen faktörlerin tespiti ile şu öneriler geliştirilebilir:

- Öğrencilerin motivasyonunu etkilemede üniversitenin yerleşkesi ve alt yapısı oldukça önemlidir. Üniversitenin öğrencilere sunduğu barınma, ulaşım, araştırma olanakları, bilgiye ulaşılabilirliği, ders çalışma ortamlarıyla ilgili hizmetler, kısaca sosyal, kültürel ve spor ile ilgili aktivitelerinin artırılması öğrencilerin motivasyonunu olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir.
- Üniversitede görev yapan öğretim elemanı kadrosu da öğrencilerin performansında etkin rol oynamaktadır, Öğrencileri ile iletişim kuran, bilgilerini güncelleyip, aktaran, öğrencilerin seviyesine uygun ders anlatan öğretim elemanları istenmektedir. Bu özellikteki öğretim elemanlarının varlığı, bulunduğu üniversitenin bir marka olmasına da hizmet etmekte ve öğrencilerin üniversite seçimleri sırasında tercih sebebi olmaktadır.

6.REFERANSLAR

- Acat, M. B. and Demiral S. (2002). “Türkiye’de Yabancı Dil Öğreniminde Motivasyon Kaynakları ve Sorunları”,
Kuramdan Uygulamaya Eğitim Yönetimi, 8 (31) 312-329.
- Ali Eryılmaz (2013), “Okulda Motivasyon ve Amotivasyon: Derse Katılmada Öğretmenden Beklentiler Ölçeğinin Geliştirilmesi”, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 13 (25), pp. 1 - 18
- Alpay, E., Ahearn, A.L., Graham, R.H. and Bull, A. M. J. (2008). “Student Enthusiasm for Engineering: Charting Changes in Student Aspirations and Motivation”, European Journal of Engineering Education, 33(5-6), pp.573-585
- Baillie, C. and Fitzgerald, G. (2010). “Motivation and attrition in engineering students.”, European Journal of Engineering Education, 25(2), pp. 145-155
- Dede, Y. and Yaman, S. (2008). “Fen Öğrenmeye Yönelik Motivasyon Ölçeği: Geçerlilik ve Güvenirlilik Çalışması”, Necatibey Eğitim Fakültesi, Fen ve Matematik Eğitimi Dergisi, 2(1), pp. 19-37.
- Eryılmaz, A. (2013). “Okulda Motivasyon ve Amotivasyon: Derse Katılmada Öğretmenden Beklentiler Ölçeğinin Geliştirilmesi”, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 13(25), pp. 1-18.
- Gencay, A. and Gencay, S. (2007). “Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu Öğrencilerinin Öğretmenlik Mesleğine İlişkin Motivasyon Düzeylerinin Bazı Değişkenler Açısından İncelenmesi”. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 17, pp. 241-253.
- Kolmos, A., Mejlgaard, N., Haase, S. and Egelung, H. J. (2013). “Motivational Factors Gender and Engineering Education”, European Journal of Engineering Education, 38(3), pp.340-358
- Leung, M. Y., Fang, Z., Li, J, Lu. X. and Lu. M. (2006). “Learning Approaches of Construction Engineering Students: A Comparative Study Between Hong Kong and Mainland China”, Journal for Education the Built Environment, 1(1), pp. 112-131

- Mıstıkoğlu, G. (2010). “İnşaat Mühendisliği Öğrencilerinin Motivasyonlarını Etkileyen Faktörlerin Değerlendirmesi Üzerine Örnek Bir Çalışma”, 1. Project and Construction Management Congress, METU, Ankara
- Nick, S., Rey, B., Eleni, N. (2011). “Motivasyon of Engineering Students in Higher Education”, The Higher Education Academy Journal Engineering Education, 6(2), pp. 39-46
- Özdamar, K. (2002). Paket Programlar ile İstatiksel Veri Analizi, kitapyurdu.com, Kaan Kitabevi
- Sancho, P.,Torrente, J.ve Fernandez-Manjon, B. (2012) Mare Monstrum: A Contribution to Empirical research about How the use of MUVE, may Improve Students’ Motivation, Journal of Universal Computer Science, Vol 18, no 18, pp. 2576-2598
- Robert J. Vallerand, Marc R. Blais, Nathalie M. Briere, Evelyne F. Vallieres, (1992), 'The Academic Motivation Scale: A Measure of Intrinsic, Extrinsic, and Amotivation in Education Educational and Psychological Measurement', vol. 52 no. 4, pp. 1003-1017
- Serkan Engin, Hilal Meydanlı Atalay, Fuad Okay, (2009), "İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğrencilerinin Performansını Etkileyen Faktörlerin Değerlendirilmesi" 1. İnşaat Mühendisliği Eğitimi Sempozyumu, Antalya
- Tatlıdil, H. (2002). “Uygulamalı çok degiskenli istatistiksel Analiz”, Ankara, Ziraat Matbaacılık.
- TMMOB-İMO (2008). İnşaat Mühendisliği eğitiminde Türkiye gerçeği. Ankara, İMO Yayını, 93 s

27. Bölüm

Tekstil Üretimi ve Tüketiminin Çevresel Etkileri

İlayda KIRKAN ¹
Güray SALİHOĞLU ²

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, ilaydakirkan1397@gmail.com, ORCID No: 0000-0001-6534-1859

² Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, gurays@uludag.edu.tr, ORCID No: 0000-0003-0714-048X

ÖZ

1. GİRİŞ

İnsanlığın var oluşundan bu yana giyim, fizyoloji, güvenlik, aidiyet, saygınlık ve kendini gerçekleştirme gereği önemli olmuştur (Maslow ve ark., 1989). Tekstil, Latince 'de *textilis*, Fransızca 'da *texere* sözcüğünden türetilen "ağ, kanvas, dokunmuş kumaş, kumaş, dokunmuş bir yapı" anlamına gelmektedir (Online Ethymology Dictionary, 2017). Başlarda sadece dokuma kumaşlar için kullanılan bu terim günümüzde daha geniş bir anlamı kapsamaktadır (Abrahart ve ark., 2022). Tarihi, milattan önceki dönemlere dayanan tekstil, 18.yüzyılda İngiltere'de gerçekleşen Sanayi Devrimi ile birlikte hem mekanik yöntemler hem de kullanılan içerikler bakımından değişmiş ve gelişmiştir.

Hızlı moda, tüketicilerin ürünü uzun sürede kullanmasını değil, o ürünün kısa periyotlarda tekrardan talep etmesini amaçlamaktadır. Artan talep, üreticileri daha ucuz ham madde, kimyasal alternatiflerine yöneltmiş ve fosil kaynaklara dayanan bu sektörün çevreye verdiği tahribat ilk etapta hesaba katılmamıştır. 2020'de tekstil tüketimi, tüm Avrupa Birliği tüketim kategorileri gıda, barınma, ulaşım ve hareketlilik ile mobilya ve ev eşyalarından sonra çevre üzerinde dördüncü en yüksek etkiye sahiptir (Manshoven ve ark.,2022). Yaşam yolculuğu uzun olan bu sektörün her aşamasının havaya, suya, toprağa ve canlılara farklı düzeylerde etkileri bulunmaktadır. Yılda salınan küresel sera gazı emisyonlarının %8-10'unu oluşturan tekstil endüstrisi, uzun tedarik zinciri, enerji, su ve kimyasal yoğun bir sektör olması nedeni ile ekolojik ayak izi en büyük olan sektörlerden biridir (UNFCCC, 2018; Niinimäki ve ark., 2020). Küresel olarak endüstriyel su kirliliğinin yüzde 20'sinin tekstillerin boyanması ve terbiye işlemlerinden kaynaklandığı bildirilmiştir (Kant, 2012). UNEP (2020) raporuna göre, her yıl karasal kaynaklardan okyanuslara yaklaşık yüzde 9'u giysi ve diğer tekstil kaynaklı mikroplastik salınmaktadır. Küresel bazda atılan tekstil ürünlerinin yaşamı, yaklaşık % 87'sinin %90'ından fazlası yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir olduğu halde deponi sahalarında ve yakma fırınlarında son bulmuştur (Ross, 2019; Caulfield, 2009; Hennes ve ark., 2014, 2014; Hawley, 2009; Laitala, 2014) .

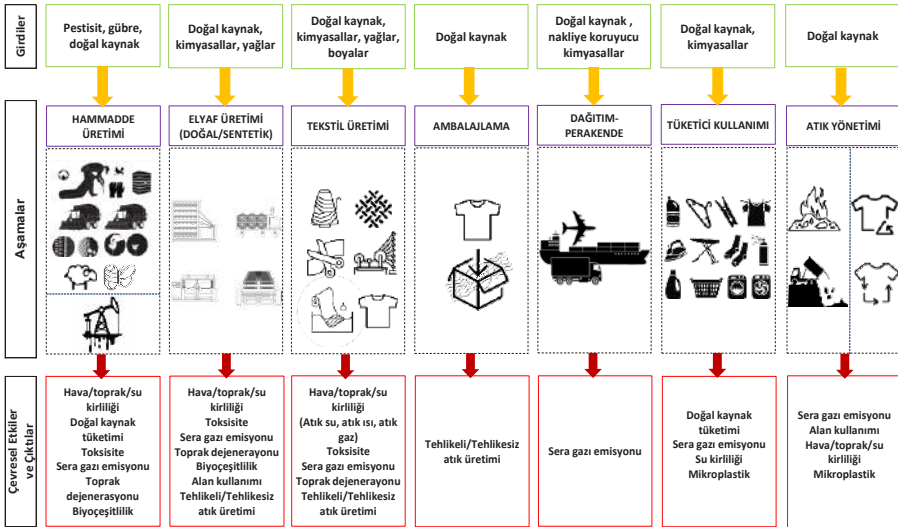
Stokholm Konferansı ile ilk kez yüksek sesle vurgulanan çevre, ülkelerin sürdürülebilir olarak kalkınması gereken bir dünya için küresel ve lokal anlamda yapacakları çalışmaların temellerini de atmıştır. Tekstilin de içinde bulunduğu tüm sektörlerde kullanılan kimyasalların zararlılıklarını ortadan kaldırmak veya kısıtlamak için 2007 yılında Avrupa Birliği tarafından kimyasalların tescillendirilmesi, değerlendirilmesi, ruhsatlandırılması ve kısıtlanması anlamına gelen REACH tüzüğü yayımlanmıştır. INDITEX grubu denetimleri ve kısıtlamaları ile tekstil sektörü, üretimin çevre ile olan dengesini korumayı

amaçlamaktadır. Günümüzde Paris İklim Anlaşması ile birlikte Birleşmiş Milletler, İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ndeki Moda Endüstrisi Şartı aracılığı ile iklim eylemini taahhüt etmek için 2018'de bir araya gelerek, 2015 yıl referans yılı olmak üzere 2030'a kadar sera gazı emisyonlarını yüzde 30 azaltmayı ve 2050'ye kadar net sıfır emisyonu taahhüt etmiştir (Sharp ve ark. 2022).

Bu bölümde tekstil üretiminin ve tüketiminin yaşam döngüsü boyunca, çevre üzerinde yarattığı etkilerinin detaylı bir şekilde incelenmesi amaçlanmıştır.

2. TEKSTİL ÜRETİMİ

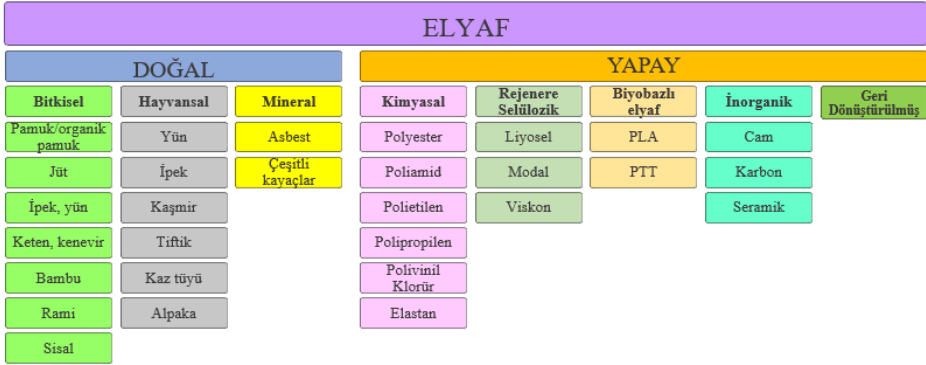
Tekstil, ham maddenin çıkarılışından tüketicinin kullanmayı düşünmediği bir yapı olana kadar olan süreci kapsayan geniş bir etki aralığına sahiptir (Şekil 1). Üretim aşamasının tekstil ürünlerinin genel iklim değişikliği etkisinin yaklaşık %80'ini, dağıtım ve perakendenin %3'ünü, kullanım aşamasının %14'ünü ve kullanım ömrünün sonu işlemlerinin de %3'ünü oluşturduğu tahmin edilmektedir (Sandin ve ark., 2019).



Şekil 1: Tekstil Sektörü Yaşam Döngüsü (Moazzem ve ark., 2021)

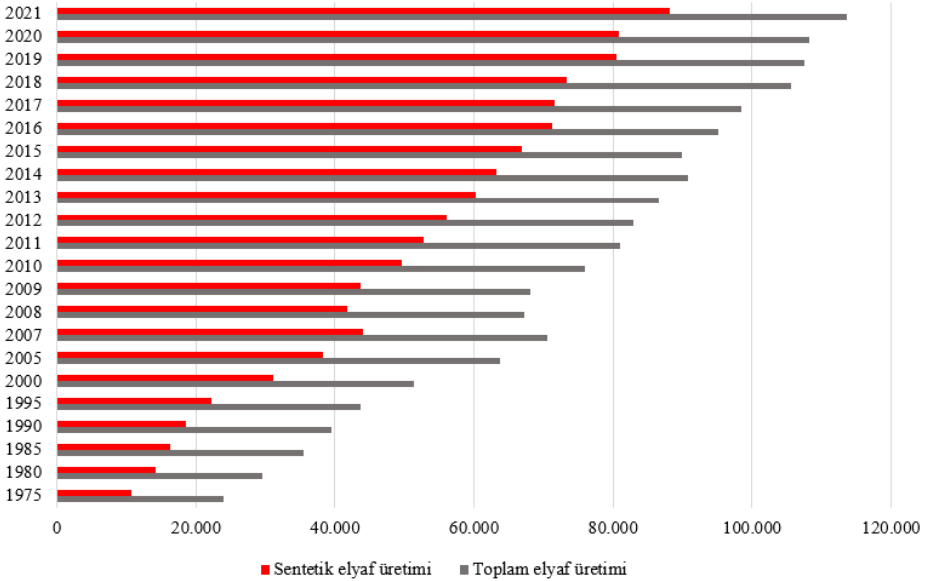
2.1 Ham Madde ve Elyaf Üretimi

Tekstil endüstrisinin en önemli girdilerinden biri elyafıdır. Elyaf, tekstil üretiminin görünen en küçük temel ham madde birimi olan, iplik ve kumaşa dönüştürülmek için uygun uzunluk, esneklik ve mukavemete sahip doğal ya da yapay yollarla üretilen iplikçikler olarak tanımlanabilmektedir (Britannica, 2008) (Şekil 2).



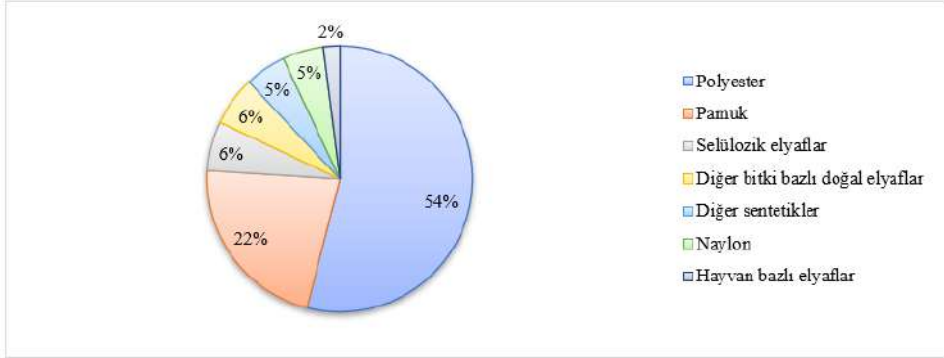
Şekil 2: Elyaf Çeşitleri (Munagishe 2021; Muthu, 2020)

1940'ta birkaç bin ton olan küresel sentetik elyaf tüketimi, 2018'de 60 milyon tonun üzerine çıkmıştır. 1990'ların sonlarından bu yana doğal olmayan elyaflar, tekstilde en yaygın kullanılan doğal elyaf türü olan pamuğu geride bırakmıştır (EEA, 2021). 2021 yılında pamuk veya yün gibi doğal elyafların üretim hacmi global olarak 25.4 milyon tona sahipken, 88.2 milyon ton sentetik elyaf üretilmiştir (Şekil 3). Sentetik elyafların küresel pazar değerinin 2021'de yaklaşık 62,7 milyar ABD doları olduğu tahmin edilmektedir ve 2028 yılında 2021'e göre yaklaşık yüzde 60 artışla 99,8 milyar ABD dolarına ulaşacağı tahmin edilmektedir (Synthetic Fibers Market, 2023).



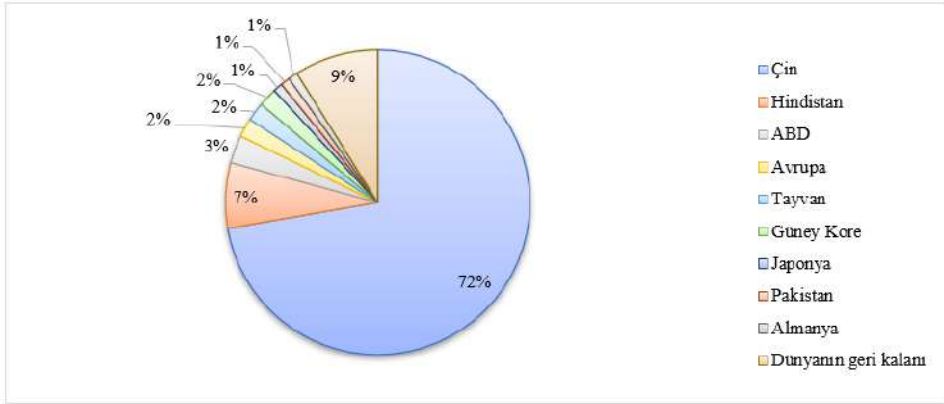
Şekil 2: Küresel Elyaf Üretimi (Industrievereinigung Chemiefaser eV, 2022)

Doğal elyaf üretiminin %80'ini pamuk oluştururken, toplam elyaf üretiminin %22'sini oluşturmaktadır (Şekil 4).

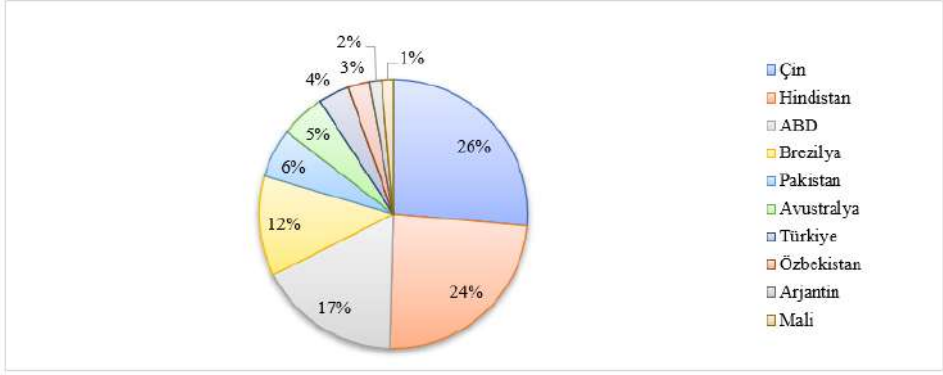


Şekil 3: Elyaf Üretim Türlerine Göre Dağılımı
(Townsend, 2020; STATISTA, 2023)

Sentetik elyaf üretiminde en büyük paydayı Çin oluştururken sırayı Hindistan, ABD, Avrupa ve diğer uzak doğu ülkeleri takip etmektedir (Şekil 5). Doğal elyaflardan en çok tercih edilen elyaf olan pamuk üretiminde de Çin ilk sırada bulunurken, Türkiye sekizinci sırada yer almaktadır (Şekil 6).

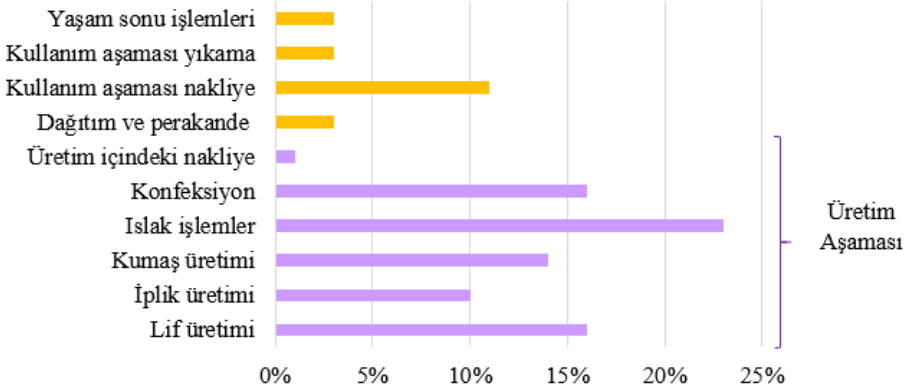


Şekil 4: Sentetik Elyaf Üretimini Domine Eden Ülkeler
(Industrievereinigung Chemiefaser eV, 2022)



Şekil 5: Pamuk Üretimini Domine Eden Ülkeler (Meyer ve ark., 2022)

Sentetik liflerin üretimi, büyük miktarda enerji, kimyasal, yenilenemeyen fosil ve doğal kaynak tüketimine dayandığından küresel iklim değişikliğine büyük ölçüde katkı sağlamaktadır (EEA, 2021; Munasinghe ve ark., 2021). Plastik bazlı elyaf üretmek için her yıl yaklaşık 342 milyon varil petrol kullanıldığı tahmin edilmektedir (Ellen MacArthur Vakfı, 2017). Elyaf üretiminin iklim değişikliğine katkısı %16'dır (Şekil 7).



Şekil 6: Tekstil yaşam döngüsü aşamalarının iklim değişikliğine etkisi (Sandin ve ark., 2019)

Beton ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya göre, 1 kg polyester kumaşın tüm yaşam döngüsü, 30 kg'dan fazla CO₂ eşdeğerinin atmosfere salımından sorumludur (Beton ve ark., 2014).

Başka bir araştırmaya göre, 1 kg boyalı dokuma kumaş imalatında sentetik elyaf naylon, iklim değişikliği ve fosil yakıt kullanımı için kilogram başına en yüksek etkiye sahipken; en yüksek etkiye arazi kullanımı, su kullanımı,

ötrofikasyon ve mineral kaynak kıtlığı yönünden pamuk elyafının sahip olduğu sonucuna varılmıştır (EEA, 2021).

Sentetik elyafların üretimi, çevreye etkisi yüksek bir dizi yan ürün oluşturan katalizörler, enzimler, kimyasallar ve çeşitli reaktifler kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Brigden ve ark., 2014; Stone ve ark., 2014).

Örneğin PET elyafı üretiminde, antimon trioksit yaygın olarak kullanılan, Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı tarafından ‘muhtemel kanserojen madde’ olarak tanımlanan bir katalizördür (IARC, 1989). Toksikite üzerine çok net kanıtlar bulunamamasına rağmen maruziyeti önerilmemekte, bazı kalp ve akciğer hastalıklarını tetikleyebildiği ve diğer maddeler ile birleştiğinde tehlike arz edebileceği bildirilmektedir.

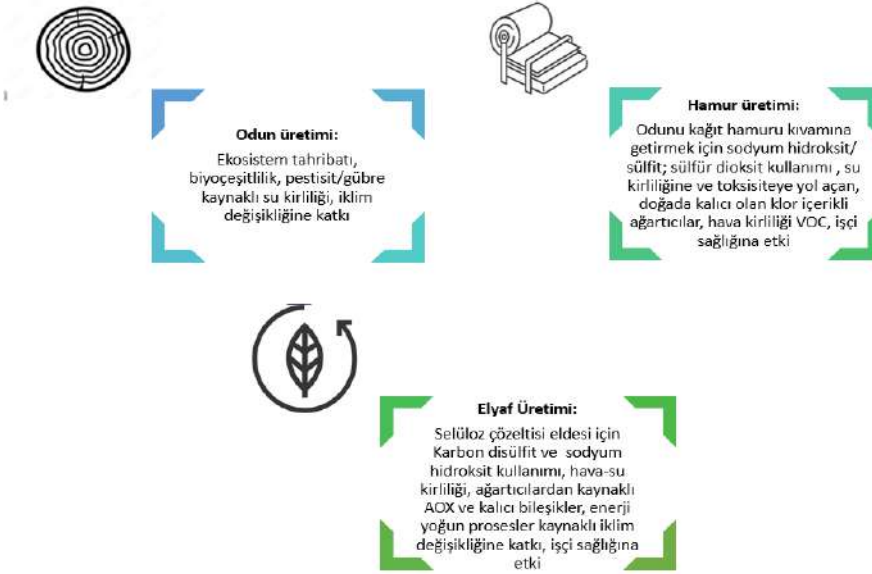
Sentetik elyaflardan olan naylon üretiminde de karbondioksitin 273 katı küresel ısınma potansiyeline sahip nitröz oksit emisyonu salınmaktadır (IPCC, 2023). Eftimova ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada nitröz oksidin baş ağrıları, baş dönmesi, mide bulantısı, kusma, öfori ve taşikardiye sebep olduğu sonucuna varılmıştır (Eftimova ve ark., 2017).

Pamuk üretiminin başlıca çevresel etkileri, yüksek miktarda gübre ve böcek ilacı kullanımından kaynaklanmaktadır (Beton ve ark., 2014). Pamuk, dünyadaki ekili alanların %2,5'ünü oluşturmakla birlikte dünyadaki pestisitlerin %6'sını ve böcek ilaçlarının %16'sını kullanmaktadır (EJF, 2017). Dünya çapında her bir hektar pamuk ekim alanı için yaklaşık 1 kg tehlikeli pestisit kullanılmaktadır (The World Counts, 2023). Pestisitler ekosistemleri, süreçte yer alan tüm abiyotik/ biyotik faktörleri kalıcı ya da akut şekilde etkilemektedir. Boedeker ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, çiftçilerin yaklaşık %44'ünün her yıl pestisitlerle zehirlendiği sonucuna ulaşılmıştır (Boedeker ve ark., 2020).

Bitkilerin büyümesini ve üretkenliğini teşvik etmek için topraklar azot, fosfor ve kalsiyum gibi besi elementleri içeren gübreler ile desteklenmektedir. Dünya çapında azot gübresi uygulamasının %4.3'lük payına pamuk üretimi sahiptir (Heffer ve ark., 2016). Gübrelerin içinde bulunan besi maddeleri yüzeysel akışlar veya yeraltı akışları ile alıcı ortamlara ulaşarak ortamı oksijenden yoksun bırakmakta, kirlilik oluşturmakta ve alg patlaması olarak bilinen ötrofikasyona yol açmaktadır.

Bitkisel bazlı elyafların hayata getirilme evrelerinde çok sayıda kimyasal türü kullanılmaktadır ve canlılar, iklim değişikliği, hava-toprak ve su kirliliği, çalışan sağlığı gibi etkileri mevcuttur. Örneğin selülozik bir yapıdan elde edilen viskon üretiminde, ağaçların işlenmesinden elyaf olana kadarki sürecin çevresel etkileri ve kaynakları Şekil 8'de gösterilmektedir. Viskon liflerini üretmek için kullanılan üretim solventi karbon disülfid, oldukça zehirlidir, kontrolsüz solvent

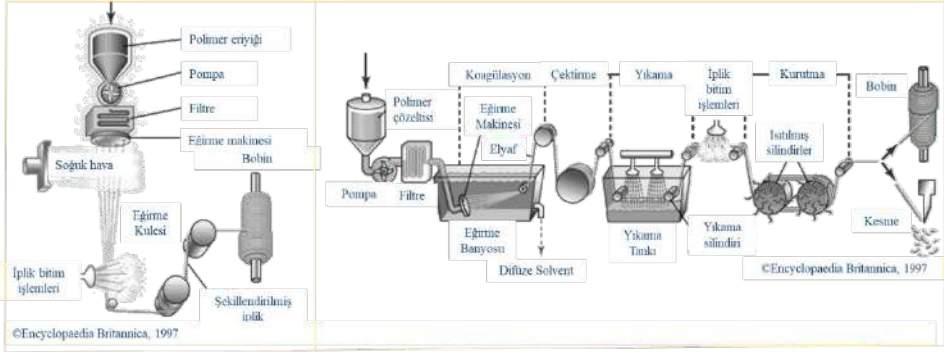
deşarjı sularda tehlikeli etkilere sahip olabilmektedir ve birden çok yüksek profilli kirlilik vakası bildirilmiştir (Ellen MacArthur Vakfı, 2017).



Şekil 7: Viskon Üretiminin Çevresel Etkileri
(Water Footprint Network, 2017)

2.2 İplik Üretimi

Doğal hali kesikli olan elyafların sürekli bir yapı olan iplik haline dönüştürüldüğü bükme işlemleri, eğirme olarak isimlendirilmektedir (Şekil 9) (Britannica, 1999). Eğirme prosesinde bobine sarılan iplikler, dönüştürülecekleri kumaş tipine göre dokuma, örme veya farklı birleştirme teknolojileri kullanılarak bir araya getirilmektedir (Das, 2014). Eğirme prosesi, elyafların üzerindeki toz, yağ, mum, mineraller gibi safsızlıklar içerdiğinden bir sonraki boyama ve baskı prosesi performansının verimli kılınması amacıyla ön yıkama işlemine tabi tutulmaktadır (Munasinghe ve ark., 2021; Kiron, 2021).



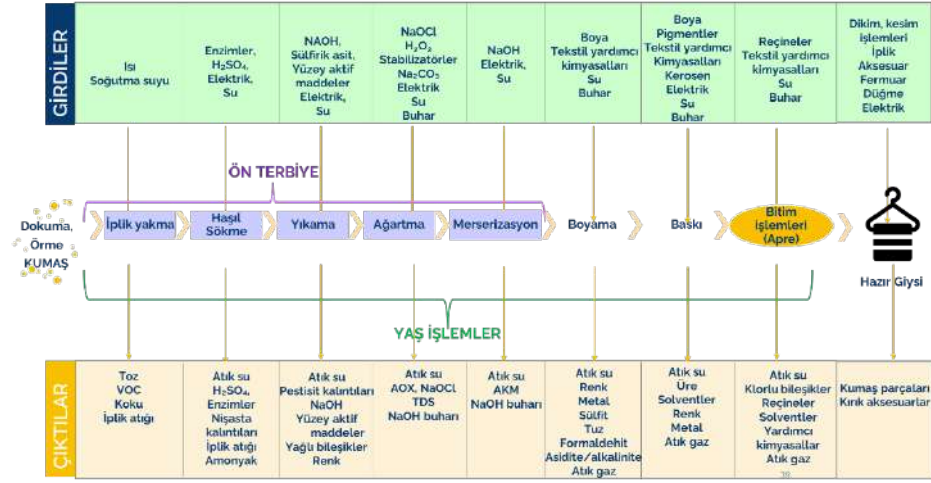
Şekil 8: İplik Eğirme Metotları (Britannica, 1999)

İplik üretimi sırasında elyaflara uygulanan koşul iyileştirme kimyasalları ve harman yağlarının, çevresel açıdan yük oluşturduğu bildirilmektedir. Bu maddeler, doğada kalıcılığı yüksek olan organik gaz emisyonlarına neden olurken, alkil fenol etoksilatlar ve biyositler gibi aktif maddelerin çevreye zararlı etkilerinden sorumlu olabilmektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2012).

La Rosa ve arkadaşlarının (2019) doğal elyafların yetiştirilme ve iplik üretiminin kümülatif enerji arzının karşılaştığı bir çalışmaya göre, enerjinin en fazla kullanıldığı üretim aşamasının iplik üretimi olduğu ve elyafı yetiştirme aşamasındaki enerji ile iplik üretme aşamasındaki enerji farkının en yüksek pamukta gözlemlendiği, jüt ve kenaf bitkisinin iplik üretim aşamasının daha az enerji talep ettiği sonucuna varılmıştır. Velden ve arkadaşlarının (2014) elyaf kalınlıklarının önemli olduğunun da belirtildiği, sentetik ve doğal elyaflarla üretilen kumaşlar üzerine yaptığı çalışmada, örme prosesinin dokuma prosesinden çevre açısından daha olumlu olduğuna varılmıştır.

2.3 Kumaş ve Giysi Üretimi

Kumaştan giysi üretimine kadar olan süreç, çevresel yükü fazla olan özellikle son aşaması olmak üzere emek yoğun prosesler bütünüdür. Üretilen giysinin türüne göre kimyasal, enerji ve doğal kaynak tüketimi değişebilmektedir (Munasinghe, 2021). Her üretim adımının girdileri ve çıktıları prosese özgüdür, günümüzde süreci doğru yönetmek için mevcut en iyi teknikler tercih edilmektedir. Kumaşlar, örme veya dokuma yoluyla ipliklerden üretildikten sonraki prosesler olan haşıl sökmeye, ağartmaya, mersevizasyona, boyamaya, baskı ve terbiye gibi prosesler içeren yaş işlemlerde çok fazla su, kimyasal ve enerji tüketilmektedir (Şekil 10).



Şekil 9: Tekstil ürünü üretim prosesleri (Moazzem ve ark., 2021)

2.3.1 Ön Terbiye İşlemleri

Yakma, düzgün ve işlenebilir bir yüzey elde etmek amacı ile liflerin ya da kumaşların çıkıntı yapan uçlarının ve tüylerinin ısı uygulanarak metal plakalardan geçirilmesi işlemidir (Britannica, 2023).

Dokuma sırasında ipliklerin zarar görmemesi ve mukavemetinin artırılması amacı çözümlü ipliklerini ile doğal ya da sentetik maddeler ile geçici olarak sağlamlaştırma işlemine haşılama denir (Bahadır, 2012). Haşıl sökme, dokuma sırasında ipliğin kopmasını önlemek için kaplanmış çözümlü ipliklerinden yapışkan maddenin seyreltik asit ya da kostik gibi kimyasallar ile ovalanmasının ardından su ile çıkarıldığı bir işlemdir (Battan ve ark., 2012; Owen, 1989). Doğal içerikli haşıl maddelerinin söküldüğü proseslerden gelen yıkama suları, nihai atık sularındaki toplam kimyasal oksijen ihtiyacının %70'ini oluşturabilmektedirler (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2012).

Yıkama, elyafın içeriğinden ya da diğer adımlardan kaynaklı inorganik, yağlı ve yapışkan maddelerin oluşturduğu safsızlıkların giderildiği aşamadır.

Ağartma, doğal liflerde bulunan doğal renklendirici maddelerin indirgeyici veya oksitleyici maddeler ile giderilmesi işlemidir (Ammayappan ve ark., 2016). Su ve enerji tasarrufu için yıkama ve ağartma işlemi birlikte tercih edilebilmektedir (Ammayappan ve ark., 2003). Elyaf, pastel renklere boyanacak ya da sonrasında bir baskı işlemi uygulanacak ise ağartmanın zorunlu bir adım olduğu bildirilmiştir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2012).

Merserizasyon işlemi özellikle selülozik ve pamuk liflerinin kopma mukavemetini, boyut stabilitesini, boyanabilirliğini ve parlaklığını artırmak

amacıyla yapılmaktadır (John ve ark., 2009; Kalaoğlu ve ark., 2015; Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2012).

2.3.2 Diğer İşlemler

Boyama, materyalin çeşitli aşamalarda azo, antrakinon, asidik veya bazik, dispers, reaktif ve direkt, metal kompleks boyalar ile renklendirildiği bir proses dizinidir (Huang ve ark., 1985).

Baskı, kumaş veya iplikler üzerinde belirli desenlerin oluşturulduğu, bir pigmentin tekstil malzemesinin içine geçmesine veya ona yapışmasına neden olmak için buhar veya kimyasallarla işlendiği süreci ifade etmektedir (Tortora ve ark., 1996; Badoo ve ark., 2015).

Bitim işlemleri(apreleme), talep edilen kullanıma bağlı olarak üretilen materyale görünüm efekti, yumuşaklık, su geçirmezlik, zararlılara karşı koruma, su/yağ/kir iticilik, koku, kolay dikim, buruşmazlık ve güç tutuşurluk gibi özelliklerin kazandırılması amacı ile gerçekleştirilen mekanik ya da kimyasal işlemlerdir (MEB, 2018; Paul, 2015).

2.3.3 Enerji

Tekstil imalatı, enerji yoğun bir sektör olması ve enerjinin büyük bir kısmını yenilenebilir olmayan kaynaklardan elde etmesi nedeni ile sera gazı emisyonlarına en çok katkı sağlayan sektörlerdendir. Yüksek enerji talebi, suyu ısıtmak için buhar oluşturmak ve aynı zamanda kumaşları kurutmak için kullanıldığı yaş işleme aşamalarından gelmektedir (Sharpe ve ark., 2022).

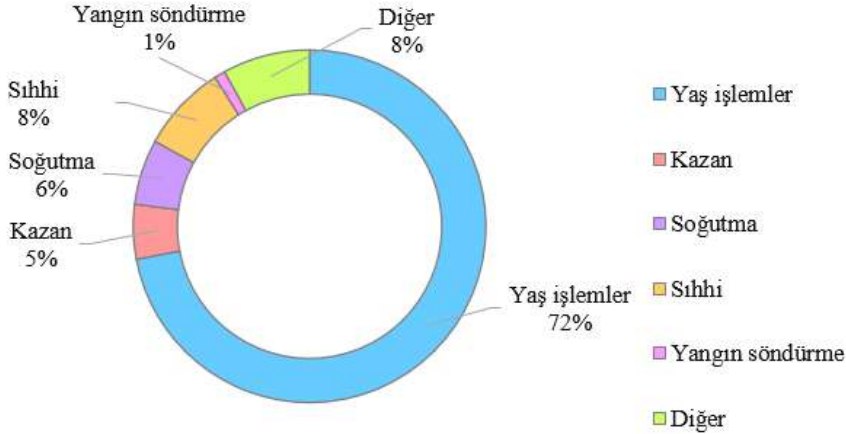
Bir kompozit tekstil fabrikasında yapılan çalışmaya göre, üreticilerin ürünün toplam maliyetinin %5-17'sini enerjiye harcadığı, ısı enerjisi tüketiminin bir tekstil fabrikasının toplam enerji tüketiminin %80'ini oluşturduğu ve ısı enerjisinin yaklaşık %50'sinin yaş işlemede kullanıldığı sonucuna varılmıştır (Jayant ve ark., , 2005; Panda ve ark., 2021).

Türkiye'de tekstil, %16,3 etki oranına sahipken, imalat sanayi sektörleri içerisinde ana metal sanayinden sonra en çok elektrik tüketen sektördür. Tekstil terbiyesinde 1 kg ürün üretebilmek için 1,5 kWh elektrik ve 1,10 cm³ doğal gaz tüketildiği bildirilmektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2018).

Türkiye'nin enerji talebinin %60'ını ham petrol ve doğalgaz, %25'ini kömür oluşturmakta ve bu arzların %50'si ithal edilerek karşılanmaktadır (WEC, 2001; Öztürk 2005). Bu oran, Türkiye'nin ihracat gelirinin %40-60 enerji ithalatı için harcadığı anlamına gelmektedir (Öztürk, 2005).

2.3.4 Su

Dünyadaki imalat sanayileri için su arzının 2050 yılına kadar %400 oranında artması beklenmektedir (Willet ve ark., 2019). Tekstil sektörünün majör bir tatlı su kaynağı tüketicisi olduğu bilinmektedir ve 5 milyar m³'ün üzerinde tatlı su kaynağı tüketen tekstil endüstrilerinde her yıl yaklaşık 28 milyon ton tekstilin boya işlemi gördüğü tahmin edilmektedir (Hossain, 2017; Haque ve ark., 2021). Tipik bir tekstil boyahane ve terbiye tesisinde, üretilen her ton ürün başına 100 litre su tüketildiği bildirilmektedir (Lin, 1997). Tekstil tesislerinde en çok su tüketiminin görüldüğü birimin yaş prosesli üretim bölümü olduğu, yaş işlemede su tüketiminin yaklaşık %70'inin de ara kademe yıkamalarda gerçekleştiği bilinmektedir (Şekil 11).



Şekil 10: Bölümlere göre su tüketimi (Panda ve ark., 2021)

Sharpe ve arkadaşlarının (2022) tekstil sektörü tedarik zincirinde karbon emisyonlarının nasıl ve nerede biriktiğine dair yaptığı bir çalışmada, emisyonların tüm değer zinciri boyunca meydana geldiği, ancak en önemli birikimin çevresel etkilerden olan su tüketimi ve kimyasal kullanımının yoğun olduğu iplik ve kumaş üretim aşamasında gerçekleştiği sonucuna varılmıştır.

Pamuklu ürünlerin tüketiminin, küresel su ayak izinin %2,6'sını oluşturduğu ve pamuklu bir ürün için pamuk yetiştirme aşamasının, toplam su ayak izindeki en büyük paya sahip olduğu bildirilmektedir (Chapagain ve ark., 2006; Niinimäki ve ark., 2020). Örneğin, pamuğun en çok üretildiği Hindistan, Pakistan, Çin ve Türkiye gibi ülkeler yüksek derecede su stresi altındadır ve aşırı yer altı ve yer üstü su

çekimleri tabla çökmelerine ya da yüzeysel su çekilmelerine neden olabilmektedir (Ellen MacArthur Vakfı, 2017; Chapagain ve ark., 2006).

Tekstil sektöründe bir ton ürün başına genellikle 200-350 m³ atık su açığa çıktığı, ortalama kirliliği ise 100 kg KOİ/ton olarak belirtilmiştir (Verma ve ark., 2012; Jekel, 1997; Rangattan ve ark., 2007; Gozávez-Zafrilla ve ark., 2008). Atık sular doğru yönetilmediği ve alıcı ortamlara direkt deşarj edildiklerinde ekosistemlerde geri dönüşü olmayan tahribatlar yaratmaktadır. Atık suların içerdiği maddelerin kalıcılığı, toksisitesi gibi özelliklerinin de etkisi ile bu maddeler hava, su ve topraktan besin zincirine dahil olarak yaşamlar için risk teşkil etmektedir.

Tekstil atık suyu için tipik bir karakteristik belirlemek ve arıtımını sağlamak, girdilerin çeşitliliğinden ve karmaşıklığından dolayı zordur. Ancak bu atık sular pH, KOİ, BOİ, AKM, TSS, TDS, yağ-gres, ağır metaller, renk ve bulanıklık gibi parametrelere göre sınıflandırılıp karşılaştırılabilmektedir (Verma ve ark. 2012). Arıtma işlemi görmemiş tekstil atık suyunun tipik karakterizasyonu Tablo 1 'deki gibidir.

Tablo 1: Arıtılmamış tekstil atık suyunun tipik karakterizasyon örneği (Mostafa, 2015)

Parametre	Aralık
pH	6-10
Sıcaklık (°C)	35-45
BOİ(mg/L)	80-6,000
KOİ (mg/L)	150-12,000
AKM (mg/L)	15-8,000
TDS (mg/L)	2,900-3,100
Klor (mg/L)	1,000-6,000
Serbest Klor(mg/L)	<10
Sodyum (mg/L)	70%
Fe	<10
Zn	<10
Cu	<10
As	<10
Ni	<10
B	<10
F	<10
Mn	<10
V	<10
Hg	<10
PO ₄	<10
Cn	<10

Yağ ve gres (mg/L)	10-30
TNK (mg/L)	10-30
NO3-N(mg/L)	<15
Serbest Amonyak (mg/L)	<10
SO ₄ (mg/L)	600-1000
SiO ₂ (mg/L)	<15
Toplam Kjeldahl Azotu (mg/L)	70-80
Renk (Pt-Co)	50-2,500

Türk Çevre Mevzuatı'nda yer alan Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde tekstilin proseslere göre deşarj limitleri ve parametreleri Tablo 2 ve Tablo 3'teki gibi belirlenmiştir.

Tablo 2: Tekstil Sanayii, Elyaf, İplik Üretimi ve Terbiyesi (SKKY, 2023)

Parametre	Birim	Kompozit Numune 2 saatlik
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	(mg/L)	250
Amonyum Azotu (Nh ₄ -N)	(mg/L)	5
Serbest Klor	(mg/L)	0.3
Toplam Krom	(mg/L)	2
Sülfür (S ⁻²)	(mg/L)	0.1
Sülfıt	(mg/L)	1
Yağ ve Gres	(mg/L)	10
Balık Biyodeneyi (ZSF)	-	4
pH	-	6-9
Renk	(Pt-Co)	280

Tablo 3: Tekstil Sanayii (Dokunmuş Kumaş Terbiyesi vb. (SKKY, 2023)

PARAMETRE	BİRİM	Kompozit Numune 2 saatlik
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	(mg/L)	300
Askıda Katı Madde (AKM)	(mg/L)	140
Amonyum Azotu (Nh ₄ -N)	(mg/L)	5
Serbest Klor	(mg/L)	0.3
Toplam Krom	(mg/L)	2
Sülfür (S ⁻²)	(mg/L)	0.1
Sülfıt	(mg/L)	1
Fenol	(mg/L)	1
Balık Biyodeneyi (ZSF)	-	4
pH	-	6-9
Renk	(Pt-Co)	280

2.3.5 Hava

Tekstil endüstrisinde hava kirletici emisyonlar, yanma ve proses kaynaklı, havalandırma kanallarından ya da su kanallarından, ürün yüzeyinden kaynaklı kaçak emisyonlar olarak kategorize edilebilmektedir (Müezzinoğlu, 1998).

Yanma kaynaklarından kaynaklanan hava kirleticileri, proses sularını ısıtma ve baskı aşamasında yüksek basınçlı buhar ihtiyacını karşılayan kazan dairelerinden gelmektedir (Müezzinoğlu, 1998). Bu bölümlere beslenen yakıtın cinsine bağlı olarak çeşitli konsantrasyonlarda SO₂, NO_x, CO, PM ve çeşitli emisyonlar çıkmaktadır. Proses kaynaklı ise emisyonlar üretim aşamalarına bağlı olarak genellikle partikül madde ve uçucu organik bileşiklerden oluşmaktadır (Tablo 4).

Tablo 4: Tekstilde Tipik Hava Kirleticiler (Müezzinoğlu, 1998; Moustafa, 2008)

Proses	Kirleticiler
Enerji Üretimi	Partiküller, NO _x , SO ₂
İplik eğirme, örme/dokuma	TOZ: elyaf kalıntıları, doğal elyaf ise toprak ve tarım ilaçları, depolama için katkı maddeleri
Haşılama	NO _x , SO _x , CO
Ağartma	Cl, ClO ₂
Boyama	Carrier, H ₂ S, anilin buharları
Baskı	HC, amonyak
Bitim İşlemleri	VOC, solventler, serbest klor, yüzey aktif maddeler, pigmentler, haşıl tozları, yardımcı kimyasal buharı, kondensatlar, yağlar
Giysi Üretimi	TOZ: Tiftik, kesim işlemi kalıntıları
Kimyasal Depolama	VOC
Atık Su Arıtma	VOC, toksik emisyonlar

2.3.6 Koku

Proses sırasında ortaya çıkan kötü kokuların asıl kaynağının bacadan atılan sentetik yağlar ve tozlar olduğu bildirilmektedir (Elitaş, 2018).

Yakma ve ısıyla sabitleme sırasında toz ve organik bileşiklerden kaynaklanan kuvvetli koku ve emisyonlar gözlemlenmektedir. Elyaf temizleme işlemindeki ön yıkama ile kaçak emisyonlar önemli bir koku kaynağı olabilmektedir (IPPC, 2002).

Ram bacalarından çıkan yağ buharı kaynaklı koku problemi için, tüm ön fikse ve fikse yapan firmaların ramöz bacalarına 1 Ocak 2018 tarihine kadar arıtma ünitesi yaptırma zorunluluğu İl Mahalli Çevre Kurulu kararı ile belirlenmiştir (Cindoruk, t.y.). 102 numaralı İMÇK kararı VOC ve TOK azaltımı için %80

verimle çalışacak filtre kurulumlarının sadece apre prosesinin (buruşmazlık, yumuşatma, güç tutuculuk, su iticilik, kir iticilik vb. kimyasal bitim işlemleri ile kurutma ve termofiksaj vb.) gerçekleştiği ram makineleri için 08.07.2022 tarihine kadar kurulmasına karar verilmiştir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2021).

2.3.7 Gürültü

Gürültü, istenmeyen, rahatsız edici, sağlığa zararlı olabilen, işin işleyişine engel ve belirlenmiş limit değerleri aşma durumunda kişisel koruyucu ekipmanların kullanılmasının gerektiği sesler olarak tanımlanmaktadır (Seçkiner, 2004). Her yıl, ABD’li 22 milyon işçinin iş yerinde sağlığa zarar verici gürültüye ve 30 milyon işçinin de işitmeye zararlı kimyasallara maruz kaldığı tahmin edilmektedir (NIOSH, 2023).

Duran ve arkadaşlarının (2020) bir tekstil tesisinde yaptığı çalışmada, dokuma bölümünde gürültü seviyelerinin 99,2-101,1 dB(A) arasında değiştiği, boyama/terbiye bölümünde 77,1-79,3 dB(A) arasında değiştiği sonucuna varılmıştır. Dokuma bölümündeki çalışanlar en yüksek maruziyet eylem değeri 85 dB(A) aştığı için kulakları koruyucu ekipmanı kullanmak zorundadır (Özmen, 2014).

2.3.8 Kimyasal

Tekstilde kullanılan kimyasallar, sayılarının fazlalığı, yapılarının karmaşıklığı, doğada kalıcılıkları ve tespit edilemeyen, bildirilmeyen içeriklerden dolayı çevre kirliliği ve insan sağlığı için negatif bir potansiyel oluşturmaktadır. Tekstil sektörü için kimyasalların, hemen hemen her adımda oldukça önemli bir rol oynadığı, genel olarak en yoğun tüketimin haşılama, yıkama, ağartma, haşıl sökme, boyama, yumuşatma gibi yaş işlemlerde gerçekleştiği bilinmektedir. Yaş proseslerde yaklaşık olarak 2.000 farklı kimyasal maddenin kullanıldığı bildirilmektedir (Gardetti ve ark., 2015). Tekstil ürünlerine toplam 10.000’den fazla kimyasalın uygulandığı ve her 1 kg kumaş için 0,58 kg farklı kimyasalların kullanıldığı tahmin edilmektedir (Hauschild ve ark., 2011; Bluesign, 2011). Proses adımlarına göre kullanılan kimyasal tipleri değişmektedir ve bu kimyasallar özellikle suda sonlandıkları için suya BOİ, KOİ, ağır metal, yağ-gres, AKM, renk ve pH gibi yükler getirmektedir (Tablo 5).

Bu kimyasallar genel olarak aşağıdaki gibi kategorize edilebilmektedir (IPPC, 2012):

- Boyalar ve pigmentler,
- Yüzey aktif maddeler,
- İndirgen ve yükseltgen maddeler,

- Organik ve inorganik kimyasallar,
- Alifatik temel kimyasallar,
- Tekstil yardımcı kimyasalları.

Tekstil üreticileri ve tüketicilerinin beklentilerinin karşılanması amacı ile Sanayi Devrimi'nden bu yana birçok kimyasal türetilmiştir. Tüm tekstil kimyasalları içinde en büyük payı %40 oranı ile bitim işlemlerinde kullanılan kimyasallar oluşturmakla birlikte apre kimyasallarını boya/ baskı yardımcı maddeleri ve ön terbiye kimyasalları takip etmektedir (Schindler ve ark., 2004).

Tablo 5: Tekstilde Proses Adımlarına Göre Kullanılan Kimyasallar (İlter,

Proses Adımı	Kullanılan Kimyasallar
İplik hazırlama	Nişasta(haşıl), parafin, antistatik maddeler, harman yağları, karboksimetil selüloz, polivinil alkol
Haşıl sökme	Sülfürik asit veya hidroklorik asit, sodyum hidroksit, enzimler, sodyum hipoklorit/klorit, Sodyum Bromür, Sodyum persülfat veya hidrojen peroksit
Ağartma	Hidrojen peroksit, sodyum hipoklorit/klorit, yüzey aktif maddeler
Merserizasyon	Sodyum hidroksit, pamuk parafini
Boyama	Amonyak, yükseltgen/indirgen maddeler, asetik asit, yüzey aktif maddeler, ıslatıcılar, stabilizatörler, emülgatörler, egalizatörler, katalizörler, pigmentler, boyalar
Baskı	Baskı patı, nişasta, amonyak, yapıştırıcılar, bağlayıcılar, asitler, alkaliler, kalınlaştırıcılar, indirgen maddeler
Apre yardımcı kimyasalları	Buruşmazlık maddeleri (sentetik reçineler), güç tutuşurluk maddeleri, dolgu maddeleri, yumuşatıcılar, su ve yağ itici maddeler, optik beyazlatıcılar, küflenmezlik ve hijyen maddeleri, kaplama maddeleri, kaymazlık maddeleri, silikonlar, emülsiyonlar
Nakliye/depolama	Biyositler

2015; Bhar 2016; Roos, 2015)

2.3.9 Nakliye

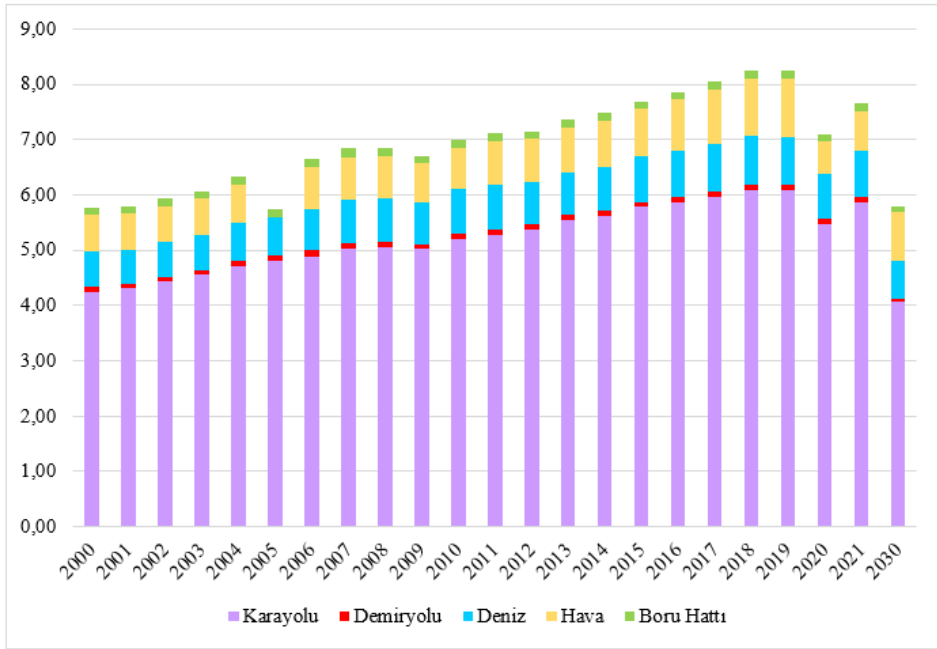
Nakliye, tekstil üretiminin ara kademeleri de dahil olmak üzere ham maddelerin çıkarılışından müşterilere ulaşıncaya kadar her aşamasında yer almaktadır. Taşıma tipi tercihi sera gazlarına direkt etki etmektedir.

Taşımacılık sektörü, küresel sera gazı emisyonunun %23'ünü oluşturmaktadır (Regmi ve ark., 2010). Türkiye'de taşımanın, toplam emisyonun %16'sını oluşturduğu, ulaşım kaynaklı sera gazı emisyonlarının %93'ünün karayolu

ulaşımından, %4,3'ünün hava ulaşımından, %1,5'inin deniz taşımacılığında, %0,4'ünün demiryolu ulaşımından ve %0,7'sinin diğer ulaşım türlerinden kaynaklandığı bildirilmiştir (TÜİK, 2022). Küresel bazda en çok tercih edilen taşıma şekli ve sera gazı emisyonlarına katkısı en yüksek olan taşımacılık karayoludur (Şekil 12). Deniz yolu tercihi en az emisyon salımına neden olurken hava taşımacılığı en fazla salımın gerçekleştiği taşıma tipidir (Tablo 6).

Tablo 6: Nakliye tipleri ve karbon emisyonu salımları (McKinnon ve ark., 2010)

Nakliye Tipi	gCO ₂ /ton-km
Karayolu	62
Demiryolu	22
Deniz (Açık deniz)	8
Hava	602



Şekil 11: Ulaşım kaynaklı küresel CO₂ emisyonları, 2000-2030 (IEA, 2022)

3. KULLANIM AŞAMASI

Tekstil ürünlerinin insan sağlığına ve çevreye etkileri tüketiciye ulaştıktan sonra da devam etmektedir. Bu etkiler genellikle alınan ürünün temizliği, ütülenmesi ve giyilmesi sırasında ortaya çıkmaktadır. Tüketicilerin gündelik olarak yakın temas halinde olduğu ürün üzerindeki kimyasal kalıntılar, küf oluşumunu engelleyici biyositler, boyalar, su/kir iticiler, bakteri öldürücüler, alev geciktiriciler, çeşitli yüzey aktif maddeler ve yağlar gibi maddelerden kaynaklanmaktadır.

Baskı ve plastik ürünlerde bulunan ftalatlar, üreme sistemine zarar verebilmekte, deri ürünlerde kullanılan Krom VI, formaldehit, lateks ve metal parçalarda bulunan Nikel içerikleri alerjik reaksiyonları tetikleyebilmektedir (ECHA, t.y.). Su ve kir iticilerde kullanılan perflorokarbonlar ve deterjan gibi yüzey aktif maddelerde bulunan nonilfenol etoksilatlar, insan vücudundaki olumsuz etkilerinin yanında doğada kalıcıdır ve su yolu ile besin zincirinde dahil akümüle olmaktadır (KEMI,2014). 1 kilogram ürün başına ortalama 8 miligram NPE çıktığı ve bu kimyasalın %99,9'unun ilk iki yıkamada ortaya çıktığı belirlenmiştir (EAUK, 2013). Avrupa Birliği'nde, tekstilde kullanılan bazı azo boyar maddeler, krom VI, dimetilfumarat ve bazı ftalatlar gibi kimyasalların kullanımını kısıtlanmış ya da tamamen yasaklanmıştır (ECHA, t.y.). Ancak kimyasalların kısıtlanmadığı ülkelerden alınan ürünlerde kısıtlı ya da yasaklı kimyasalların bulunma olasılığı yüksektir (EPA, 2010).

Çamaşır makinelerinde yıkanan giysiler için üretim prosesine ek olarak her yıl 20 milyar m³ su talebi olduğu tahmin edilmektedir (FF, 2021). Yaşam döngüsünün her aşamasında rastlandığı gibi yıkama işlemi sırasında da elyaf parçacıkları olan mikroplastikler açığa çıkmaktadır. Tekstil sektöründen her yıl ortalama yarım milyon ton mikroplastik lifin deniz ortamına girdiği tahmin edilmektedir (Ellen MacArthur Vakfı, 2017). Polyester kumaşlardan oluşan 5 kg'lık bir yıkama sonucu kullanılan kimyasallara bağlı olarak 6.000.000'den fazla mikro elyafın açığa çıktığı bildirilmektedir (De Falco, 2018). Çoğu elyaf parçacığının çamaşır kurutucu süzgecinden kaçtığını ve kurutucunun havalandırma noktasından ortama salındığı tespit edilmiştir (Kapp ve ark., 2020). Mikroplastikler arıtma sistemlerinde tam olarak tutulamamakla birlikte, arıtma çamurlarında kalmakta ve içerdikleri kimyasallar ile birlikte canlıların yapılarında birikerek besin ağına katılmaktadır.

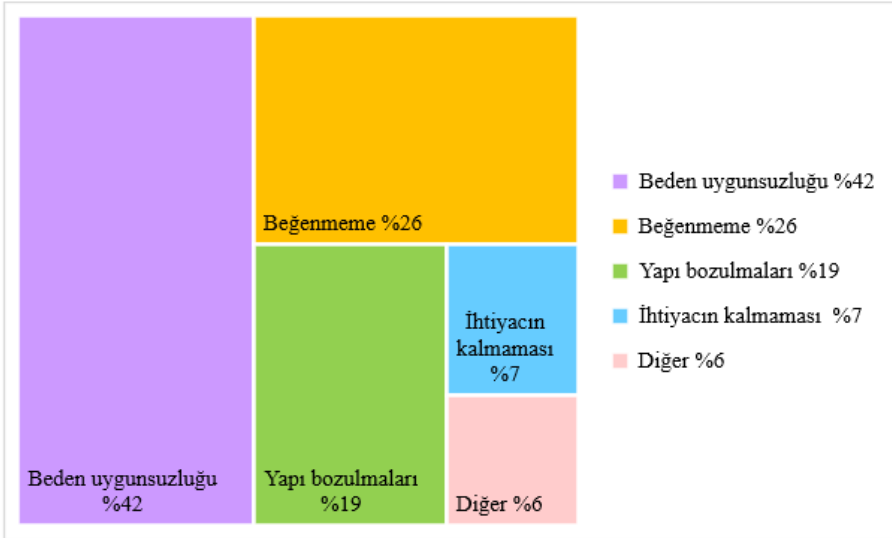
4. TEKSTİL ATIKLARI

Hızlı moda, düşük maliyetler, kısa ömürlü giysi üretimi ve ürünlere kolay ulaşılabilirlik ile satın alma sürekliliğini hedeflemiştir (Niinimaki ve ark., 2020). Hızlı tüketim alışkanlıkları, uzun ömürlü ürünler üretilmediği ve ‘kullan at’ prensibi çalıştığından atık üretim hacmi de artmıştır. Tekstil endüstrisi toplam küresel atığın %5'ini oluşturmaktadır (Sillanpää ve ark., 2019). Tekstil atıkları diğer atık türleri ile kıyaslandığında küçük bir paydayı oluşturmaktadır ancak yaşam döngüsünün birden çok aşaması olduğundan çevresel etkisi büyüktür. Bu aşamalar üretim öncesini, üretim sırasını ve tüketici kullanımından sonraki aşamayı kapsamaktadır (Niinimaki ve ark., 2020).

Norveç'te yapılan bir çalışmaya göre, tüketicilerin giysileri atma fikrinin %40'ı, giysilerdeki fiziksel değişikliklerle bağlıdır. Bunlar bir delik ya da yırtık, boncuklanma, tüylenme, esneklik ya da şekil kaybı, lekeler, renk değiştirme ya da solma gibi nedenlerdir (Laitala ve diğerleri, 2015).

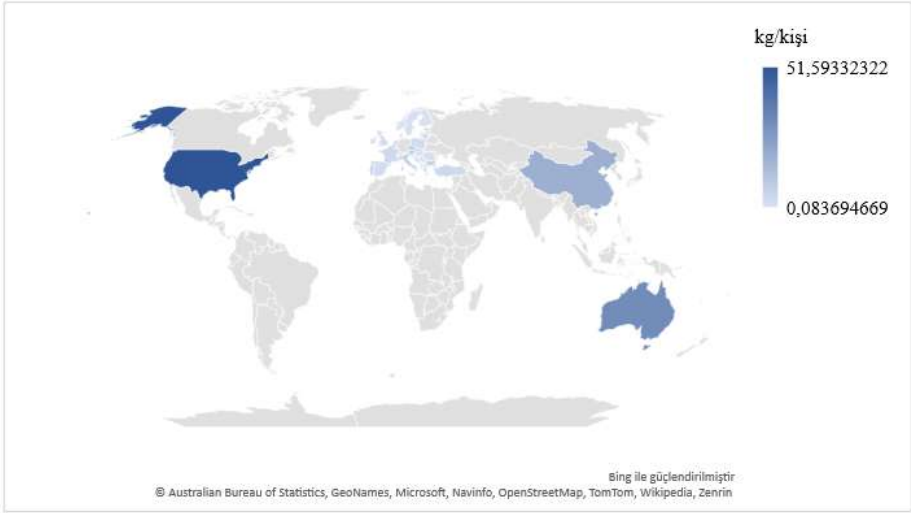
Diğer bir araştırmada, İsveçlilerin onundan altısının kıyafetlerinden kurtulmasının en yaygın nedeni olarak giysilerin yıpranmış olmaları gösterilmiştir (Ungerth ve ark.,2011).

WRAP (2016) Sürdürülebilir Giyim Aksiyon Planı için düzenlenen tekstil takip anketine göre, İngiltere'deki tüketiciler en çok bedenlerinin artık uymaması nedeni ile giysilerini atma kararı almıştır. Yaygın nedenleri giysiyi artık beğenmeme, yapı bozulmaları, ihtiyacın kalmaması gibi faktörler takip etmektedir (Şekil 13).



Şekil 12: İngiltere'de giysilerin atılma, başışlanma ve satılma nedenleri (WRAP, 2016)

Avrupa Komisyonu'na göre, Avrupalı tüketiciler her yıl yaklaşık 5,8 milyon ton tekstil ürününü atmakta ve sadece %26'sı geri dönüştürmektedir (Beasley ve ark., 2014). Şekil 14 ve Şekil 15'te gösterildiği üzere 2020 yılı verileri baz alınarak yapılan hesaplamada Avrupa'da kişi başına en çok atık üreten Belçika'da 15,587 kg, Karadağ'da 0,083, Çin'de 18,426 kg, Amerika'da 51,6 kg, Avustralya'da 31,176 kg, Türkiye'de 3,291 kg tekstil atığı üretilmiştir (Eurostat, 2023a; Eurostat 2023b).

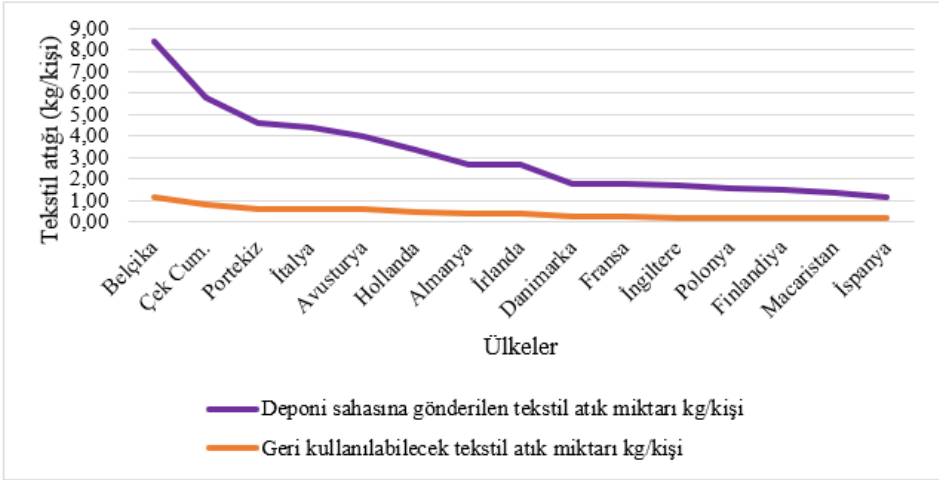


Şekil 13: Ülkelerin kişi başı ürettiği yıllık tekstil atık miktarı (Eurostat, 2023a; Eurostat 2023b)



Şekil 14: Avrupa'nın kişi başı ürettiği yıllık tekstil atık miktarı (Eurostat, 2023a; Eurostat 2023b)

Şekil 16’da gösterildiği üzere Belçika’da 2016 yılında 8,4 kg/kişi tekstil atığı deponi sahasına giderken yeniden kullanılabilir nitelikte olan tekstil atığı miktarı 1,2 kg/kişi’ dir (STATISTA,2022). Çin’de depolama sahasına giden atık miktarı 14,50; Amerika’da 29,30 kg/kişidir (Bukhari ve ark., 2018).



Şekil 15: 2016 yılı Geri Kullanılabilir Nitelikte Olan Tekstil Atıkları ve Depolama Sahalarına Gönderilen Tekstil Atık Miktarı kg/kişi (STATISTA, 2022)

Avrupa’da kullanılmış giysilerin yarısından azını ayrı toplanmakta, bir kısmı ikinci el pazarında satılmakta ve yalnızca %1’i geri dönüştürülerek yeni giysilere dönüşmektedir, geriye kalanlar tekrardan kullanılmak veya işlenmek üzere az gelişmiş ülkelere ihraç edilmektedir (Nikolina, 2019). Gelişmiş ülkeler tekstil atıklarını, az gelişmiş ya da gelişmekte olan ülkelere ihraç etmektedir. Bir EEA brifingine göre, 2019 yılında kullanılmış tekstillerin %46’ sı Afrika’da yaşamını tamamlarken, %41’i Asya’da, %11’i üye olmayan AB ülkelerinde tamamlamıştır (Köhler ve ark., 2021). İhraç edilen tekstillerin alıcı ülkelerdeki kaderi, sınırlı bilgiye ve objektif kanıtlara sahip olduğundan ve belli bir noktaya kadar takip edilebilir olması nedeni ile oldukça belirsizdir (EEA, 2023).

Tekstil atıkları, tüketici öncesi üretilen proses atıkları, tüketici sonrası üretilen atıklar olarak sınıflandırılabilir. Tüketici öncesi üretilen genel atık türleri Tablo 7 ‘de gösterilmiştir.

Tablo 7: Tüketici öncesi üretilen genel atık türleri ve kodları (Eurostat, 2010; Ghaly ve ark., 2014; Pagga ve ark.,1986)

Atıklar	Atık Kodları
Doğal ürünlerden elde edilen organik madde (örneğin gres yağı, mum)	04 02 10
Kompozit malzemelerden kaynaklanan atıklar (emprenye edilmiş tekstil, elastomer, plastomer)	04 02 09
04 02 14 dışındaki perdah işlemlerinden kaynaklanan atıklar	04 02 15
04 02 16 dışındaki boyarmaddeler ve pigmentler	04 02 17
04 02 19 dışındaki tesis içi atık su arıtımından kaynaklanan çamurlar	04 02 20
İşlenmemiş tekstil liflerinden kaynaklanan atıklar	04 02 21
İşlenmiş tekstil liflerinden kaynaklanan atıklar	04 02 22
Başka türlü belirtilmeyen atıklar (fularlama flotte atıkları, şardonlama atıkları)	04 02 99
Başka bir şekilde tanımlanmamış atıklar (Baskı patları)	08 03 99
Kağıt ve karton ambalaj atıkları	15 01 01
Plastik ambalaj atıkları	15 01 02
Tekstil ambalaj atıkları	15 01 09
Organik çözücüler içeren terbiyeden kaynaklanan atıklar	04 02 14*
Tehlikeli maddeler içeren boyarmaddeler ve pigmentler	04 02 16*
Tehlikeli maddeler içeren tesis içi atık su arıtımından kaynaklanan çamurlar	04 02 19*
Tehlikeli maddelerle kirlenmiş emiciler, filtre malzemeleri, yağ filtreleri, temizleme bezleri, koruyucu giysiler	15 02 02*
Tehlikeli maddelerin kalıntılarını içeren ya da tehlikeli maddelerle kontamine olmuş ambalajlar	15 01 10*
Gaz arıtımından kaynaklanan sulu sıvı atıklar ile diğer sulu sıvı atıkları	19 01 06*
Sentetik motor, şanzıman ve yağlama yağları	13 02 06*
Yağ filtreleri	16 01 07*

Atıkların enerji geri kazanımı amacı ile yakılması, tekstil atık yönetimlerinden biridir. Örneğin, Burberry, H&M, Cartier gibi büyük giyim firmaları güvenlik ya da enerji geri kazanımı gibi amaçlara dayandırarak satılmayan ürünlerini yakma kararı almıştır (Lieber, 2018). Ancak giysilerin yakılmasıyla elde edilen enerjinin, giysileri üretmek için gereken enerjiyi dengelemek için genellikle beklentiyi karşılamadığı gibi havaya salınan sayısız kimyasal gazın küresel iklim değişikliğine katkı sağladığı ve canlı sağlığına olumsuz etki yarattığı bildirilmektedir (Lieber, 2018).

5. SONUÇ

Tekstil endüstrisi üretim ve tüketim kapasitesi en yüksek olan sektörlerden biridir. Tarihi, asırlara dayanan bu sektör günümüzde enerji, kimyasal, doğal kaynak, emisyon ve atık yoğun prosesler zinciridir.

Tüketim alışkanlıklarının, beklentilerin ve ortam şartlarının değişmesi ile birlikte hızlı moda trend haline gelmiştir. Süregelen düzende doğanın kapasitesi,

sektörün tüketimini ve çıktılarını karşılayamadığından lokal ve uluslararası düzeyde adımlar atılmaya başlanmıştır. Ülkeler getirilen kısıtlamalara sadık kalsalar da tekstil ağının çok geniş olduğu ve diğer ülkeden gelen ürünlerin getirdiği risklerin göz ardı edilemeyeceği açıktır.

Son yıllarda sürdürülebilir materyal, kimyasal ve proses tercihleri ile mevcut en iyi teknikler değerlendirilmiş, sistemlere entegre edilmeye başlanmıştır. Günümüzde ve yakın gelecekte daha fazla su tüketen, aşınarak mikroplastik salan, kimyasala ihtiyacı olan, atık üreten, enerji tüketen, kirliliğe neden olan prosesler tercih edilmeyerek teknolojik gelişmeler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Tekstil firmaları, otoriteler ve tedarikçileri:

- Enerji yoğun prosesleri için yenilenebilir enerji sistemlerini,
- Su kullanımı için su geri kazanım ve arıtım projelerini,
- Tekstil atıkları için döngüsel ekonomi modellerini;
- Zararsız kimyasal kullanımı için uluslararası geçerliliği olan yeşil kimya ürünlerini,
- Yaşam döngüsü analizleri yaparak doğru elyaf seçimini,
- Kullanım aşamasında doğru makine, kimyasal seçimlerini,
- İnsana ve doğaya saygı felsefesini,
- Toplumların her seviyesi ile iş birliklerini,
- En az emisyon salımına neden olacak nakliye modellerini hayata geçirmeyi değerlendirmelidir.

KAYNAKLAR

- Abrahart, Edward Noah ve Whewell, Charles S. (2022). "tekstil". Encyclopedia Britannica, <https://www.britannica.com/topic/textile>. 1 Nisan 2023 tarihinde erişildi.
- Ammayappan L, Muthukrishnan G, Saravana Prabhakar C (2003) A single stage preparatory pro-cess for woven cotton fabric and its optimization. *Manmade Text India* 46(1):29–35
- Ammayappan, L., Jose, S., & Arputha Raj, A. (2016). Sustainable production processes in textile dyeing. *Green Fashion: Volume 1*, 185-216.
- Badoe, W., Samadu, K., & Frimpong, C. (2015). Exploration of innovative techniques in printed textile design. *International Journal of Innovative Research and Development*, 4(10), 199-211.
- Bahadır, E. B. (2012). Tekstil endüstrisi artırılmış atıksularında renk ve öncelikli kirleticilerin ozon teknolojileri ile gideriminin araştırılması (Master's thesis, Namık Kemal Üniversitesi).
- Bakanlığı, T. S. V. T. Tekstil, Hazır Giyim ve Deri Ürünleri Sektörleri Raporu (2021).
- Battan, B., Dhiman, S. S., Ahlawat, S., Mahajan, R., & Sharma, J. (2012). Application of thermostable xylanase of *Bacillus pumilus* in textile processing. *Indian journal of microbiology*, 52, 222-229.
- Beasley, J., Georgeson, R., Arditi, S., & Barczak, P. (2014). Advancing Resource Efficiency in Europe: Indicators and waste policy scenarios to deliver a resource efficient and sustainable Europe. Brussels: European Environmental Bureau (EEB).
- Beton, A., Dias, D., Farrant, L., Gibon, T., Le Guern, Y., Desaxce, M., ... & Dodd, N. (2014). Environmental improvement potential of textiles (IMPRO-Textiles). European Commission.
- Bhar, C. (2016). Indian textile industry and its impact on the environment and health: a review. *International Journal of Information Systems in the Service Sector (IJISSS)*, 8(4), 33-46.
- Bluesign. (2011). Environmental Health & Safety (EHS) guidelines for brands and retailers.
- Boedeker, W., Watts, M., Clausing, P., & Marquez, E. (2020). The global distribution of acute unintentional pesticide poisoning: estimations based on a systematic review. *BMC public health*, 20(1), 1-19.
- Brigden, K., Hetherington, S., Wang, M., Santillo, D., & Johnston, P. (2014). Hazardous chemicals in branded luxury textile products on sale during 2013. Greenpeace Research Laboratories Technical Report, 1, 2014..

- Brigden, K., Hetherington, S., Wang, M., Santillo, D., & Johnston, P. (2014). Hazardous chemicals in branded luxury textile products on sale during 2013. Greenpeace Research Laboratories Technical Report, 1, 2014..
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia. (2008). "fibre". Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/technology/fiber-technology> adresinden 14 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia. " singeing". Encyclopedia Britannica, <https://www.britannica.com/technology/singeing> adresinden 23 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "textile". Encyclopedia Britannica, (1999). <https://www.britannica.com/topic/textile/Production-of-yarn> adresinden 19 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia. (2008). "fibre". Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/technology/fiber-technology> adresinden 14 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- Bukhari, M. A., Carrasco-Gallego, R., & Ponce-Cueto, E. (2018). Developing a national programme for textiles and clothing recovery. *Waste Management & Research*, 36(4), 321-331.
- Caulfield, K. (2009). Sources of textile waste in Australia. Retrieved December 2016.
- Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., Savenije, H. H., & Gautam, R. (2006). The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological economics*, 60(1), 186-203.
- Cindoruk, S.(t.y.) "Tekstil sektöründe koku emisyonu problemi" Yeşil Çevre. <https://www.yesilcevre.com.tr/tekstil-sektorunde--koku-emisyonu-problemi> adresinden 29 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- Das, D. (2014). Introduction to composite nonwovens. In *Composite non-woven materials* (pp. 1-19). Woodhead Publishing).
- De Falco, F., Gullo, M. P., Gentile, G., Di Pace, E., Cocca, M., Gelabert, L., ... & Avella, M. (2018). Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics. *Environmental Pollution*, 236, 916-925.
- Industrievereinigung Chemiefaser eV.(2022). Die Chemiefaserindustrie in der Bundesrepublik Deutschland 2021/2022.
- Duran, Z., Genç, M., Doğan, T., & Erdem, B. (2020). Evaluation of noise emission in a textile plant. *Naturengs*, 1(1), 53-63.
- Eftimova, B., Sholjakova, M., Mirakovski, D., & Hadzi-Nikolova, M. (2017). Health effects associated with exposure to anesthetic gas nitrous oxide-N2O in

- clinical hospital–Shtip Personel. Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences, 5(6), 800.
- Elitaş, A. C., & Şağban, F. O. T. Tekstil Ramöz Bacasından Kaynaklanan Kirliliğe Önlem Olarak Oluşturulan Filtrasyon Sisteminin Değerlendirilmesi: Bir Örnek Çalışma.
- Ellen MacArthur Foundation, A new textiles economy: Redesigning fashion's future,(2017) <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications> adresinden 1 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- Environment Agency UK, Nonylphenol ethoxylates (NPE) in imported textiles (2013), pp.10, 21.
- Environmental Justice Foundation. (2017). “The Casualties of Cotton” <https://ejfoundation.org/news-media/the-casualties-of-cotton> adresinden 23 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- EPA, U. (2010). Nonylphenol (NP) and nonylphenol ethoxylates (NPEs) action plan. RIN.
- European Environmental Agency.(2021). Plastic in textiles: towards a circular economy for synthetic textiles in Europe.
- European Environmental Agency.(2023). Europe's used textiles are an increasing waste and export problem <https://www.eea.europa.eu/en/newsroom/news/europes-used-textiles-are-an-increasing-waste-and-export-problem> adresinden 24 Nisan 2023 tarihinde alınmıştır.
- Eurostat.(2010). Guidance on classification of waste according to EWC-Stat categories Supplement to the Manual for the Implementation of the Regulation (EC) No 2150/2002 on Waste Statistics. <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/342366/351806/Guidance-on-EWCStat-categories-2010.pdf/0e7cd3fc-c05c-47a7-818f-1c2421e55604> adresinden 2 Haziran 2023 tarihinde alınmıştır.
- Eurostat, B. (2023a). Generation of waste by waste category, hazardousness and NACE Rev. 2 activity. Disponible en ligne.
- Eurostat. (2023b). Population on 1 January by age group, sex and citizenship.
- Fashion Fiber. (2021). Sustainability 101: Water Overuse, <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/9167/sustainability-101-water-overuse> adresinden 30 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- Ghaly, A. E., Ananthashankar, R., Alhattab, M. V. V. R., & Ramakrishnan, V. V. (2014). Production, characterization and treatment of textile effluents: a critical review. J Chem Eng Process Technol, 5(1), 1-19.
- Gardetti, M. Á., & Muthu, S. S. (Eds.). (2015). Handbook of sustainable luxury textiles and fashion (Vol. 1, pp. 1-211). Singapore: Springer.

- Gozálvez-Zafrilla, J. M., Sanz-Escribano, D., Lora-García, J., & Hidalgo, M. L. (2008). Nanofiltration of secondary effluent for wastewater reuse in the textile industry. *Desalination*, 222(1-3), 272-279.
- Haque, M. S., Nahar, N., & Sayem, S. M. (2021). Industrial water management and sustainability: development of SIWP tool for textile industries of Bangladesh. *Water Resources and Industry*, 25, 100145
- Hawley, J. M. (2009). Understanding and improving textile recycling: a systems perspective. In *Sustainable textiles* (pp. 179-199). Woodhead Publishing.
- Health effects associated with exposure to anesthetic gas nitrous oxide-N₂O in clinical hospital–Shtip Personel. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 5(6), 800.)
- Heffer, P., & Prud'homme, M. (2016). Global nitrogen fertilizer demand and supply: Trend, current level and outlook. In *International Nitrogen Initiative Conference. Melbourne, Australia*.
- Hennes, H. M., & Mauritz, A. B. (2014). H&M conscious actions: Sustainability report 2013.
- Hossain, L. (2017). Water footprint assessment of RMG sector of Bangladesh.
- Huang, C. and R.K. Schlatzer.(1985). Water thickening agents consisting of copolymers of crosslinked acrylic acids and esters, Google Patents.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (1989). - Summaries & Evaluations, Antimony Trioxide And Antimony Trisulfide, p. 291
- IEA. (2022) Global CO₂ emissions from transport by sub-sector in the Net Zero Scenario, 2000-2030, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-co2-emissions-from-transport-by-sub-sector-in-the-net-zero-scenario-2000-2030> adresinden 1 Haziran 2023 tarihinde alınmıştır.
- IPPC. (2002). Note, S. G. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Guidance for the Textile Sector.
- Jekel, M. (1997). Wastewater treatment in the textile industry. Treatment of wastewaters from textile processing, 9.
- John, M. J., & Anandjiwala, R. D. (2009). Surface modification and preparation techniques for textile materials. In *Surface modification of textiles* (pp. 1-25).
- Kalaoglu, F., & Paul, R. (2015). Finishing of jeans and quality control. In *Denim* (pp. 425-459). Woodhead Publishing.
- Kapp, K. J., & Miller, R. Z. (2020). Electric clothes dryers: An underestimated source of microfiber pollution. *PLoS One*, 15(10), e0239165.
- KEMI, Chemicals in textiles: Risks to human health and the environment (2014), p.52

- Kiron, I. M. (2021). Scouring Process of Cotton in Textile Industry 9 Nisan 2021 <https://textilelearner.net/scouring-process-of-cotton-in-textile-industry/> adresinden 29 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- Köhler, A., Watson, D., Trzepacz, S., Löw, C., Liu, R., Danneck, J., ... & Faraca, G. (2021). Circular economy perspectives in the EU textile sector. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- La Rosa, A. D., & Grammatikos, S. A. (2019). Comparative life cycle assessment of cotton and other natural fibers for textile applications. *Fibers*, 7(12), 101
- Laitala, K. (2014). Clothing consumption: An interdisciplinary approach to design for environmental improvement.
- Lieber, C. (2018). Why fashion brands destroy billions' worth of their own merchandise every year. accessed on July, 17, 2021. <https://www.vox.com/the-goods/2018/9/17/17852294/fashion-brands-burning-merchandise-burberry-nike-h-and-m> adresinden 2 Haziran 2023 tarihinde alınmıştır.
- Lin, Sheng H., and Ming L. Chen. (1997) "Purification of textile wastewater effluents by a combined Fenton process and ion exchange." *Desalination* 109.2: 121-130.
- Manshoven, S., & Grossi, F. (2022). Textiles and the Environment The role of design in Europe's circular economy.
- Maslow, A., & Lewis, K. J. (1987). Maslow's hierarchy of needs. *Salenger Incorporated*, 14(17), 987-990.
- McKinnon, A. C., & Picczyk, M. (2010). Measuring and managing CO₂ emissions in European chemical transport.
- MEB. (2018). *Tekstil Teknolojisi Temel Bitim İşlemleri (Apre)* Ankara, 2018
- Meyer, L., Dew, T., & Jarrell, P. (2022). Cotton and Wool Outlook: September 2022. *Amber Waves: The Economics of Food, Farming, Natural Resources, and Rural America, 2022*(Cotton and Wool Outlook Number (CWS-22i)).
- Moazzem, S., Wang, L., Daver, F., & Crossin, E. (2021). Environmental impact of discarded apparel landfilling and recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 166, 105338.)
- Momotaz, F.& Hasan, R. (2021). A Study on the Effect of Textile Effluents and Best Effective Effluent Treatment Plant in Bangladesh Textile Industry
- Mostafa, M. (2015). Waste water treatment in textile Industries-the concept and current removal technologies. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 7(1), 501-525.
- Moustafa S. (2008). *Process Analysis & Environmental Impacts of Textile Manufacturing. Dyes and Chemicals.*

- Munasinghe, P., Druckman, A., & Dissanayake, D. G. K. (2021). A systematic review of the life cycle inventory of clothing. *Journal of Cleaner Production*, 320, 128852.
- Muthu, S. S. (2020). *Assessing the environmental impact of textiles and the clothing supply chain*. Woodhead publishing.
- Müezzinoğlu, A. (1998). Air pollutant emission potentials of cotton textile manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 6(3-4), 339-347.
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2023). Noise and Occupational Hearing Loss. <https://www.cdc.gov/niosh/topics/noise/default.html> adresinden 27 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- NJH. (2012). <https://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0141.pdf> adresinden 1 Nisan 2023 tarihinde alınmıştır.
- Niinimäki, K., Peters, G., Dahlbo, H., Perry, P., Rissanen, T., & Gwilt, A. (2020). The environmental price of fast fashion. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(4), 189-200.
- Nikolina, S. A. J. N. (2019). Environmental impact of the textile and clothing industry: What consumers need to know.
- Online Etymology Dictionary. (2017). <https://www.etymonline.com/word/textile> adresinden 28 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- Owen, J. (1989). *Comprehensive polymer science and supplements*.
- Ozturk, H. K. (2005). Energy usage and cost in textile industry: A case study for Turkey. *Energy*, 30(13), 2424-2446.
- Önleme, E. K., & Projesi, K. E. IPPC. (2012). *Tekstil Sanayi İçin MET Kılavuzu*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Özmen, A., Bakanlığ, Ç. V. S. G., & Müdürlüğü. (2014). *İ. Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik Hükümlerinin Örneklerle ve Saha Uygulamalarıyla Açıklanması*.
- Pagga, U., & Brown, D. (1986). The degradation of dyestuffs: Part II Behaviour of dyestuffs in aerobic biodegradation tests. *Chemosphere*, 15(4), 479-491.
- Panda, S. K. B. C., Sen, K., & Mukhopadhyay, S. (2021). Sustainable pretreatments in textile wet processing. *Journal of Cleaner Production*, 329, 129725.
- Paul, R. (2015). Functional finishes for textiles: An overview. *Functional Finishes for Textiles, Improving Comfort, Performance and Protection*, 1-14.
- Philippa, N. (2020). *Sustainability and Circularity in the Textile Value Chain Global Stocktaking*. Technical Report. UNEP.
- Ranganathan, K., Jeyapaul, S., & Sharma, D. C. (2007). Assessment of water pollution in different bleaching based paper manufacturing and textile dyeing industries in India. *Environmental monitoring and assessment*, 134, 363-372.

- Regmi, M. B., & Hanaoka, S. (2010). A Framework to Evaluate Carbon Emissions from Freight Transport and Policies to Reduce CO₂ Emissions through Mode Shift in Asia. In 3rd International Conference on Transportation and Logistics.
- Roos, S. (2015). Towards sustainable use of chemicals in the textile industry: how life cycle assessment can contribute. Chalmers Tekniska Hogskola (Sweden).
- Ross, G. (2019). Australia recycles paper and plastics. So why does clothing end up in landfill. The Guardian.
- Sandin, G., Roos, S., Spak, B., Zamani, B., Peters, G. Environmental assessment of Swedish clothing consumption. Mistra Future Fashion report 2019:05.
- Schindler, W. D., & Hauser, P. J. (2004). Chemical finishing of textiles. Elsevier.
- Seçkiner, S.U., & Kurt, M. (2004). Ofis Güvenliğinin Değerlendirilmesi İçin Geliştirilmiş Ergonomi Teknolojisi: Kairos, Örnek Uygulama. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der, 19(1), 37-38.
- Sharpe, S., Dominish, E., & Martinez-Fernandez, M. C. (2022). Taking climate action: Measuring carbon emissions in the garment sector in Asia (No. 53). ILO Working Paper..
- Sillanpää, M.; Ncibi, C. (2019). Döngüsel ekonomi. Lineer Ekonomiden Geçişe İlişkin Vaka Çalışmalarında; Academic Press: Cambridge, MA, ABD).
- STATISTA. (2022). Yearly total quantity of landfilled textile waste per person in the European Union (EU) in 2016, by country. <https://www.statista.com/statistics/1091462/landfilled-textile-waste-in-the-european-union-per-person/> adresinden 22 Nisan 2023 tarihinde alınmıştır.
- STATISTA. (2023). Global Fiber Production Share Type [https://www.statista.com/statistics/1250812/global-fiber-production-sharetype/#:~: text=In%202021%2C%20synthetic%20fibers%20accounted,accounted%20for%20fie%20percent%20each.](https://www.statista.com/statistics/1250812/global-fiber-production-sharetype/#:~:text=In%202021%2C%20synthetic%20fibers%20accounted,accounted%20for%20fie%20percent%20each.) adresinden 1 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır.
- Stone, C., Windsor, F. M., Munday, M., & Durance, I. (2020). Natural or synthetic—how global trends in textile usage threaten freshwater environments. Science of the Total Environment, 718, 134689.
- Synthetic Fibers Market. (2023). Synthetic Fiber Market Size, Share & Trends Analysis Report by Type (Polyester, Nylon, Acrylics), by Application (Clothing, Home Furnishing), by Region, and Segment Forecasts, 2022-2030
- The World Counts. (2023). Cotton Production Statistics. <https://www.theworldcounts.com/challenges/clothing/world-cotton-production-statistics> adresinden 2 Nisan 2023 tarihinde alınmıştır.
- Tortora, P., G., & Merkel R. S. (1996). Fairchild's Dictionary of Textiles. 7th Edition Fairchild Publications. New York. pp.445, 572

- Townsend, T. (2020). World natural fibre production and employment. In Handbook of natural fibres (pp. 15-36). Woodhead Publishing.
- TÜİK. (2022). Greenhouse Gas Inventory 1990 – 2020. National Inventory Report for submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change.
- UNFCCC. (2018). UN Helps Fashion Industry Shift to Low Carbon <https://unfccc.int/news/un-helps-fashion-industry-shift-to-low-carbon> adresinden 21 Nisan 2023 tarihinde alınmıştır.
- Ungerth, L., & Carlsson, A. (2011). Vad händer sen med våra kläder. *Stockholm, Konsumentföre.*
- van der Velden, N. M., Patel, M. K., & Vogtländer, J. G. (2014). LCA benchmarking study on textiles made of cotton, polyester, nylon, acryl, or elastane. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19, 331-356.
- Verma A K, Dash R R, Bhunia P (2012), A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters, *Journal of Environmental Management* 93; 154-168
- Water Footprint Network. (2017). Viscose Fibres Production, An Assessment of Sustainability Issues. https://waterfootprint.org/resources/Viscose_fibres_Sustainability.pdf adresinden 6 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır
- WEC, World Energy Council. A report of the World Energy Council. Pricing energy in developing countries; 2001.
- Willet, J., Wetser, K., Vreeburg, J., & Rijnaarts, H. H. (2019). Review of methods to assess sustainability of industrial water use. *Water Resources and Industry*, 21, 100110.
- WRAP, 2016, Banbury, Recycling Tracking Survey 2016 Behaviours, attitudes and awareness around recycling, Prepared by WRAP
- Yönetmeliği, S. K. K., & Tarihi, Y. R. G. (12). Mayıs Cuma 2023. Sayı, 32188, 2023.

28. Bölüm

Endüstriyel Proses Atıklarından Geopolimer Üretimi

Savaş ÖZTÜRK ¹

¹ Dr. Öğretim Üyesi, Kurum Bilgisi: Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü <https://orcid.org/0000-0003-2661-4556>

ÖZ

Son yıllarda gerçekleştirilen bilimsel araştırmalar çevre ve enerji sorunlarına karşı endüstride sürdürülebilirlik amacıyla yeni çözümler bulmak üzerine yoğunlaşmıştır. Dünyada en yüksek enerji tüketen sektörlerden biri olan inşaat sektöründe bu doğrultuda daha az enerji tüketen, uygun fiyatlı, sürdürülebilir ve çevre dostu yapı malzemelerinin üretimine yönelik çalışmalar en önemli araştırma alanı haline gelmiştir (Hassan, Arif, & Shariq, 2019; Raza & Zhong, 2022). İnşaat sektöründe düşük maliyetli ve kanıtlanmış mekanik performansa sahip beton en çok kullanılan yapı malzemesidir. Ancak, betonun bağlayıcısı olan Portland çimentosu doğal hammaddelerin 1450 °C'de yakılmasıyla üretilmektedir. Bu üretim prosesi yüksek enerji tüketimine ve CO₂ emisyon salınımına sebep olmaktadır. Bir ton Portland çimento üretiminde yaklaşık bir ton CO₂ emisyonu salınması çimentoya daha çevre dostu alternatif bağlayıcıların kullanılması gereksinimini ortaya çıkarmıştır (Capasso, Liguori, Ferone, Caputo, & Cioffi, 2021). Bu amaçla çimento üretiminde daha az emisyonla sahip alternatif yakıtların kullanılması ve Portland çimentosu yerine farklı bağlayıcıların kullanılması betonu sürdürülebilir hale getirmektedir. Ayrıca ana oksitleri alüminyum oksit (Al₂O₃) ve silisyum oksit (SiO₂) olan alüminosilikatların alkalilerle aktive edilmesi sonucu bağlayıcılık özellik kazanan geopolimerler önemli bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Çevresel ve ekonomik açıdan bilişiminde alüminyum oksit veya silisyum oksit içeren endüstriyel proses ve maden işletme atıklarından üretilmeye uygun olmalarından dolayı geleneksel Portland çimentosuna kuvvetli bir alternatif oluşturmaktadır (Capasso et al., 2021; Xiaolong, Shiyu, Hui, & Yingliang, 2021).

Endüstriyel proses ve maden işletmelerinde atıklar atık havuzlarında ve düzenli depolama alanlarında biriktirilmektedir. Bu sektörlerinin artan üretim hacimleri atık miktarlarını da arttırmaktadır (Singh & Singh, 2019). Ortaya çıkan bu atıkların bertaraf edilmesi için kabul edilebilir bir yöntemin olmaması sürdürülebilirlik ve çevre açısından kritik hale gelmiştir. Endüstriyel proses ve maden işletme atıklarının geopolimerler ve alkali ile aktifleştirilmiş malzemeler olarak kullanılması ileriye dönük bir eğilim olarak görünmektedir (Capasso et al., 2021; Hassan et al., 2019; Xiaolong et al., 2021). Geopolimerler çoğunlukla bir alüminosilikat tozu ve bir alkali solüsyonun etkileşimi ile oluşan amorf sodyum alüminyum-silikat hidrattan oluşan malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Geopolimer ağı oksijen atomları ile bağlanan AlO₄ ve SiO₄ tetrahedradan oluşmakta ve Ca₂⁺, Na⁺, K⁺ ve Li⁺ gibi pozitif yüklü iyonlar yapıdaki negatif yükü dengelemektedir (Xiaolong et al., 2021).

Mekanik performans, termal kararlılık, mukavemet özelliklerinin iyi olması, düşük kalsiyum oksit içeriği dolayısıyla asit saldırılarına karşı dayanıklı olmaları ve üretimlerinde düşük enerji gereksinimiyle yüksek sürdürülebilirlik özellikleriyle büyük ilgi gören geopolimerler Portland çimentosuna kıyaslandığında emisyonları %80 azaltma potansiyeline sahiptir (Capasso et al., 2021). Teknik olarak yeterli

silisyum dioksit ve alüminyum oksit içeren herhangi bir doğal veya sentetik malzeme geopolimerizasyon işlemi için kullanılabilir. Son on yılda uçucu küller, alüminyum atığı, metal üretim cürüfları ve dip külü gibi endüstriyel yan ürünler ve mermer kesme atığı ve inşaat atığı gibi atıklardan geopolimer üretimi araştırılmaktadır (Capasso et al., 2021; Hassan et al., 2019; Singh & Singh, 2019; Xiaolong et al., 2021). Birçok endüstriyel atığın çevre ve insanlar için son derece tehlikeli olarak sınıflandırılabilir önemli miktarlarda element veya bileşiğin geopolimerizasyon süreçleri ile stabilizasyonuna ve hareketsizleştirilmesi de sağlanmaktadır. Bu nedenle, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn gibi ağır metal katyonları içeren katı atıklar, geopolimer hazırlama için hammadde olarak kullanıldığında yapılarındaki ağır metaller sertleştirme işlemini sonrasında geopolimerik matris içinde etkili bir şekilde hareketsiz hale gelmektedir (Capasso et al., 2021; Fernández-Pereira et al., 2018).

Bu bölüm endüstriyel atık malzemelerin geopolimerik sistemler içindeki potansiyel kombinasyonları ile ilgili son bilimsel literatürü gözden geçirmeyi, bu alandaki yenilikçi bakış açıları ve zorluklar göstermeyi amaçlamaktadır.

1. Geopolimerizasyon

1970'lerin sonlarında Joseph Davidovits yanmaz polimerler üzerine yaptığı araştırmalarda alkali ile aktifleştirilmiş alüminosilikat bağlayıcı ailesini tanımlamak için türetilen geopolimerler oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıkta alkali aktivatör solüsyonunda çözünen alüminosilikat malzemelerinin geopolimerizasyonla amorf bir faz ve üç boyutlu silikoalüminat ağ yapısı oluşturmasıyla sentezlenmektedir (Davidovits, 1989; Singh & Singh, 2019). Geopolimerizasyon üç temel aşamada gerçekleşmektedir.

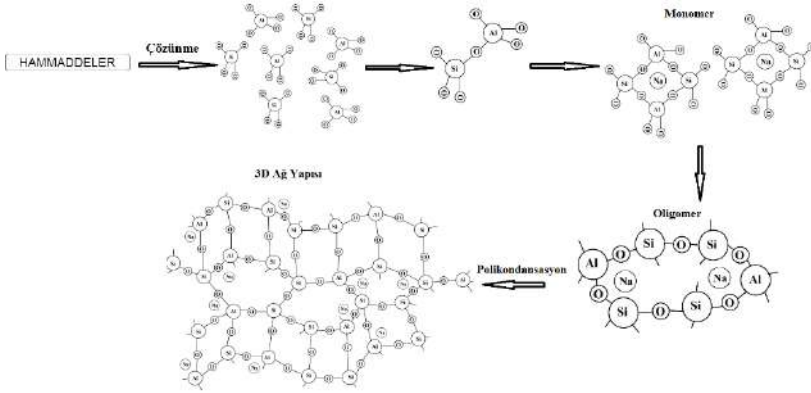
- (1) Alüminosilikat malzemelerinin konsantr alkali çözeltisinde çözünmesi ile serbest silika ve alümina tetrahedron yapıların oluşması
- (2) İnorganik geopolimer jel fazını oluşturmak için malzemelerin transferi, katılaşması/jelleşmesi, alümina ve silika hidroksilin yoğunlaştırma reaksiyonlarının gerçekleşmesi
- (3) İnorganik geopolimer jelin üç boyutlu bir silikoalüminat ağı oluşturmak üzere sertleşmesi

Geopolimer yapıların temel ampirik formülü;



burada M tek değerlikli alkali metal katyonunu (Ca_2^+, Li^+, K^+ veya Na^+), n polikondensasyon derecesini ve z ise SiO_4 tetrahedra sayısını temsil etmektedir. Şekil

1'de geopolimerizasyon sürecinin basitleştirilmiş hali gösterilmiştir (Xiaolong et al., 2021).



Şekil 1. Geopolimerizasyon prosesinin gösterimi (He et al., 2022)

2. Geopolimer Hammaddeleri

2.1 Doğal Hammaddeleri

Kil silikon oksijen tetrahedron tabakası ve alümina oktahedral bileşiminden oluşmuş bir katmanlı silikat yapısında 2 µm'den küçük alüminosilikat parçacıklara sahip bir doğal mineral kaynağıdır. Kil mineral kompozisyonlarından dolayı geopolimerlerin hazırlanmasında ilk kullanılan hammaddedir ve en yaygın kullanılan kil mineralleri ise kaolin ve zeolittir (Cong & Cheng, 2021; Davidovits, 1989; Singh & Singh, 2019). Alüminyum ve demir oksitler açısından zengin bir alüminasilikat minerali olan laterit toprağı geopolimer üretiminde killere alternatif doğal mineral olarak kullanılmaktadır. Lateritin kimyasal bileşimi Na-poli (sialat-silokso) geopolimer üretimi için mükemmel molar oksidasyon oranına sahiptir. Silisyum oksitin alüminyum oksite molar oksit oranı laterik geopolimerlerin mikroyapılarını ve mekanik özelliklerini iyileştirmektedir. Kil ve laterit toprağı haricinde bentonit, mullit, halloysit, diatomit, boksit gibi birçok mineral geopolimer üretiminde kullanılmaktadır (Cong & Cheng, 2021).

2.2 Endüstriyel Katı Atıklar

Endüstriyel üretim ve maden işletmeciliği sonrasında ortaya çıkan uçucu kül, yüksek fırın cürufu, dip külleri, kırmızı çamur, bakır cürufu, nikel cürufu, çinko ve kurşun cürufu, bakır maden atığı, tungsten maden atığı, fosfat maden atığı, altın maden atığı, demir maden atığı, vanadyum maden atığı ve maden atığı gibi katı atıkların geopolimer üretimi ile bertarafı gerçekleştirilebilmektedir. Tablo 1'de geopolimerlerde kullanılan endüstriyel atık hammaddelerin elementel bileşimleri ve faz yapıları verilmiştir.

Tablo 1. Geopolimer üretiminde kullanılan çeşitli endüstriyel atıkların kimyasal bileşimi

Atık Tipi	İçerik (%)							Referans	
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O		K ₂ O
Uçucu kül	18,1	56	5,31	7,24	0,93	1,65	1,21	1,36	(Guo & Yang, 2020)
Yüksek fırın cürufu	6,43	18,9	0,74	66,9	1,41	1,97	-	0,67	(Alrefaei, Wang, & Dai, 2019)
Kırmızı çamur	22,2	14,4	40,20	2	0,17	0,28	12,70	0,11	(Li et al., 2020)
Pirinç kabuğu külü	0,18	92,33	0,17	0,63	0,49	-	0,07	0,15	(Villaquirán-Caicedo, 2019)
Maden atığı	23,1	21,24	42	9,35	0,58	1,23	0,28	0,38	(Ji & Pei, 2020)
Çelik cürufu-uçucu kül	9,78	21,90	14,90	37,40	10,30	0,60	0,20	0,29	(Guo & Yang, 2020)
Bakır madeni atığı	14,11	55,8	3,07	2,27	1,77	-	3,02	3,88	(Manjarrez, Nikvar-Hassani, Shadnia, & Zhang, 2019)
Altun madeni atığı	6,2	89,22	0,84	-	0,29	-	-	1,24	(Demir & Derun, 2019)
Demir maden atığı	9,57	57,3	25,12	0,03	0,07	-	0,05	0,04	(Kuranchie, Shukla, & Habibi, 2016)
Vanadyum maden atığı	5,09	83,47	2,42	0,96	0,65	-	3,25	0,66	(Luo, Bao, & Zhang, 2020)
Kurşun-çinko maden	4,35	62,09	2,73	20,45	0,56	-	-	0,55	(Zhao et al., 2021)
Tungsten maden atığı	21,07	47,85	9,97	0,85	1,01	-	1,32	4,12	(Kastunkas, Zhou, & Castro-Gomes, 2017)

Geopolimer üretimi için uygun hammaddeler amorf yapıda ve bileşimindeki alüminyumun kolay şekilde serbest hale gelmelidir (Sumesh, Alengaram, Jumaat, Mo, & Alnahhal, 2017). Çeşitli endüstriyel proseslerde ortaya çıkan atıklar sentetik geopolimer üretimi için kullanılabilen oranlarda bol miktarda silisyum ve alüminyum elementlerini ve amorf yapı içerirler ve endüstriyel atıklardan üretilen geopolimerlerin basma mukavemeti 40–85 MPa kadar elde edilebilmektedir (Lee & Kang, 2016).

2.3 Aktivatör Tipleri

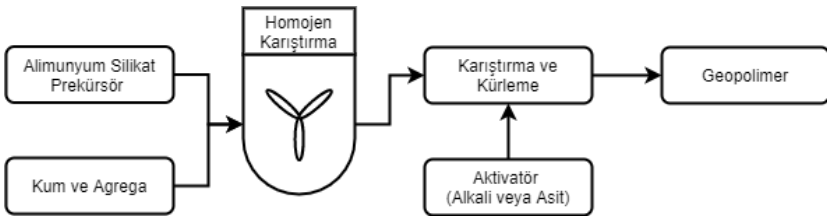
Geopolimer malzemeler alkali veya asidik aktivatörler ile hazırlanabilmektedir. Ancak ilgili literatür incelendiğinde geopolimerlerin genellikle alkali aktivatörler tarafından etkinleştirildiği görülmektedir. Sodyum silikat (Na_2SiO_3) ve sodyum hidroksit (NaOH) aktivatör olarak en yaygın kullanılan alkalilerdir. Na_2SiO_3 metakaolin bazlı geopolimerlerin üretiminde kullanılmış ve basma mukavemeti 63,8 MPa olarak ölçülmüştür (Tchakouté & Rüscher, 2017). Yüksek fırın cürufu ve silis dumanı temelli geopolimerlerin üretiminde sodyum karbonat (Na_2CO_3) ve sönmüş kireç aktivatörleri kullanılmış 28 gün farklı kütleme sıcaklıklarında tutularak 50-85 MPa basma mukavemeti değerleri elde edilmiştir (Kovtun, Kearsley, & Shekhovtsova, 2015). Na_2CO_3 ve Na_2SiO_3 aktivatörleri sertleşme süresini arttırmaktadır. Na_2CO_3 geopolimerin basma mukavemeti azaltmaktadır. Sodyum sülfat aktivatörü geopolimer hammaddelerde yüksek oranda Fe_2O_3 olduğunda farklı etkilere göstermektedir (Velandia, Lysdale, Provis, Ramirez, & Gomez, 2016).

Geopolimerlerin çoğu alkali aktivatörler tarafından aktive edilmesine rağmen bazıları asidik aktivatörler ile de aktive edilebilmektedir. Metakaolin bazlı geopolimer fosforik asit çözeltisi ile aktive edilerek üretilmiş ve üretilen geopolimer kompozitlerin basma mukavemeti 93,8 MPa olarak ölçülmüştür (Shuai et al., 2020; Tchakouté & Rüscher, 2017). Ayrıca asitle aktive edilmiş geopolimerlerin daha yüksek sıcaklık direncine ve iyi mekanik özelliklere sahip olduğu yapılan araştırmalarda belirlenmiştir (Hélène Celerier et al., 2019). Farklı silisyum/alüminyum ve alüminyum/fosfor içeren fosfat bazlı geopolimerlerde alüminyum ve silisyum açısından zengin fosfor açısından fakir bileşenlerin konsolidasyon etkilerinin daha iyi olduğunu gösterilmektedir (H Celerier, Jouin, Mathivet, Tessier-Doyen, & Rossignol, 2018).

3. Geopolimerlerin hazırlanması

Geopolimerler ilk üretildiği zamanlarda aktivatörlerin türüne göre tek ve çift parçalı olarak hazırlanmıştır. Tek parçalı geopolimerler tehlikeli alkaliler kullanılmadan kuru bileşenler karıştırılarak kurutulmaktadır. Daha sonra

hazırlanan kuru karışım yavaş bir hızda karıştırılırken içine az miktarda su ilave edilmektedir. İki parçalı geopolimerlerde ise aktivatör karıştırma işleminden bir gün önce hazırlandıktan sonra içerisine su ilave edilmektedir. Hazırlanan bu sulu karışım kuru karışıma ilave edilerek homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmaktadır. Son aşamada hazırlanan karışımlar boşluklarının azaltılması için titreşimli döküm yöntemiyle kalıplara dökülüp üstü kapatılarak kürlenme işlemine kadar bir gün boyunca beklenmektedir (Dong, Elchalakani, & Karrech, 2020). Şekil 2’de iki parçalı geopolimer üretiminin akış şeması verilmiştir.



Şekil 2. İki parçalı geopolimerlerin hazırlanması.

Hafiflik, yangına dayanıklılık, emicilik vb. avantajlara sahip olmalarından dolayı gözenekli geopolimer üretimi son yıllarda oldukça ilgi çekici hale gelmiştir. Gözenekli geopolimerlerin hazırlanması için en yaygın yöntemler, hidrojen peroksit ve ince metal tozu gibi köpürtücülerin veya sentetik polimer köpüklerin doğrudan geopolimer karışımı içine ilave edilmesidir. Ayrıca, eklemeli imalat kontrollü boyutlarda ve istenilen gözenek yapısına sahip gözenekli geopolimerlerin üretimine yönelik yeni bir yaklaşım ortaya çıkmıştır (Novais, Pullar, & Labrincha, 2020).

4. Endüstriyel atıklar ile hazırlanmış geopolimerlerin uygulamaları

Endüstriyel atıkların geopolimer kompozit üretiminde kullanımı atıkların geri dönüşümü, zararlı elementleri bünyesinde tutmaları gibi özellikleri dolayısıyla çevreci ve ekonomik yapı malzemesi üretimi yaklaşımıdır. Bu amaçla endüstriyel atıklar ile hazırlanan geopolimerler tuğla, hafif agrega, yangına dayanıklı malzeme ve yol yapı malzemelerinin üretimlerinde ayrıca bina temel dolgusu gibi birçok farklı alanda kullanılmıştır (Capasso et al., 2021; Ji & Pei, 2020; Kastiukas et al., 2017; Singh & Singh, 2019).

Geopolimerler yüksek kesme ve eğme mukavemetine sahip olmaları, hidrofobik, su geçirmez ve hızlı kürlenmeleri dolayısıyla tamir malzemesi olarak, yüksek kimyasal dirençleri sayesinde deniz ortamı beton malzemesi olarak, düşük karbon ayak izi ve yüksek dayanımları dolayısıyla kaldırım ve asfalt malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, ağır metalleri bünyesinde tutmaları

ve liç işleminde sızıntı oluşturmamaları dolayısıyla iyi bir absorblayıcı olarak da değerlendirilmektedirler.

Geopolimerler yüksek mukavemet, termal ve kimyasal stabilite gibi temel fonksiyonlarının haricinde özel fonksiyonları için de kullanılmaktadırlar. Yapılan bazı çalışmalarda Ban ve ark. uçucu küllere yüksek kalsiyumlu odun külü ilave edilerek kendi kendini indükleyen geopolimer üretmişlerdir (Ban, Ken, & Ramli, 2017). Benzer sonuçlar Bi ve ark. tarafından SiO₂ ile kaplanmış karbon nanotüpler ile de sağlanmıştır (Bi, Liu, Shen, Hu, & Zhang, 2017). Syamsidar ve ark. uçucu kül-meta kaolin karışımına nano TiO₂ ilave edip alkali aktivasyonu ile kendi kendini temizleyen yüzey aktif geopolimer kompozit yapılar elde etmişlerdir (Syamsidar, 2017). Armayani ve ark. nano gümüş takviyesi ile 750 °C yüksek sıcaklığa dayanabilen ve baktari oluşumunu engelleyen geopolimer kompozit üretmişlerdir (Armayani & Pratama, 2017). Gasca-Tirado ve ark. kaolinite lourik asit emdirerek hazırladıkları yapılar ile ısı depolayan geopolimer kompozit üretimi yapmışlardır (Gasca-Tirado et al., 2019).

Referanslar

- Alrefaai, Y., Wang, Y.-S., & Dai, J.-G. (2019). The effectiveness of different superplasticizers in ambient cured one-part alkali activated pastes. *Cement and Concrete Composites*, 97, 166-174.
- Armayani, M., & Pratama, M. A. (2017). *The properties of nano silver (Ag)-geopolymer as antibacterial composite for functional surface materials*. Paper presented at the MATEC Web of Conferences.
- Ban, C. C., Ken, P. W., & Ramli, M. (2017). Mechanical and durability performance of novel self-activating geopolymer mortars. *Procedia engineering*, 171, 564-571.
- Bi, S., Liu, M., Shen, J., Hu, X. M., & Zhang, L. (2017). Ultrahigh self-sensing performance of geopolymer nanocomposites via unique interface engineering. *ACS applied materials & interfaces*, 9(14), 12851-12858.
- Capasso, I., Liguori, B., Ferone, C., Caputo, D., & Cioffi, R. (2021). Strategies for the valorization of soil waste by geopolymer production: An overview. *Journal of Cleaner Production*, 288, 125646.
- Celerier, H., Jouin, J., Gharzouni, A., Mathivet, V., Sobrados, I., Tessier-Doyen, N., & Rossignol, S. (2019). Relation between working properties and structural properties from ²⁷Al, ²⁹Si and ³¹P NMR and XRD of acid-based geopolymers from 25 to 1000° C. *Materials Chemistry and Physics*, 228, 293-302.
- Celerier, H., Jouin, J., Mathivet, V., Tessier-Doyen, N., & Rossignol, S. (2018). Composition and properties of phosphoric acid-based geopolymers. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 493, 94-98.
- Cong, P., & Cheng, Y. (2021). Advances in geopolymer materials: A comprehensive review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 8(3), 283-314.
- Davidovits, J. (1989). Geopolymers and geopolymeric materials. *Journal of thermal analysis*, 35(2), 429-441.
- Demir, F., & Derun, E. M. (2019). Modelling and optimization of gold mine tailings based geopolymer by using response surface method and its application in Pb²⁺ removal. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117766.
- Dong, M., Elchalakani, M., & Karrech, A. (2020). Development of high strength one-part geopolymer mortar using sodium metasilicate. *Construction and Building Materials*, 236, 117611.
- Fernández-Pereira, C., Luna-Galiano, Y., Pérez-Clemente, M., Leiva, C., Arroyo, F., Villegas, R., & Vilches, L. (2018). Immobilization of heavy metals (Cd, Ni or Pb) using aluminate geopolymers. *Materials Letters*, 227, 184-186.

- Gasca-Tirado, J. R., Manzano-Ramírez, A., Velázquez-Castillo, R. R., Gómez-Luna, B., Nava-Mendoza, R., López-Romero, J., . . . Rivera-Muñoz, E. M. (2019). Porous geopolymer as a possible template for a phase change material. *Materials Chemistry and Physics*, 236, 121785.
- Guo, X., & Yang, J. (2020). Intrinsic properties and micro-crack characteristics of ultra-high toughness fly ash/steel slag based geopolymer. *Construction and Building Materials*, 230, 116965.
- Hassan, A., Arif, M., & Shariq, M. (2019). Use of geopolymer concrete for a cleaner and sustainable environment—A review of mechanical properties and microstructure. *Journal of Cleaner Production*, 223, 704-728.
- He, X., Yuhua, Z., Qaidi, S., Isleem, H. F., Zaid, O., Althoey, F., & Ahmad, J. (2022). Mine tailings-based geopolymers: A comprehensive review. *Ceramics International*.
- Ji, Z., & Pei, Y. (2020). Immobilization efficiency and mechanism of metal cations (Cd^{2+} , Pb^{2+} and Zn^{2+}) and anions (AsO_4^{3-} and $Cr_2O_7^{2-}$) in wastes-based geopolymer. *Journal of hazardous materials*, 384, 121290.
- Kastiukas, G., Zhou, X., & Castro-Gomes, J. (2017). *Preparation conditions for the synthesis of alkali-activated binders using tungsten mining waste*.
- Kovtun, M., Kearsley, E. P., & Shekhovtsova, J. (2015). Dry powder alkali-activated slag cements. *Advances in Cement Research*, 27(8), 447-456.
- Kuranchie, F. A., Shukla, S. K., & Habibi, D. (2016). Utilisation of iron ore mine tailings for the production of geopolymer bricks. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 30(2), 92-114.
- Lee, Y., & Kang, S. (2016). Influence of Blended Activator on Microstructure, Crystal Phase and Physical Properties of Spent Catalyst Slag-Based Geopolymer. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 16(11), 11313-11318.
- Li, Z., Zhang, J., Li, S., Gao, Y., Liu, C., & Qi, Y. (2020). Effect of different gypsums on the workability and mechanical properties of red mud-slag based grouting materials. *Journal of Cleaner Production*, 245, 118759.
- Luo, Y., Bao, S., & Zhang, Y. (2020). Preparation of one-part geopolymeric precursors using vanadium tailing by thermal activation. *Journal of the American Ceramic Society*, 103(2), 779-783.
- Manjarrez, L., Nikvar-Hassani, A., Shadnia, R., & Zhang, L. (2019). Experimental study of geopolymer binder synthesized with copper mine tailings and low-calcium copper slag. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(8), 04019156.

- Novais, R. M., Pullar, R. C., & Labrincha, J. A. (2020). Geopolymer foams: An overview of recent advancements. *Progress in Materials Science*, 109, 100621.
- Raza, M. H., & Zhong, R. Y. (2022). A sustainable roadmap for additive manufacturing using geopolymers in construction industry. *Resources, Conservation and Recycling*, 186, 106592.
- Shuai, Q., Xu, Z., Yao, Z., Chen, X., Jiang, Z., Peng, X., . . . Li, H. (2020). Fire resistance of phosphoric acid-based geopolymer foams fabricated from metakaolin and hydrogen peroxide. *Materials Letters*, 263, 127228.
- Singh, J., & Singh, S. (2019). Geopolymerization of solid waste of non-ferrous metallurgy—A review. *Journal of environmental management*, 251, 109571.
- Sumesh, M., Alengaram, U. J., Jumaat, M. Z., Mo, K. H., & Alnahhal, M. F. (2017). Incorporation of nano-materials in cement composite and geopolymer based paste and mortar—A review. *Construction and Building Materials*, 148, 62-84.
- Syamsidar, D. (2017). *The properties of nano TiO₂-geopolymer composite as a material for functional surface application*. Paper presented at the MATEC Web of Conferences.
- Tchakouté, H. K., & Rüscher, C. H. (2017). Mechanical and microstructural properties of metakaolin-based geopolymer cements from sodium waterglass and phosphoric acid solution as hardeners: A comparative study. *Applied Clay Science*, 140, 81-87.
- Velandia, D. F., Lynsdale, C. J., Provis, J. L., Ramirez, F., & Gomez, A. C. (2016). Evaluation of activated high volume fly ash systems using Na₂SO₄, lime and quicklime in mortars with high loss on ignition fly ashes. *Construction and Building Materials*, 128, 248-255.
- Villaquirán-Caicedo, M. A. (2019). Studying different silica sources for preparation of alternative waterglass used in preparation of binary geopolymer binders from metakaolin/boiler slag. *Construction and Building Materials*, 227, 116621.
- Xiaolong, Z., Shiyu, Z., Hui, L., & Yingliang, Z. (2021). Disposal of mine tailings via geopolymerization. *Journal of Cleaner Production*, 284, 124756.
- Zhao, S., Xia, M., Yu, L., Huang, X., Jiao, B., & Li, D. (2021). Optimization for the preparation of composite geopolymer using response surface methodology and its application in lead-zinc tailings solidification. *Construction and Building Materials*, 266, 120969.

29. Bölüm

Işık Kaynakları Esaslı Fliker ve Verimlilik

Nazım İMAL¹

Fatih KUŞ²

¹ Elektrik Elektronik Mühendisliği/Mühendislik Fakültesi/Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Türkiye

* Sorumlu Yazar: nazim.imal@bilecik.edu.tr

² Elektrik Elektronik Mühendisliği/Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Türkiye

ÖZ

Yapısal özellikleri kaynaklı olarak; tanecik ve dalgacık esaslı olmak üzere incelenen, ışınım enerjisinde, temel özellikleri belirleyen en önemli esaslar renk ve enerji boyutlarıdır. Fiziksel değişim özellikli olarak ışık enerjisinin temel özellikleri, bu kapsamlarda yapısal esaslı ve ışığı oluşturan enerji kaynağı esaslı olmak üzere iki ayrı ölçütte ele alınır. Ultraviyole, görünür ışıklar, kızıl ötesi, radyo dalgaları v.b. ışınım türleri, ışığın yapısal frekansına ya da dalga boyuna bağlı olarak adlandırılırlar. Enerji esaslı kapsam olarak ışık titreşimi ise, enerji kaynağındaki titreşime ya da frekansa bağlı olarak ışığa dönüşümünde, ışığın kesintili olarak var olması ya da var olmaması prensibi ile açıklanabilen görsel tanımlamalardır. Aydınlatmada fliker etkisi ya da strokobik olay olarak tanımlanan durum, ışığın enerji kaynağına bağlı ve kesintili olarak mevcut olması ya da olmaması durumu ile açıklanır. Burada ışık kaynaklarına bağlı olarak incelenen enerji kaynaklı fliker etkileri, aydınlatma amaçlı kullanılan lambalar esas ele alınarak, ışık etkinlikleri ve verimlilikleri esaslı analiz edilmiştir. Işık kaynaklarından elde edilen ışık enerjisinin fliker titreşimleri, gerçekleştirilen analizlerde ayrı ayrı ölçülerek, her biri için birim periyotta ışıklılık ve ışıksızlık sonuçları elde edilmiştir. Sonraki aşamalarda ise ışıklılık ve ışıksızlık analizleri, ele alınan ışık kaynakları için aydınlatma verimlilikleri kapsamında tekrar ele alınmıştır. Bu durumda, çok kısa süreli değerlendirmede, bazı ışık kaynaklarının yüksek ışık akısı verimliliğine sahip oldukları gözükse de, fliker esaslı olarak ışıklılık ve ışıksızlık kapsamında ele alındıklarında daha düşük verimlilik değerlerinde olabildikleri anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Işık, Lamba, Aydınlatma, Fliker, Verimlilik

GİRİŞ

Aydınlatmamızı sağlayan ışık yapısı ve türlerine ait frekans ve dalga boyları, dalgacık tabanlı fiziksel özelliklerinin yanı sıra ışıma yayılımını oluşturan enerji etkisi ilişkilidir. Işık, dalgacık temelli fiziksel özellikleri ile birlikte düşünüldüğünde, görünürlük sınırları içerisinde farklı renk tanımları ile isimlendirilirken, görünmeyen sınırlar ise farklı ışıma türleri olarak adlandırılır. Işık, enerji etkisinden kaynaklı frekans ile ilişkilendirilerek tanımlandığında ise, enerji transferindeki salınım ve harmoniklere bağlı olarak titreşimler oluşturur. Işığın oluşumundaki enerjiye dayalı titreşimler ve salınımlara kırpışma etkisi denir.

Kırpışma etkisi görüş açısından önemli bir aydınlatma konsepti olup, insanlar 25 Hz'nin üzerindeki titreşim etkisini hissedemezler ve görüntüleri titreşimsiz bir süreklilik olarak algırlarlar. Dünyada elektrik enerjisi frekansı olarak 50-60 Hz frekansları kullanıldığı için ışık kaynakları için süreklilik algısı sağlayabilecek aydınlatmalar kolaylıkla elde edilebilmektedir. DC voltajın kullanıldığı aydınlatma uygulamalarında, normal şartlarda enerji bazlı kırpışma etkisi oluşmaz. Fakat, flüoresan ve led yapıların sürücülerinden kaynaklı anahtarlamalı çalışmalarda kırpışma etkisi ortaya çıkabilmektedir. Bu çalışmada, alternatif akımın frekanstan kaynaklanan fliker etkisi ve DC gerilimde anahtarlamaya dayalı fliker etkileri enerji verimliliği açısından ele alınmıştır. Ayrıca lamba ve sürücü ekipmanlarında, soğutmayı destekleyen kırpışma etkisinin olumlu yönleri vurgulanmıştır [1,2,3,10].

Konu kapsamında yapılan çalışmalara ele alındığında; Kepler v.d. 2003 yılında yayınladıkları "Theoretical assessment of light flicker caused by sub and interharmonic frequencies," adlı çalışmalarında, elektrik akımının harmoniksel etkilerinin oluşturduğu fliker etkileri açıklanmıştır. Drapela v.d. 2005 yılında yayınladıkları "Light flicker of fluorescent lamps with different types of ballasts caused by interharmonics" adlı çalışmalarında balast yapılarının farklılıklarından kaynaklı fliker etkileri üzerinde durmuşlardır. Burada gerçekleştirilen çalışmada ise farklı olarak özellikle kare v.b. dalga türünde enerjilendirilen lambalardaki ton ve toff sürelerinin etkileşim oranları ele alınmaktadır.

I. IŞIK VE ÖZELLİKLERİ

Işık elektromanyetik dalga olarak tanımlandığında, enerji taşıyan parçacıklar da foton olarak tanımlanır. Dalgalar halinde hareket ettiği düşünülen radyasyon yapıları dalga boylarına göre isimlendirilir. Radyasyon yapılarının diğer dalgacıklardan farklı olan kısımlarına bakıldığında, fotonsal enerji etkileşiminin sebebinin elektrik alan ve manyetik alan olduğu anlaşılmaktadır [4,6,8,9].

Elektrik alan ve manyetik alanın iç içe geçmiş hali olarak değerlendirilebilecek ışığın bir diğer tanımı da "elektromanyetik radyasyon" olarak yapılabilir. Işığın en önemli özelliği dalga boyudur ve ışığın enerjisi bu dalga boyunun uzunluğuna bağlıdır. Daha kısa dalga boyuna sahip ışık daha yüksek enerjiye sahipken, daha uzun dalga boyuna sahip ışık daha düşük enerji seviyesine sahiptir. Bu enerji değişiminin gözlemleyebildiğimiz kısma "renkler" denir. Örneğin mor görünen bir nesne, aldığı ışınımsal vektörlerden yansıttığı şeyin dalga boyunun göze veya kameraya iletilen mor rengin kısa dalga boyuna karşılık geldiğini açıklar.

Kırmızı rengin dalga boyu mor renge göre daha uzundur ve kırmızı rengin enerjisi mor renge göre daha düşüktür. Görebildiğimiz diğer tüm renklerin kendilerine ait bir dalga boyu ve bu dalga boyunun gerektirdiği enerji seviyeleri vardır. Bu dalga boylarındaki renklerin oluşturduğu saçılma grafiklerinin toplamına "elektromanyetik spektrum" denir. Elektromanyetik spektrum. Ancak görebildiğimiz renkler, dev bir dalganın yalnızca çok dar bir kısmıdır. Çünkü gözlerimiz güneşin yaydığı en güçlü ışığı görebilir. Bu şekilde görebiliriz. Işığın dalga boyu görebildiğimizden biraz daha kısaysa buna ultraviyole (ultraviyole) deriz. Bundan daha kısa ise röntgen (x-ray) diyoruz. Bildiğimiz en kısa dalga boyuna gama ışını (gama ışını) denir. Veya görebildiğimizden biraz daha uzun dalga boyuna sahip ışığa kızılötesi deriz. Bundan daha uzunsa, buna mikrodalga diyoruz. En uzun dalga boyuna sahip ışığa radyo dalgası denir. Dalga boyunun enerji ile ters orantılı olduğunu biliyoruz. Buna dayanarak enerjisi en yüksek olan ışınların gama ışınları olduğunu söyleyebiliriz. Enerjisi en düşük olan ışınlar radyo dalgalarıdır [3,5,7,11,15].

Bir vektör miktarı olan ışık şiddeti, bir ışık kaynağının etrafındaki herhangi bir noktaya gönderdiği ışık miktarını ifade eder. Birimi "candela (cd)"dir ve "I" harfi ile gösterilir.

Fiziksel bir nicelik olan ışık akısı, bir ışık kaynağından birim zamanda yayılan ışık ışınlarının toplamıdır. Aslında ışık akısı, insan gözünün algılayabildiği ışık gücünün toplamıdır diyebiliriz. Birimi "lümen (lm)" olup "Ø" harfi ile ifade edilir.

Aydınlanma düzeyi, kaynakla ilgili olmayan ve aydınlatılan yüzeye ilgili bir niceliktir. Birim alana dik açıyla düşen ışık akısı olarak ifade edebiliriz. Birimi "lux (lx)" olup "E" harfi ile gösterilir [12,13,14,18].

Aydınlatma seviyesi ile ışık şiddeti arasında aşağıdaki gibi bir ilişki vardır.

$$E = \frac{I}{r^2} \quad (1)$$

Burada;

E: Aydınlanma düzeyi (lüks - lx),

I: Işık şiddeti (kandela- cd),

r: Mesafe (metre – m)

olarak gösterilmektedir.

A. Işık Enerjisi

Ana başlıkların detaylandırılması için 2. seviye ve 3. seviye başlıklar Işık, foton adı verilen paketler halinde taşınır ve dalga boyuna göre enerjisi değişir. Fotonun taşıdığı enerjiyi hesaplariken ışığın dalga boyunu da hesaba katmamız gerekir. Fotonların taşıdığı enerji miktarı ise aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$Ef = \frac{h.c}{\lambda} \quad (2)$$

Burada;

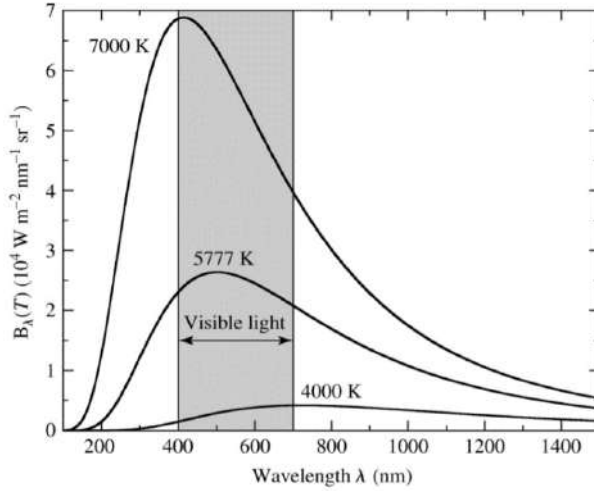
Ef : Fotonun enerjisi (Joule - J),

h : Planck sabiti ($6.62607015 \times 10^{-34}$ Joule.saniye – J.s) veya
($4.135667516(91) \times 10^{-15}$ Elektronvolt.saniye – eV.s)

c : Işık hızı (3.10^8 metre/saniye - m/s)

λ : Dalga boyu (Nanometre - nm) birimlerini ifade eder.

Işınım yapısına ve ışın kaynağına bağlı olarak ışık enerjisi ele alındığında, yüksek renk sıcaklığında ışının yayma özelliğine sahip ışık kaynaklarının daha fazla oranda foton enerjisi içerdiği anlaşılmaktadır. Dalga boyu esaslı olarak, daha detaylı bir analiz yapıldığında ise enerji miktarının, ışığın fiziksel özelliğine bağlı frekansı ile doğru orantılı veya başka bir ifade ile dalga boyu ile ters orantılı olduğu anlaşılmaktadır. Gerek ışınımın renk sıcaklığına bağlı, gerekse dalga boyuna bağlı değişimlerinin fonksiyonel grafiği şekil 1’de görülebilir.

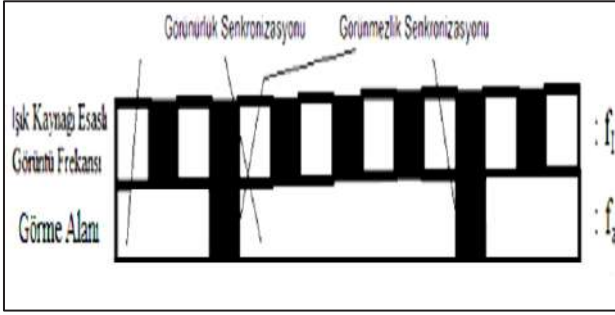


Şekil 1. Işınım yapılarının renk sıcaklığına ve dalga boyuna bağlı enerji değişimleri

II. FLİKER ETKİSİ

Işık, AC gerilimden kaynaklanan frekans ile ilişkilendirilerek tanımlandığında, elektrik enerjisindeki salınımlara ve harmoniklere bağlı olarak titreşimler oluşturur. Işığın oluşumundaki enerji ile bağlantılı olan bu titreşimlere ve salınımlara fliker (kırışma) etkisi denir.

Fliker, insanların görme yeteneğini etkileyen önemli bir aydınlatma konusudur (Şekil 2). İnsanlar 25 Hz'in üzerindeki fliker etkisini hissedemezler ve görüntüleri titreşimsiz bir süreklilik olarak algırlarlar. Dünyada elektrik enerjisi frekansı olarak 50-60 Hz frekansları kullanıldığından ışık kaynakları için süreklilik algısı sağlayabilecek aydınlatmalar kolaylıkla elde edilebilmektedir. Güç kalitesi problemleri arasında yer alan fliker, güç kalitesini bozan diğer problemlerden farklı olarak frekans ve genlik özellikleri bakımından farklılık göstermektedir. Güç kaynağı esaslı fliker etkisi, elektrik enerjisi ve güç transferi kesintili gerçekleştiğinden enerji tasarrufunu artırma amaçlı da kullanılabilir. Fliker etkisini diğer güç problemlerinden farklı kılan şey, insanlara ve algılayıcı kameralara olan olumsuz etkisidir [15, 17].



Şekil 2. Işık kaynağı esaslı fliker etkisi

DC voltajın kullanıldığı aydınlatma uygulamalarında ise normal şartlarda enerji kaynaklı fliker etkisi oluşmaz. Özellikle elektrik enerjisinden tasarruf sağlama amaçlı olarak anahtarlamalı çalıştırılan DC ışık kaynaklarında fliker etkileri meydana gelmektedir. Günümüzde direkt olarak AC şebekeden enerji alan lamba türleri giderek daha da azalırken, AC/AC, AC/DC gibi elektronik sürücüler üzerinden ışık kaynakları enerjilendirilmektedir. Günümüzün son teknoloji ürünü olan lambalarının enerjilendirilmelerinde anahtarlama esnasındaki sönüm periyodu ne kadar uzun tutulursa lambanın o derece verimli ve tasarruflu olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca ortaya çıkan ekstra ısı kayıpları da fliker etkisi ile birlikte azalabilmektedir. Fliker etkisine bağlı ısı kayıplarındaki azalma miktarları lamba gövdeleri ve sürücülerinde gözlenebilmektedir [16, 20].

Fliker etkisine olumlu açıdan bakıldığında, en önemli kazanç olan enerji tasarrufu sağlanmasının yanında daha az ısı enerjisi meydana gelmesinden dolayı sürücü ve lambaların daha az sıcaklığa maruz kalarak daha uzun ömürlü olması sağlanabilmektedir. Soğutucu ekipmanlarının ise küçülebilmesi ve basitleşebilmesinden dolayı daha az maliyet karşımıza çıkabilecektir. Enerji verimi artabilecek ve üretim maliyetleri azalabilecektir.

Fliker etkisine olumsuz açıdan bakıldığında ise en önemli problem gerek insanlar gerekse kameralar için algılamada oluşan zorluklar ve süreklilik algısının kesintiye uğraması olarak özetlenebilir. Işıklılık t_{on} süresinin yetersizliği gerek beyinde gerekse elektronik sistemlerde yeterli görsel algılamayı oluşturacak kadar etki oluşumunu engellediğinde görme ve algılama sorunları oluşacaktır. 25 Hz ve altında enerji kaynağı esaslı fliker oluştuğunda ise insan gözünde süreklilik algısı ortadan kalkmaktadır. Elektronik algılayıcı kameralar için ise kesintili algılama 50 Hz değerlerini bulabildiğinden, ışık kaynakları anahtarlamalı çalışacaksa 100 Hz ve üstü frekansların tercihi yerinde olmaktadır.

A. Fliker Etkisini Ortaya Çıkaran Sebepler

Genel olarak güç kalitesi sorunları, güç sistemine bağlanmış olan cihazları olumsuz olarak etkilemektedir. Güç kalitesindeki yüksek düzeyde bozulmalar, cihazların amacına uygun bir şekilde çalışmasını engeller. Güç sisteminde meydana gelen ani bir gerilim artışı durumunda o anda sistemden beslenen cihazların zarar görmesine sebep olmaktadır. Gerilimin yükseldiği değere bağlı olarak enerjiye bağlı olan cihazın izolasyonu zayıflayabilir veya cihaz tamamen bozulabilir.

Ancak, güç kalitesi sorunlarından olan flikeri ele aldığımızda ise farklı bir durum söz konusu olur. Enerji sisteminde fliker olduğundan bahsettiğimizde, enerji sistemine bağlı durumda olan aydınlatma cihazları ile aynı ortamda bulunan insanları da etkileyen bir güç kalitesi sorunundan bahsediyoruz demektir.

Örnek verecek olursak; sürekli olarak görsel kontrol sağlanması gereken bir işte çalışan kişilerin flikerden etkilenme derecesinin, vücut ve kas gücü ile çalışan kişilere göre daha yüksek olduğunu söyleyebiliriz. Fabrikada çalışan vinç operatörünün dikkatinin dağılması veya yüksek basınçlı pres makinasında çalışan bir teknisyenin görme algısının bozulması sonucunda büyük maddi ve manevi kayıplara neden olacak kazalar meydana gelebilir.

Işık ışımasının dalgalanmalarından kaynaklanan ve kişiden kişiye göre farklı seviyelerde olumsuz etki gösteren fliker, hem ölçülebilmesi hem de ortadan kaldırılabilmesi açısından oldukça zor bir durumdur. Güç sisteminde fliker etkisinin varlığının anlaşılmasını sağlayan iki durum vardır. Birincisi; aydınlatma cihazlarını besleyen sistemdeki voltaj dalgalanmalarıdır [18]. İkincisi ise Işığın parlaklığındaki değişim hızının insanları rahatsız edecek düzeyde olmasıdır. Gerilim değişimi sonucunda parlaklık değişimi meydana gelmeli ve bu parlaklık değişimi insan tarafından algılanmalıdır. Bu nedenle gerilim, parlaklık ve algı arasındaki ilişki, flikerin var olup olmadığını gösteren önemli konulardır [19].

Fliker, yanıp sönen ışık kavramı kullanılarak da tanımlanmaktadır. Bu tanım voltaj, akım veya frekans kullanılarak yapılan geleneksel güç kalitesi tanımlarından farklıdır. Tanıma baktığımızda fliker etkisinin bir güç kalitesi sorunu olmadığı, bir aydınlatma sorunu olduğu yanılığısı oluşturabilir. Işımanın şiddeti veya etkisi aydınlatma için kullanılan armatürün yapısına göre değişiklik gösterebileceğinden dolayı böyle bir yanılığ oluşabilir [20, 21, 22].

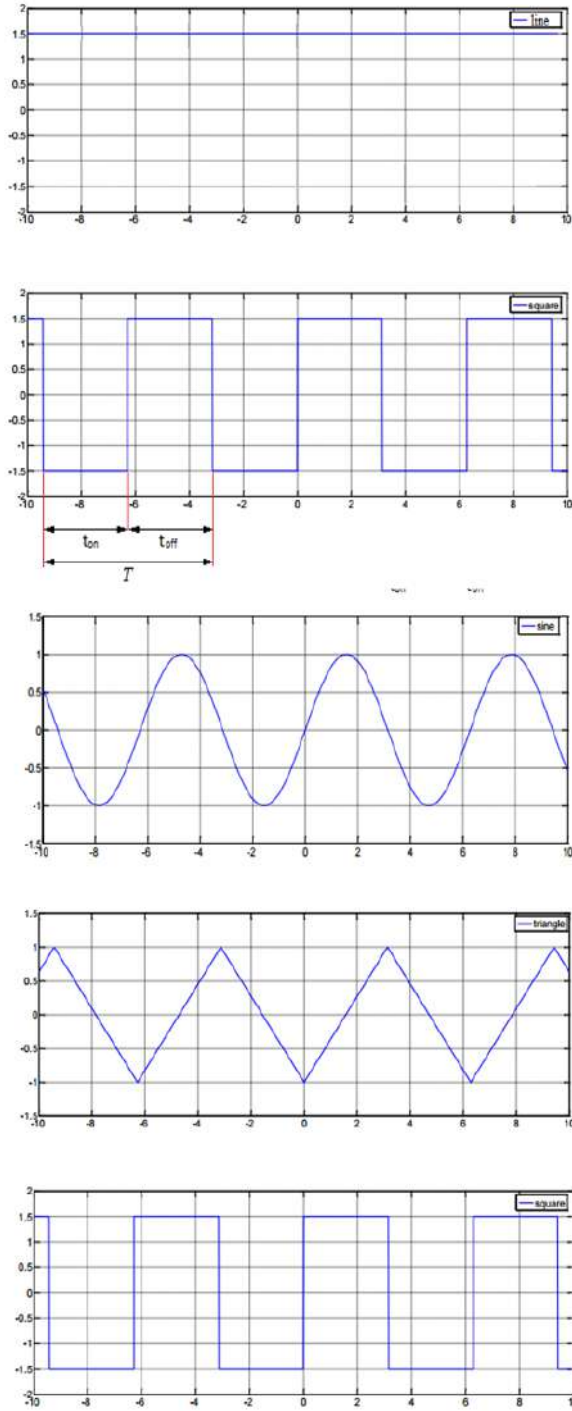
III. IŞIKLILIK VE IŞIKSIZLIK ESASLI VERİMLİLİK

Bir cismin görünürlüğünü sağlayan faktör parlaklıktır. Görüş alanını etkileyen koşullardan biri de görme alanı içindeki parlaklık dağılımıdır. Görme bölgesindeki parlaklık dağılımı, gözün ortamdaki ışığa uyumunu belirler ve görme verimini doğrudan etkiler. Gözün fonksiyonlarındaki etkinliği artırmak

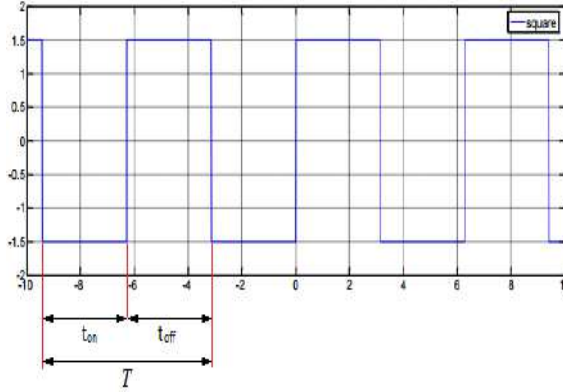
için görme keskinliği ve kontrast duyarlılığını içeren dengeli bir parlaklık gereklidir. Işık dağılımı da görsel alandaki görsel konforu doğrudan etkiler. Bu nedenle kamaşmaya neden olacak yüksek parlaklıktan ve gözün sürekli uyum sağlama çabasından dolayı yorgunluğa neden olacak büyük parlaklık farklılıklarından kaçınmak gerekir.

Işığın enerji kaynağı esaslı olarak yapmış olduğu fliker etkisini ele alabilmek için, lambaların beslemesinde kullanılan elektriksel enerji kaynaklarının oluşturduğu dalgalanmaların ele alınması gerekir. Şekil 3’de lambaların elektriksel beslemelerinde karşılaşılabilen dalga formları gösterilmiştir. Alternatif şebeklerimizden kaynaklı sinüs dalgası, lambaların direkt yada manyetik balast üzerinden beslenmelerinde kullanılan dalga formu olurken, üçgen ve kare dalga formları genellikle elektronik esaslı lambaların beslemelerinde kullanılan dalga formlarını oluşturmaktadır. Bu dalga formlarından da anlaşılacağı üzere, lambaların elektriksel enerji beslemelerinin periyodik aralığına göre ışık akılarında artma ve azalma söz konusu olmaktadır.

Sinüs ve üçgen dalgasına ait formda yapısal özelliklerinden dolayı bu artma ve azalma süreleri homojen olarak dengeli bir dağılımla karşımıza çıkmaktadır. Alternatif gerilim ve üçgen dalga ile ışık kaynaklarını çalıştırmanın kare dalga ile çalıştırmaya göre en önemli farklılığı t_{on} ve t_{off} sürelerinin eşitliğidir. Kare dalga ile ışık kaynaklarını çalıştırmada ise t_{on} ve t_{off} sürelerinin ayarlanabilirliği önemli bir avantaj oluşturmaktadır.

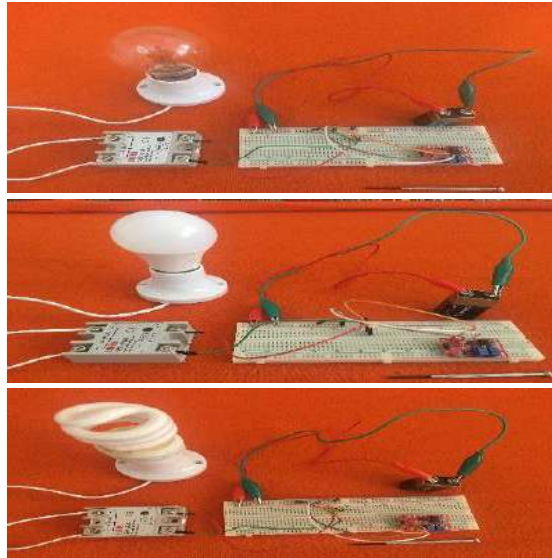


Şekil 3. Elektriksel enerji kaynaklarının oluşturduğu dalgalanmalar



Şekil 5. Kare dalga periyodu

n_{ϕ} ışıklılık oranı olarak çalışmada tanımlanmış olup, bu değer 1'den aşağı seviyelere düşmesi lambaların daha az enerji harcamalarına neden olurken göz ve kamera algılamalarında azalmaya neden olmaktadır. Kare dalga dışındaki sinüs ve üçgen formları için n_{ϕ} oranları ise yapıları gereği $\frac{1}{2}$ olarak ortaya çıkan bir değer olmaktadır (Şekil 6). Bu kapsamda, 1 periyotluk sürede n_{ϕ} oranının 1'den 0'a doğru azalması durumu şekil 7'deki grafikte görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere, t_{on} süresinin azaltılarak, t_{off} süresindeki artış, n_{ϕ} oranını azalttığı gibi göz ve kamera algılamasını da azaltmaktadır.



Şekil 6. Deneysel kurulum

Burada,

$$n_{\phi} = \frac{t_{on}}{\tau} \quad (5)$$

olarak elde edilir.



Şekil 7. Algılama Grafiği

Çalışma sonucunda, eşitlikler 1, 2, 3, 4 ve 5 dikkate alınarak incelemeler gerçekleştirilmiştir. n_{ϕ} oranının azalması ile enerji verimliliği ve lamba ömürlerinde iyileşme gerçekleşse de, gerek kamera algılamalarında gerekse görmede oluşan olumsuzlukların 0,8 seviyelerine düşülmesi durumunda başlangıç seviyesinde olduğu; 0,6 seviyelerine düşülmesi durumunda daha da belirginleştiği; 0,4 seviyelerine düşülmesi durumunda algılama ve görme kalitesinin yetersiz olarak olduğu; 0,3 ve altı seviyelerin ise kabul edilemez düzeylerde olduğu anlaşılmıştır.

IV. SONUÇLAR

Gerçekleştirilen çalışmada, lamba ve armatürlerin devrede olmaları ya da olmamaları süresini belirleyen t_{on} ve t_{off} periyotları esaslı enerji verimlilik analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ortaya çıkan verilere göre, insanlar ve kameralar algılayamasa bile ortaya çıkan ışık-ışsıksızlık etkisinin, algılama kalitesi ve görme sağlığına yönelik olarak ideal şartlardan uzaklaştırıcı etkiler oluşturduğu gözlemlenmektedir.

Burada ideal şartlardan uzaklaştırıcı etkiler olarak, anahtarlamasız DC akımın kullanıldığı yeni nesil lambalar ya da flaman soğumasının ışık akısı kaybı oluşturmadığı enkandesan lambalarla sağlanan algılama ve görme kalitesinden uzaklaşma ifade edilmektedir.

Enerji kaynağı esaslı fliker dalgalanmaları burada ele alınarak enerji verimliliği ve algılama sorunları oluşturmaları bakımlarından incelenmiştir. Yapılan inceleme ve araştırmaların sonucunda; bir cismin görünürlüğü sağlayan en önemli faktörün parlaklık olduğu, ışığın enerji kaynağı esaslı olarak yapmış olduğu fliker etkisini ele alabilmek için, lambaların beslemesinde kullanılan elektriksel enerji kaynaklarının incelenmesi gerektiği görülmüştür.

Lambaların elektriksel beslemelerinde karşılaşılabilen dalga formları ele alındığında kaynaklı sinüs dalgası ve üçgen dalgası kaynaklı besleme formlarında da yapısal özelliklerinden dolayı t_{on} ve t_{off} sürelerinin eşitliği ortaya çıkmaktadır. Kare dalga ile ışık kaynaklarını çalıştırmada ise t_{on} ve t_{off} sürelerinin ayarlanabilirliği durumu ortaya çıkmaktadır. Gerçekleştirilen uygulama ve analizlerin sonucu olarak t_{on}/t_{off} oranını küçültmenin enerji verimliliğini arttırırken, görsel algılamada sorunlar oluşturduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durumun tam tersi olarak, t_{on}/t_{off} oranını büyültmenin enerji verimliliğini azaltırken, görsel algılamada rahatlık oluşturduğu ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] İmal, N. , Taşkan, B., Yol Aydınlatmasında Flicker Etkisi Esaslı Direk Açıklığı Tespiti, Düzce Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Dergisi (2016).
- [2] T. Keppler, N. R. Watson, J. Arrillaga and Shiun Chen, "Theoretical assessment of light flicker caused by sub- and interharmonic frequencies," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 18, no. 1, pp. 329-333, Jan. 2003, doi: 10.1109/TPWRD.2002.806690.
- [3] J. Drapela, M. Kratky, L. Weidinger and M. Zavodny, "Light flicker of fluorescent lamps with different types of ballasts caused by interharmonics," 2005 IEEE Russia Power Tech, 2005, pp. 1-7, doi: 10.1109/PTC.2005.4524419.
- [4] Veitch JA, McColl SL. Modulation of fluorescent light: Flicker rate and light source effects on visual performance and visual comfort. International Journal of Lighting Research and Technology. 1995;27(4):243-256. doi:10.1177/14771535950270040301
- [5] Atasal, M., 2000 Güç Kalitesi ve Fliker, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- [6] D. Gallo, R. Langella and A. Testa, "Light flicker prediction based on voltage spectral analysis," 2001 IEEE Porto Power Tech Proceedings (Cat. No.01EX502), 2001, pp. 6 pp. vol.1-, doi: 10.1109/PTC.2001.964629.
- [7] Ni, P., Eg, R., Eichhorn, A., Griwodz, C., & Halvorsen, P. (2011, September). Spatial flicker effect in video scaling. In 2011 Third International Workshop on Quality of Multimedia Experience (pp. 55-60). IEEE.
- [8] A. J. Collin, S. Z. Djokic, J. Drapela, R. Langella and A. Testa, "Light Flicker and Power Factor Labels for Comparing LED Lamp Performance," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 55, no. 6, pp. 7062-7070, Nov.-Dec. 2019, doi: 10.1109/TIA.2019.2919643.
- [9] Drapela, J., Langella, R., Slezinger, J., & Testa, A. (2018). Generalized lamp model for light flicker studies. Electric Power Systems Research, 154, 413-422.
- [10] Yao, Y., Ying, Y., Deng, Q., Zhang, W., Zhu, H., Lin, Z., ... & Zhao, Y. (2020). Non-invasive 40-Hz light flicker ameliorates Alzheimer's-associated rhythm disorder via regulating central circadian clock in mice. Frontiers in physiology, 11, 294.
- [11] Yoshimoto, S., Jiang, F., Takeuchi, T., Wilkins, A. J., & Webster, M. A. (2020). Visual discomfort from flicker: Effects of mean light level and contrast. Vision Research, 173, 50-60.

- [12] G. Bucci, E. Fiorucci and C. Landi, "A Digital Instrument for Light Flicker Effect Evaluation," in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 57, no. 1, pp. 76-84, Jan. 2008, doi: 10.1109/TIM.2007.908115.
- [13] Labudzki, R., Legutko, S., & Raos, P. (2014). The essence and applications of machine vision. *Tehnicki Vjesnik*, 21(4), 903-909.
- [14] Brundrett GW. Human sensitivity to flicker. *Lighting Research & Technology*. 1974;6(3):127-143. doi:10.1177/096032717400600302
- [15] J. Barros, J. J. Gutiérrez, M. de Apráiz, P. Saiz, R. I. Diego and A. Lazkano, "Rapid Voltage Changes in Power System Networks and Their Effect on Flicker," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 31, no. 1, pp. 262-270, Feb. 2016, doi: 10.1109/TPWRD.2015.2452967.
- [16] M. M. Morcos and J. C. Gomez, "Flicker Sources and Mitigation," in *IEEE Power Engineering Review*, vol. 22, no. 11, pp. 5-10, Nov. 2002, doi: 10.1109/MPER.2002.1045561.
- [17] Glavaš, H., Blažević, D., & Ivanović, M. (2012). Quality and energy efficiency of public lighting in the area of Osijek-Baranja County. *Tehnički vjesnik*, 19(3), 549-556.
- [18] J. Barros, M. de Apráiz, R. I. Diego, J. J. Gutiérrez, P. Saiz and I. Azcarate, "Minimum requirements for rapid voltage changes regulation based on their effect on flicker," 2017 *IEEE International Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS)*, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/AMPS.2017.8078346.
- [19] Lodetti, S.; Azcarate, I.; Gutiérrez, J.J.; Leturiondo, L.A.; Redondo, K.; Sáiz, P.; Melero, J.J.; Bruna, J. Flicker of Modern Lighting Technologies Due to Rapid Voltage Changes. *Energies* 2019, 12, 865
- [20] K. Chmielowiec, "Flicker effect of different types of light sources," 11th *International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation*, 2011, pp. 1-6, doi: 10.1109/EPQU.2011.6128852.
- [21] Cai, R.R., Cobben, J.S., Myrzik, J.J., Blom, J., & Kling, W.L. (2009). Flicker responses of different lamp types. *Iet Generation Transmission & Distribution*, 3, 816-824.
- [22] J. Drapela, R. Langella, A. Testa, A. J. Collin, X. Xu and S. Z. Djokic, "Experimental evaluation and classification of LED lamps for light flicker sensitivity," 2018 18th *International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICHQP.2018.8378857.

