

MÜHENDİSLİKTE GÜNCEL ARAŞTIRMALAR

HAZİRAN 2022

EDİTÖRLER

DOÇ. DR. SELAHATTİN BARDAK

DR. ÖMER YURDAKUL

DR. ÖĞR. ÜYESİ NUMAN YALÇIN

İmtiyaz Sahibi / Publisher • Yaşar Hız
Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • Eda Altunel
Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Gece Kitaplığı
Editörler / Editors • Doç. Dr. Selahattin BARDAK
Dr. Ömer YURDAKUL
Dr. Öğr. Üyesi Numan YALÇIN
Birinci Basım / First Edition • © Haziran 2022
ISBN • 978-625-430-207-7

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin
almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

The right to publish this book belongs to Gece Kitaplığı.

Citation can not be shown without the source, reproduced in any way
without permission.

Gece Kitaplığı / Gece Publishing

Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt. No: 22/A Çankaya / Ankara / TR

Telefon / Phone: +90 312 384 80 40

web: www.gecekitapligi.com

e-mail: gecekitapligi@gmail.com



Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 47083

Mühendislikte Güncel Araştırmalar

Haziran 2022

Editörler

Doç. Dr. Selahattin BARDAK

Dr. Ömer YURDAKUL

Dr. Öğr. Üyesi Numan YALÇIN

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1

YAŞAM DÖNGÜSÜ YAKLAŞIMIYLA ENERJİ VE KAYNAK KULLANIMINI AZALTICI DÖNGÜSEL EKONOMİ UYGULAMALARI

Koray KARABULUT..... 1

Bölüm 2

SANAYİ FİRMALARINDA TEHLİKELERİN BELİRLENMESİ VE OLASI RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ- FİNE-KİNNEY METODU İLE BİR UYGULAMA

Kübra TÜMAY ATEŞ..... 15

Bölüm 3

MAKİNE HALI SEKTÖRÜNDE TIRAŞLAMA İŞLEMİNİN İNCELENMESİ

TUGBA TÖLEK, ÖZNUR ÖZDİNÇ 29

Bölüm 4

ÇEVRE KİRLİLİĞİ BİLİNCİNİN FP-GROWTH ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ: SİNOP İLİ ÖRNEĞİ

Mevlüt KILINÇ, Selahattin BARDAK, Timuçin BARDAK..... 43

Bölüm 5

ÇAMAŞIR MAKİNELERİNDE OLUŞAN RENKLİ ATIK SUYUN YENİDEN KULLANILMASI VE SU TASARRUFU POTANSİYELİ

Başak Arslan İlkiz, Yeşim Beceren, Cevza Candan 73

Bölüm 6

METALİK İMPLANTLAR İÇİN ELEKTROFORETİK BİRİKTİRME YÖNTEMİ (EPD) İLE ÜRETİLEN BİYOAKTİF CAM KAPLAMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Lale CİVAN, Semra KURAMA..... 97

Bölüm 7

BAZI GIDALARDAN İZOLE EDİLEN LAKTİK ASİT BAKTERİLERİNİN TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Burhan TEKDEMİR, Özlem ERTEKİN 129

Bölüm 8

GELİŞTİRİLMİŞ SOBEL KENAR BULMA OPERATÖRÜNÜN FARKLI RENK UZAYLARINDAKİ PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Sinan DOĞAN, Funda AKAR, Ahmet BARAN..... 141

Bölüm 9

PERDELER ÖZELİNDE EV TEKSTİLLERİNİN AKUSTİK ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

H. Merve Bulut , Merve Küçükali Öztürk, Banu Uygun Nergis , Cevza Candan 155

Bölüm 10

SANAYİ TESİSİ STATÜSÜNDE OLAN BİR ÇELİK YAPININ ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN PERFORMANS ANALİZİ ÜZERİNE ÇALIŞMA

M. C. Yelgin, R. Akbıyıklı 175

Bölüm 11

AHP-VIKOR BÜTÜNLEŞİK YAKLAŞIMI İLE ŞEV STABİLİTE PROBLEMLERİNDE GEOTEKNİK DAYANMA YAPISI SEÇİMİ

Yesim Tuskan, Ender Basari 191

Bölüm 12

BİYOMEDİKAL UYGULAMALAR İÇİN ALANLARI AYARLANABİLİR KALICI MİKNATISLARIN TASARIM KONSEPTLERİ

Serhat KÜÇÜKDERMENCİ 215

Bölüm 13

ISIL OLMAYAN İŞLEMLERİN SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİNDE KULLANIMI VE BU TEKNİKLERİN ÜRÜN KALİTESİ ÜZERİNE OLAN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

Ece BÜYÜKGÜMÜŞ, Merve ÖZCAN, Selda BULCA..... 231

Bölüm 14

MİKROŞERİT YAMA ANTENLER

Cihan Döğüşgen Erbaş 251

Bölüm 15

SÜRDÜRÜLEBİLİR VE YENİLİKÇİ TEKSTİL LİFLERİ

Okşan ORAL,

Esra DİRGAR..... 267

Bölüm 16

GIDALARI GIDA İLE RENKLENDİRMEK

Sevim Gürdaş MAZLUM..... 279

Bölüm 17

BARTIN ÇAYI KUMLARINDA YENİLME ZARFI EĞRİSELLİĞİNİN ŞEV STABİLİTE ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Ermedin TOTİÇ 295

Bölüm 18

BİG DATA PROCESSİNG MODEL AND DATA MİNİNG

Engin OĞUZAY..... 317



BÖLÜM 1

YAŞAM DÖNGÜSÜ YAKLAŞIMIYLA ENERJİ VE KAYNAK KULLANIMINI AZALTICI DÖNGÜSEL EKONOMİ UYGULAMALARI

Koray KARABULUT¹

¹ Doç. Dr., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler M.Y.O., Elektrik ve Enerji Bölümü, Doğalgaz ve Tesisatı Teknolojisi Programı, kkarabulut@cumhuriyet.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5680-0988

1. GİRİŞ

Gelişen ekonomiye sahip ülkeler başta olmak üzere dünyadaki gelişmiş ekonomili ülkelerin de artan kaynak ve enerji kullanımları ile ortaya çıkan atıklar, başta çevre problemi olmak üzere çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Bu sorunların başında giderek azalan sınırlı ölçüdeki hammadde ve hidrokarbon enerji kaynakları, artan navlun ücretleri, hammaddeye ulaşma konusunda yaşanan sıkıntılar, artan rekabet ve iklim değişikliğinin getirmiş olduğu öngörülmesi zor olan sonuçlar gelmektedir.

Bununla birlikte, gün geçtikçe artan çevre kirliliği ve iklim krizi sebebiyle ülkeler çeşitli çözüm yolları bulmaya çalışmaktadır. Üretim sürecinde ortaya çıkan her atığın değerlendirilerek hammadde ve enerji maliyetlerinin azaltıldığı ve bu sayede kaynak verimliliğinin artırıldığı sürdürülebilir bir üretim modeli olan döngüsel ekonomi yaklaşımı bu çözüm yollarının başında gelmektedir (Şekil 1).

Döngüsellik, bir ürünün yaşam döngüsü değerlendirmesine dayanmaktadır. Yaşam döngüsü ise bir ürünün hammaddesinin elde edilmesinden itibaren işlenmesi, üretilmesi, tüketiciye ulaştırılmasında kullanılan nakliye süreci, tüketici tarafından kullanılması ve yaşam sonu atık olarak uzaklaştırılmasına kadarki tüm süreçleri kapsayan çevresel etkilerinin göz önüne alındığı bir değerlendirme yöntemidir (Şekil 2).



Şekil 1. Döngüsel Ekonomi Uygulama Düzeni (İDER, 2020)

Yaşam döngüsü analizi ile;

- Ürünlerin yaşam döngülerinin her aşamasında çevreye verdikleri etkilerin belirlenmesine,
- Olası iyileştirmeler ve bunlarla ilgili yapılacak yatırımlar hakkında karar verme süreçlerine ışık tutmasına,
- Üretilen ürünlerin sürdürülebilirliklerinin karşılaştırılmasına,

- Çevre için olumsuz etkisi daha az olan ürünlerin teşvik edilmesine,
- Sürdürülebilirlik perspektifine dayalı planların hazırlanmasına önderlik edici etkiye,
- Çevre ile ilgili yönetim projelerinin karar alma aşamasına katkıda bulunulmasına,
- Yatırımdan elde edilen getirinin artırılmasına; olanak sağlanmaktadır.



Şekil 2. Bir Ürünün Yaşam Döngüsü Dairesi (SEMTRIO, 2022)

Avrupa Birliği'ne göre döngüsel ekonomi, kaynakların, malzemelerin ve ürünlerin sahip oldukları değerlerin ekonomide olabildiğince uzun tutulması, muhafaza edilmesi ve atık ürün oluşumunun en az seviyeye indirilmesini sağlamak için malzemeleri ve hizmet süreçlerini verimli şekilde kullanmayı amaç edinen bir yaklaşımdır.

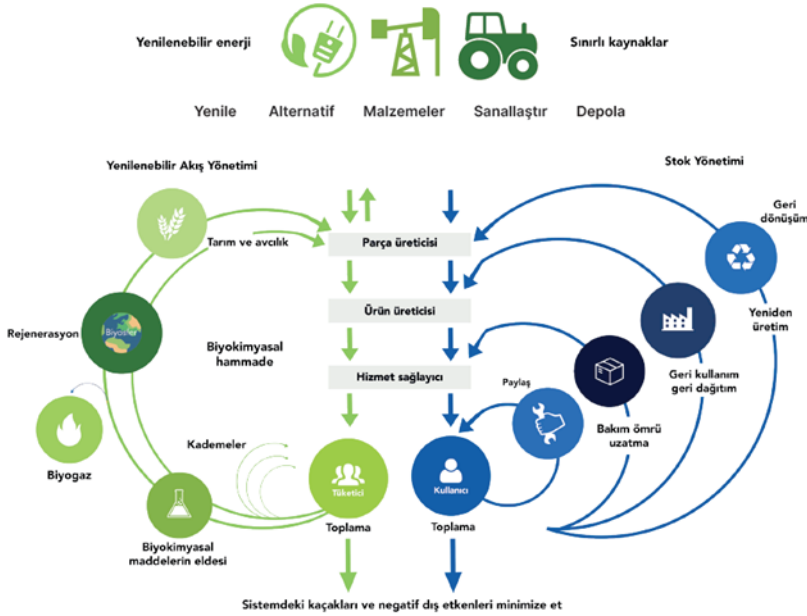
Ellen MacArthur Vakfı tarafından döngüsel ekonomi, Şekil 3' de gösterildiği gibi iki döngüden oluşan bir diyagram ile tanımlanmıştır. Bu döngü, kullanım sonrası oluşan atıkların doğaya dönüşümünün sağlandığı bir biyolojik döngü sürecinden ve ürünlerin, öğelerin veya malzemelerin gereksiz yere harcanmasını asgari düzeye indirecek şekilde tasarlandığı teknik bir döngü sürecinden oluşmaktadır. Böylece, ürün ve hizmetlerin çevreye olan etkileri de değer zinciri boyunca minumuma indirilmiş olmaktadır.

Var olan ekonomik yaklaşımımız daha çok al-kullan-at fikrine dayalı olan doğrusal ekonomi modeli temelinde olduğundan, döngüsel ekonomiyle birlikte,

- Maliyetlerin azaltılması
- Hammadde fiyat dalgalanmalarının azaltılması,

- Kaynakların daha az kullanılması ile büyüme,
- Ürünlerin üretilmesinde kullanılan enerji miktarının azaltılması,
- Rekabet gücü yüksek işletmeler,
- Yeni iş ortamlarının yaratılması ve böylece istihdamın artması,
- Sera gazı emisyonlarının ve gereksiz kullanımın azaltılması,
- Sürdürülebilir ürün ve hizmet ihracatı; fırsatlarından yararlanılabilir.

Bu kapsamda, yaşam döngüsü değerlendirmesiyle ürüne döngüsel bir yapı kazandırılması; doğrudan ilişkili olup aşağıda Avrupa Komisyonu'nun farklı açılardan döngüsellğe ait değerlendirmeleri bulunmaktadır.



Şekil 3. Ellen MacArthur Vakfı'nın Döngüsel Ekonomi Diyagramı (İDER, 2020)

2. SÜRDÜRÜLEBİLİR ÜRÜNLER TASARLAMAK

Biyokütle, hidrokarbon yakıtlar, metaller ve mineraller gibi malzemele-
rin gelecek kırk yıl içinde küresel tüketimi ikiye katlanacakken, 2050 yılına
kadar yılda üretilen atık miktarının %70 artması bekleniyor (OECD, 2018;
World Bank, 2018). Toplam sera gazı emisyonlarının yarısı, biyoçeşitlilik
kaybının %90'ından fazlası ve su stresi kaynak çıkarma ve işlemeden kay-
naklanırken, Avrupa Yeşil Anlaşması iklim açısından tarafsız, kaynakları
verimli kullanan ve rekabetçi bir ekonomi için uyumlu bir çalışma stratejisi
başlatmış bulunmaktadır (COM, 2019; CET, 2018).

Ürünlerin tasarım aşamasında %80'e varan çevresel etkileri belirlenirken, "hammaddeyi al-üret-kullan-at" doğrusal döngü modeli üreticilere ürettikleri ürünleri döngüsel hale getirmek amacıyla yeterli bir teşvik sağlayamamaktadır. Birçok ürün çok hızlı bir şekilde bozulur, kolayca yeniden kullanılamaz, onarılamaz veya geri dönüştürülemez ve birçoğu da sadece tek kullanım amacıyla yapılmaktadır. AB (Avrupa Birliği) girişimleri ve mevzuatı, hali hazırda zorunlu veya gönüllü olarak ürünlerin sürdürülebilirlik yönlerini genişletmeyi ele almaktadır. Özellikle, Eko-tasarım Direktifi ürünlerle ilgili enerji verimliliği ve birtakım döngüsellik özelliklerini tatmin edici olarak düzenlemektedir (DEPC, 2009). Bununla birlikte, AB Eko-etiketi veya yeşil kamu alımları gibi araçlar kapsam olarak daha geniştir ancak gönüllü yaklaşımların sınırlamaları nedeniyle etkisi azalmıştır (REPC, 2010). Aslında, tüm ürünlerin giderek daha sürdürülebilir hale geldiği ve döngüsellik testine dayandığı AB pazarına sunulmasını sağlamak için kapsamlı bir gereksinimler dizisi bulunmamaktadır. Ürünleri iklim açısından tarafsız, kaynak açısından verimli ve döngüsel bir ekonomiye uygun hale getirmek amacıyla atık miktarını düşürmek ve sürdürülebilirlik alanında öne çıkanların performansının git gide kural olarak benimsenmesini sağlamak için AB komisyonu sürdürülebilir bir ürün politikasını hukuksal hale getirme girişimini önerecektir. Bu yasama girişiminin özü, eko-tasarım direktifi çerçevesini enerjiyle ilgili ürünlerin ötesine taşıyarak olabilecek en kapsamlı ürün çeşidine uygulanabilir kılmak ve döngüselligi temin etmek olacaktır.

Bu hukuksal atılımın bir ögesi olarak ve uygun olduğunda bir araya getirici yasama teklifleri yoluyla komisyon, sürdürülebilirlik ilkelerini ve diğer uygun yolları aşağıdaki yönleriyle düzenlemeyi değerlendirecektir.

- Ürünün dayanıklılığını, yeniden kullanılabilirliğini, yükseltilebilirliğini ve onarılabilirliğini iyileştirmek, ürünlerdeki tehlikeli kimyasalların azaltılması, kaynak ve enerji verimliliğinin iyileştirilmesi;
- Ürünlerin başarısını ve güvenliğini sağlarken, ürünlerde var olan geri dönüştürülmüş içeriği artırmak;
- Yeniden üretime ve kalitesi yüksek geri dönüşüme olanak sağlamak;
- Karbon ve çevre ayak izlerini azaltmak;
- Tekil kullanımı kısıtlamak ve vaktinden önce eskimeye karşı koymak;
- Satılmayan dayanıklı malların imhasının yasaklanması;
- Hizmet olarak ürünü veya üreticilerin mülkiyeti elinde bulundurduğu diğer modelleri veya kullanım ömrü boyunca performansına ilişkin sorumluluğu teşvik etmek;
- Dijital pasaport, etiketleme ve filigranlar gibi çözümleri içeren ürün bilgilerinin dijitalleşme potansiyelini harekete geçirmek;

- Ürünleri yüksek performans seviyeleriyle teşvikleri ederek farklı sürdürülebilirlik performanslarına dayalı olarak ödüllendirmek (CEAP, 2021).

Bu Eylem planında, elektronik, iletişim, tekstil ve aynı zamanda mobilya ve yüksek etkili çelik, çimento ve kimyasallar gibi ara ürünler, değer zincirleri kapsamında belirlenen ürün gruplarının değerlendirilmesine öncelik tanınacaktır. Diğer ürün toplulukları ise çevreye olan etkileri ve döngüsellik potansiyelleri temel alınarak tespit edilecektir.

Bu yasama girişimi ve diğer tamamlayıcı-düzenleyici veya gönüllü yaklaşımlar, ürünleri yaşam döngüsünün çeşitli aşamaları boyunca düzenleyen mevcut araçlarla tutarlılığını iyileştirmeyi hedeflemektedir. AB komisyonunun amacı, ürün sürdürülebilirlik ilkelerini gelecek süreçte daha kapsamlı politika ve hukuki ilerlemelere önderlik edecek şekilde genişletmektir. Komisyon, ayrıca hızlı bir şekilde benimsenmesi de dâhil olmak üzere enerji ile ilgili ürünler için mevcut Eko-tasarım çerçevesinin etkinliğini ve bireysel ürün gurupları için yeni bir Eko-tasarım ve 2020-2024 Enerji Etiketleme Çalışma Planı uygulanmasını artıracaktır.

Ayrıca, komisyon; yeni ve sürdürülebilir ürün programının verimli ve etkili bir biçimde yürürlüğe konarak işletilmesine destek vermek için;

- Veri bağlantıları ve ürün bilgisiyle akıllı döngüsel gerçekleştirmeler için bir Avrupa ortak veri tabanı oluşturacak ve

- AB pazarına sunulan ürünler için özellikle uyumlu denetimler ve piyasa gözetimi eylemlerinde ulusal makamlarla işbirliği içinde sürdürülebilirliğin uygulanmasına ilişkin çabaları hızlandıracaktır.

2.1. ÜRETİM İŞLEMLERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR DÖNGÜSELLİK

Döngüsellik, endüstrinin iklim tarafsızlığına ve uzun süreçli rekabet gücüne kadar uzanan daha geniş bir dönüşümünün önemli bir ögesidir. Süreç, değer zincirleri ve üretim süresince önemli ölçüde madde tasarrufu sağlayabilmekle birlikte ekstra değer yaratıp ekonomik fırsatların kilidini açabilmektedir. Belirtilen hedeflerle birliktelik içerisinde ve Sanayi Stratejisine (CEAP, 2021) göre, komisyon sanayide daha fazla döngüsellığı aşağıda belirtildiği şekilde sağlamayı hedeflemektedir:

Gözden geçirme kapsamında endüstriyel işlemlerde döngüsellığı daha fazla özendirmek için seçeneklerin değerlendirilmesi ve döngüsel ekonomi uygulamalarının bütünleştirilmesi de dahil olmak üzere mevcut en iyi teknikler referans belgelerini içeren Endüstriyel Emisyonlar Direktifinin (DEPC, 2010) dikkate alınması;

Endüstri liderliğindeki bir raporlama ve sertifikasyon sistemi geliştirerek endüstriyel ortaklaşmayı kolaylaştırmak ve endüstriyel olarak çevre ile ortaklaşmanın uygulanmasını sağlamak;

Biyo-ekonomi Eylem Planının (COM, 2018) icra edilmesiyle döngüsel biyo-tabanlı sektöre destek vermek;

Kaynakların takibiyle birlikten haritalanması amacıyla dijital teknolojilerden faydalanılmasını özendirmek;

AB sertifika işareti olarak AB Çevre Teknolojisi Tasdikleme şemasını kaydederek uygulanabilir bir doğrulama sistemiyle yeşil teknolojilerden yararlanmayı özendirmek.

3. PİLLER VE ARAÇLARDAKİ DÖNGÜSELLİK

Sürdürülebilir piller ve araçlar, geleceğin hareketliliğinin temelini oluşturmaktadır. Komisyon, hızlı ilerlemek amacıyla elektro-hareketlilik için ortaya çıkan pil değer zincirinin sürdürülebilirliğini ve tüm pillerin döngüsel potansiyelini artırmak için yeni bir düzenleyici çerçeve önermektedir. Bu yasa teklifi, aşağıdaki unsurların dikkate alınmasıyla Piller Yönergesi' nin değerlendirilmesi (DEPC, 2006) ve Piller Anlaşması' nın çalışmasına göre temellendirilmektedir:

- Yeniden değerlendirilmiş içerik kuralları ve tüm pillerin toplanma ve geri dönüşüm miktarlarını iyileştirmeye, değerli maddelerin geri kazanılmasını sağlamaya ve tüketicilere önderlik etmeye yönelik tedbirler;
- Pillerin aşamalı olarak kullanımlarını sona erdirmek amacıyla yeniden şarj edilemeyen pillerin ele alınması için bulunan alternatifler;
- Piller için sürdürülebilirlik ve şeffaflık gereksinimlerini dikkate alarak pil üretiminin karbon ayak izi, hammaddelerin etik tedariki ve arz güvenliği, yeniden kullanım ve geri dönüşümü kolaylaştırmak.

Komisyon ayrıca, daha fazlasını teşvik etmek amacıyla tasarım konularını kullanım ömrü sonu tedavisine bağlayarak, zorunlu kuralların dikkate alınmasıyla döngüsel iş modelleri bileşenlerinin belirli ürünleri için yeniden değerlendirilmiş içerik ve geri dönüşüm verimliliğinin artırılması ve ömrünü tamamlamış araçlarla ilgili kuralların gözden geçirilmesini önermektedir. Bunun yanı sıra, atık yağların toplanması ve çevreye zarar vermemesi için en etkili önlemler komisyon tarafından dikkate alınmaktadır.

4. PAKETLEMEDE DÖNGÜSELLİK

Paketlemede kullanılan malzeme oranı devamlı yükselirken, 2017 yılında Avrupa' daki paketleme atığı kişi başına 173 kg ile en yüksek seviyeye çıkmıştır. 2030 yılına kadar AB pazarındaki tüm paketlerin ekonomik olarak

yeniden kullanılabilir veya geri dönüştürülebilir olmasını temin etmek amacıyla komisyon AB pazarında izin verilecek ambalaj için temel gereklilikler ve diğer önlemlerin olduğu zorunlu düzenlemeleri güçlendirmek için aşağıda belirtilen hususlara odaklanmaktadır:

- Hedefler ve diğer atık engelleme önlemleri de dahil olmak üzere ambalaj ve ambalaj atıklarının azaltılması;
- Belirli uygulamalarda bazı paketleme maddelerinin kullanımındaki kısıtlamaların da göz önüne alınmasını da içerecek şekilde özellikle alternatif yeniden kullanılabilir durumlardaki ürünlerin veya tüketim mallarının paketsiz olarak güvenli şekilde işlenebildiği, ambalajın yeniden kullanımı ve geri dönüştürülebilirliği için tasarımlar yapılması;
- Kullanılan polimerler ve malzeme miktarını da içerecek şekilde paketleme malzemelerinin karmaşıklık durumunun azaltılmasının düşünülmesi.

Komisyon ayrıca, pet kullanımı dışında gıda ile temasta olan plastik ürünlerin güvenli olarak geri dönüştürülmesi amacıyla kurallar oluşturmayı planlamaktadır.

5. PLASTİKLER İÇİN DÖNGÜSELLİK

Komisyon, geri dönüştürülmüş plastik talebini yükseltmek ve daha sürdürülebilir kullanımına katkı sağlamak amacıyla Döngüsel Plastikler İttifakı'nın faaliyetlerini de dikkate alarak paketleme, inşaat malzemeleri ve araçları gibi benzeri temel ürünler için geri dönüştürülmüş içerik ve atık azaltım önlemlerini kapsayan zorunlu gereksinimleri belirlemektedir.

Plastik çöpü azaltmaya yönelik önlemlere ek olarak çevredeki mikro-plastiklerin varlığı da aşağıda belirtildiği şekilde ele alınmaktadır:

- Avrupa Kimyasallar Ajansı'nın görüşü dikkate alınarak bilinçli olarak eklenen mikro-plastiklerin kısıtlanmasının ele alınması;
- Ürünlerin yaşam döngüsüyle ilgili tüm aşamalarında mikro-plastiklerin tutulumunu artırmayı içeren önlemler de dahil olmak üzere mikro-plastiklerin kasıtsız olarak salınımına yönelik düzenleyici önlemler ve etiketleme, standardizasyon ve sertifikasyonun gelişimi;
- Özellikle lastiklerden ve tekstillerden istemeden salınarak elde edilen mikro-plastikler hakkında veriler sağlayan deniz suyundaki mikro-plastik konsantrasyonlarının ölçüm yöntemlerini daha da geliştirerek uyumlu hale getirme yöntemleri;
- Çevrede, içme suyunda ve gıdalarda mikro-plastiklerin oluşumu ve riskiyle ilgili bilimsel bilgi boşluklarını kapatmaktır. Bunun yanında;

- Biyo-bazlı plastiklerin nerede kullanıldığının değerlendirilmesine dayalı olarak biyo-bazlı plastiklerin tedarik edilmesi, etiketlenmesi ve kullanılması; fosil kaynakların kullanımında azalmanın ötesine geçerek gerçek çevresel faydalar sağlamaktadır.

- Biyolojik olarak parçalanabilir veya gübrelenebilir plastiklerin çevreye yararlı olabilecek şekilde uygulamalarının değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bununla birlikte, bir ürünün çürüme için uygun olmayan çevre şartları veya yetersiz zaman sebebiyle plastik çöp veya kirliliğe sebep olacak şekilde elden çıkarılmasının ve “biyolojik olarak parçalanabilir” veya “çürürebilir” olarak etiketlenmenin tüketicileri yanıltmamasının sağlanması amaçlanmaktadır.

6. İKLİM TARAFSIZLIĞI KAPSAMINDA DÖNGÜSELLİK

İklim tarafsızlığını sağlamak için döngüsellik ve sera gazının azaltılması arasındaki uyumun iyileştirilmesi gerekmektedir. Bunu sağlamak için;

- Döngüsellüğün iklim değişikliğinin azaltılması ve adaptasyonu üzerindeki etkisinin nasıl olabileceğinin analiz edilmesi ve sistematik bir şekilde ölçülebilmesi;

- AB ve ulusal düzeylerde sera gazı emisyonunun azaltılmasında döngüsel ekonominin faydalarını yakalamak için modelleme araçları geliştirilmesi;

- Ulusal Enerjinin gelecekteki revizyonlarında ve İklim Planları ve uygun olduğunda diğer iklim politikalarında döngüsellüğün rolünün güçlendirmesinin teşvik edilmesi gerekmektedir.

Ayrıca, iklim tarafsızlığına ulaşmak, sera gazı emisyonlarını azaltmanın yanı sıra karbonun atmosferden uzaklaştırılmasını, serbest bırakılmadan önce ekonomimizde değerlendirilmesini ve daha uzun süreli depo edilmesini gerektirecektir. Ekosistemlerin yenilenmesi, ormanların korunması, ağaç sayısının artırılması, sürdürülebilir orman yönetimi ve örneğin ahşap konstrüksiyonda uzun süreli depolama yoluyla yapı malzemesinde mineralizasyon gibi ürünlerde karbonun yeniden kullanımı ve depolanmasıyla doğal olarak karbonun yok edilmesi sağlanabilir.

7. DÖNGÜSELLİK ADINA KÜRESEL DÜZEYDE ÖNDE GELEN ÇABALAR

Döngüsel bir ekonomiye küresel bir geçişi desteklemek için;

- Uluslararası düzeyde plastikler konusunda küresel bir anlaşmaya

varmak ve plastiklerin alımını teşvik etmek için döngüsel ekonomi yaklaşımı çabalarına öncülük etme;

- Küresel döngüsel ekonomi ittifakı önermek ve küresel bir döngüsel ekonomiyi ilerletmede yönetim boşlukları ve ileriye dönük büyük ekonomiler dahil olmak üzere ortaklık girişimlerinde bulunma ve

- Serbest ticaret anlaşmalarının döngüsel ekonominin gelişmiş hedeflerini yansıtmaması sağlama çabalarına destek olunmalıdır.

8. DÜNYADA ENERJİ VE KAYNAK KULLANIMINI AZALTICI DÖNGÜSEL EKONOMİ UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Döngüsel ekonomi yaklaşımında kullanım ömrünü tamamlamış ürünler, başka bir üretim döngüsü için hammadde kaynağı olarak düşünülmeli ve herhangi bir ürünün üretiminde kullanılmayan malzeme kayıpları en aza indirilmelidir. Bu nedenle, var olan ve potansiyel malzeme döngüleri belirlenerek hammaddelerin akılcı bir şekilde kullanılmaları tasarlanmalıdır. Bu kapsamda ürünler tasarlanırken; kaynak ihtiyaçlarını ve yaşam döngüsüne çevresel etkilerini minimum seviyeye indirmeyi amaç edinen eko-tasarım yaklaşımı temel alınmalıdır.

Ürünler ve üretim süreçleri tasarlanırken malzeme kullanımının azaltılması hem çevreye hem de üretici firmaya katkı sağlayacaktır. Ayrıca, fosil kaynaklı yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek ve hammadde satın almak yerine geri dönüştürülmüş malzeme kullanmak firmanın tedarik zincirini iyileştirecektir. Bununla birlikte, geleneksel üretim girdilerinin, geri dönüştürülebilir malzemelerle değişimini içeren döngüsel tedarik zinciri modeliyle firmalar atıkları minimize ederek veya ortadan kaldırarak maliyetten yana tasarruf sağlayabileceklerdir.

Firmaların üretim, çevre ve enerji süreçlerini bir bütün olarak ele alan döngüsel ekonomi uygulama örnekleri aşağıda belirtildiği gibi örnekendirilebilir.

- Küresel çapta faaliyet gösteren bir zemin kaplama üreticisi olan Tarket şirketi, atıklarını ve böylece iklim değişikliği üzerindeki etkilerini azaltmanın; çalışılan her sektördeki birlikteliğin sağlanmasına ve tedarik zincirine bağlı olduğu kanısındadır.

- İlk olarak 2009 yılında Hollanda’da açılarak faaliyetlerine başlayan Repair Cafe, bilgisayarların, bisikletlerin, mekanik ve elektrikli cihazların, kıyafetlerin ve diğer eşyaların gönüllü kişiler tarafından onararak; israf ve tüketimi azaltmayı, insanların tamir becerilerini ve bu konudaki farkındalıklarını artırmayı ve sosyal uyumu güçlendirmeyi hedeflemektedir. Ülkemizde de 2016 yılından beri İstanbul’da faaliyet göstermektedir.

- Elektronik ve oyun gibi ürünlerin daha uzun süre döngüde tutularak kullanılmasını sağlamak için müşterilerini ürünlerin iadesine teşvik eden bir şirket olan GameStop, bu sayede ürünlerin yenilenebilir ve tekrar satılabilir özellik kazanmasını sağlamaktadır.

- Ülkemizde de artık TSE tarafından ikinci el cep telefonu yenileme merkezleri için saptanan kurallar çerçevesinde; bu merkezlerde ikinci el cep telefonlarının varsa onarılması ve değiştirilmesi gereken parçaların değiştirilerek garantili ve güvenli bir şekilde kullanıcıya hazır hale getirilip, ekonomiye kazandırılarak döngüsel ekonomiye katkı sağlanmaktadır. Ayrıca, bu sayede bu ürünlerin tekrar üretilmesinde kullanılacak olan enerjiden de tasarruf sağlanarak çevresel sera gazı etkisi azaltılmaktadır.

- “Döngüsel Aydınlatma” özelliği fikrini taşıyan Hollandalı aydınlatma firması olan Philips, mümkün olan asgari maliyetli aydınlatma ekipmanları ile arzulanan parlaklık düzeyini sağlamaktadır. Kişi veya firmayla yapılan sözleşme sonunda aydınlatma sistemi artırılıp yeniden kullanılabilir veya geri dönüşüm için iadesi sağlanabilir. Şirket, bu model ile malzemelerin ve enerjinin gereksiz yere kullanımını ve çevresel etkilerini azaltarak; aydınlatma ürünlerinin kullanım ömrünü artıran ve sonraki kuşaklar için daha iyi bir gelecek sağlayan bir ekosistem oluşturduğu düşüncesindedir.

- Okyanuslarda bulunan plastik atıkları kullanan Pharrell Williams ve G -Star Raw şirketleri, plastikleri parçalayıp, biyonik iplik üreterek bunları liflere dönüştürüp kot pantolon ve tişörtler gibi giyilebilir ürünler üretilmesini sağlamaktadır.

- Yarı mamul alüminyum ürünler üreten Almanya’ daki Aleris Rolled Products firmasının alüminyum döküm işlemleri faaliyetleri sırasında ortaya çıkan atık ısısını; arpadan malt üreten ve kurutma süreci için yüksek miktarda ısıya ihtiyaç duyan bir komşu firma olan Avangard Malz AG kullanmaktadır. Böylece, iki şirket arasında bir ısı değişimi programı başlatılarak, malt tesisinin kurutma işlemi için doğal gaz ihtiyacı ortadan kalkmış ve alüminyum tesisinde ortaya çıkan atık ısı kullanılabilir bir hale getirilerek enerji kullanımı ve bu enerjinin çevresel etkileri azaltılmış olmaktadır (İDER, 2020).

- Ülkemizde önde gelen beyaz eşya üreticilerinden biri olan Arçelik, elektrik-elektronik sektöründe kaynak verimliliğine dayalı döngüsel ekonomi iş modellerini desteklemek amacıyla oluşturulmuş AB Ufuk 2020 projesi olan CSERVEES Projesine dahil olmasıyla bu kapsamda, döngüsel ekonomi iş modellerinin tasarlanmasını, tasarlanan modellerin test edilmesini ve uygulanabilirliklerinin ölçülmesini amaçlamıştır. Arçelik, projeye özel olarak televizyon arka kapaklarında ilk defa %30 oranında geri dönüştürülmüş PC-ABS malzemesi kullanarak 100 adet televizyon ve çamaşır makinesinde önceden kullanılmakta olan geri dönüştürülmüş PP malzeme miktarını proje için artırarak ilk defa iç kapakta geri dönüştürülmüş PP malzemesinin kulla-

nıldığı 100 adet çamaşır makinesi üretmiştir.

- Bunun yanı sıra Arçelik şirketi, geri dönüşüme uğramış pet şişeleri kullanarak ürettiği çamaşır makinesi ve yıkayıcı-kurutucu kazanı; geri dönüşüme uğramış PP malzemesini kullanarak ürettiği çamaşır makinesi deterjan kutusu ve pompa filtresi; buzdolaplarında petrol esaslı hammaddeler yerine şeker kamışı, mısır, soya, yumurta kabuğu gibi biyo-malzemesi kullanarak üretilen biyo-parçalar; dünyada ilk kez, ev tipi buzdolabı uygulaması için geliştirilen biyo-bazlı sert poliüretan köpük yalıtım malzemesi ve atık balık ağları kullanılarak elde edilen ve fırın üretiminde kullanılan yüksek performanslı sahip geri dönüştürülmüş polyamid bileşikler ile döngüsel ekonomiye dayalı iş modellerine katkıda bulunmaktadır.

- Ülkemizin sayılı cam ev eşyası üreticisi firmalarından biri olan Paşabahçe, sürdürülebilirlik yaklaşımı kapsamında gelecek nesillere daha iyi bir dünya bırakma hedefi doğrultusunda doğayı ve çevreyi koruma amacıyla kullanılmış cam ürünlerini geri dönüşüm kutularından topladıktan sonra özelliklerine ve ölçülerine göre ayrıştırarak gerekli işlemlerden geçirip; doğanın korunmasına katkıda bulunmakta ve ayrıca, karbon ayak izi ve endüstriyel atık miktarını azaltarak; yeni hammadde ihtiyacını da ortadan kaldırmaktadır.

- Ufuk 2020 Çevre ve Hammaddeler programı kapsamında desteklenen FISSAC projesiyle sektörler arası sanayi atıkları veya yan ürünlerinin çimento, seramik, vb. yapı malzemeleri üretiminde alternatif hammadde ürünü olarak yararlı bir şekilde kullanılması sağlanarak; atık üretiminde %15 azalma, atık arıtımı verimliliğinde yıllık 2,5 milyon avroya karşılık gelen %12' lik kazanç ve enerji verimliliğinde ise %20' lik artış hedeflenmektedir. Ayrıca, bu proje sıfır atık yaklaşımı ile döngüsel ekonomiye geçilmesini temin edecek yenilikçi bir sanayisel ortak yaşam yaklaşımı geliştirilmesini ve uygulanmasını amaçlamaktadır. Projede, kullanılacak olan endüstri atıklarıyla üretilen yeni ekolojik çimento, yeşil beton, yenilikçi seramik karolar ve kauçuk ahşap plastik kompozitlerin üretim çalışmaları sırasında ulaşılan veriler, yerli sanayimizde uygulama sahaları oluşturulması bakımından önem arz etmektedir.

- Ülkemizde alternatif yakıtlar ve ikincil hammadde ürünü kullanımı gibi döngüsel iş modellerini artırmak için önemli bir potansiyel bulunmakta olup, artan nüfus ve sanayi sektörü dikkate alındığında kirliliğin önlenmesi ve atıkların asgari düzeye indirilmesi, ülkemiz için başlıca kalkınma zorluklarını oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra, ülkemizde döngüsel ekonomi olgusu hızla önem kazanırken; bu konudaki faaliyetlerin günden güne artacağı da öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- Cambridge Econometrics, Trinomics, and ICF (CET), 2018. Impacts of Circular Economy Policies on the Labour Market, <http://trinomics.eu/wp-content/uploads/2018/07/Impacts-of-circular-economy-on-policies-on-the-labour-market.pdf>, (Erişim tarihi: 08.04.2022).
- Circular Economy Action Plan (CEAP), 2021. https://ec.europa.eu/environment/pdf/circular-economy/new_circular_economy_action_plan.pdf, (Erişim tarihi: 08.04.2022).
- COM(2018)763, 2018. Commission Implementing Regulation (EU), <https://www.legislation.gov.uk/eur/2018/763/contents>, (Erişim tarihi: 09.04.2022).
- COM(2019)640, 2019. The European Green Deal, <https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vl4cnhyplort>, (Erişim tarihi: 07.04.2022).
- Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 (DEPC), 2006. Batteries and Accumulators and Waste Batteries and Accumulators and Repealing Directive, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006L0066-20180704>, (Erişim tarihi: 10.04.2022).
- Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 (DEPC), 2009. Establishing A Framework for the Setting of Eco-design Requirements for Energy-Related Products, <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2009/125/oj>, (Erişim tarihi: 05.04.2022).
- Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 (DEPC), 2010. Industrial emissions (integrated pollution prevention and control), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32010L0075>, (Erişim tarihi: 09.04.2022).
- İşletmeler için Döngüsel Ekonomi Rehberi (İDER), 2020. Nereden Başlanmalı ?. https://business4goals.org/PDF/Dongusel_Ekonomi_Rehberi.pdf, (Erişim tarihi: 06.04.2022).
- OECD(2018). Global Material Resources Outlook to 2060, <https://www.oecd.org/publications/global-material-resources-outlook-to-2060-9789264307452-en.htm>, (Erişim tarihi: 05.04.2022).
- Regulation (EC) No 66/2010 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2009 (REPC), 2010. on the EU Ecolabel, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010R0066>, (Erişim tarihi: 05.04.2022).
- Sustainable Environmental Management (SEMTRIO), 2022. Yaşam Döngüsü Raporu, <http://www.yasamdongusuraporu.com/>, (Erişim tarihi: 07.04.2022).
- World Bank (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050, <https://olc.worldbank.org/content/what-waste-20-global-snapshot-solid-waste-management-2050>, (Erişim tarihi: 07.04.2022).



BÖLÜM 2

SANAYİ FİRMALARINDA TEHLİKELERİN BELİRLENMESİ VE OLASI RİSKLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ- FİNE-KİNNEY METODU İLE BİR UYGULAMA

Kübra TÜMAY ATEŞ¹

¹ Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü,
Adana, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3337-7969), ktumay@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Tesislerde risk değerlendirmesi, iş kazalarının önlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu kapsamda 6331 sayılı kanun ilgili maddelerine dayanarak, ülkemizde iş yerlerinde risk analizi yapılması zorunlu hale gelmiştir. Risk değerlendirmesi sayesinde iş güvenliği açısından uyulması gereken hususlar önem sırasına göre sıralanır ve bu şekilde bir risk önleme planı oluşturulur. Risk değerlendirmesi ve ortaya çıkan sonuçlara göre yapılan bu işlemler sonucunda iş kazalarını önleme oranı yükselmektedir. Her işyerinin kendine göre farklı tehlikeleri olduğu için her tesis ve her işyerinde uygulanabilecek bir risk değerlendirme yöntemi bulunmamaktadır.

Hangi risk değerlendirme yönteminin seçileceğine karar verilirken tesisin tehlike sınıfı, o tesiste gerçekleştirilen işlemler, üretilen ürünler, bu ürünler için sağlanan çevre koşulları, tesisin büyüklüğü gibi faktörler dikkate alınır. Ancak bu şekilde verimli ve doğru bir değerlendirme yapılmakta ve hem maliyet hem de işçilik açısından en doğru kararlar verilmektedir. (Akyüz, 2016; Bağdatlı ve Kılıç, 2020). Doğru risk değerlendirme yönteminin seçilmesi, iş kazaları ve meslek hastalıklarının önlenmesine, tesislerde güvenli bir çalışma ortamının sağlanmasına, sağlık harcamalarının azaltılmasına ve kalite düzeyinin artırılmasına katkı sağlayacaktır. Gelecekte olası kazaları önceden tahmin etmek ve kaza riskine neden olacak faktörleri ortadan kaldırmak için risk değerlendirmesi son derece önemlidir. İşletmelerin sağlıklı bir çalışma ortamında üretim yapabilmeleri, işletmelerde iş akışına bağlı olarak çalışan veya araç-gereçlerde oluşabilecek kaza risklerini önceden tahmin edebilmek ve buna yönelik risk faktörlerini tamamen ortadan kaldırabilmek için önemlidir (Rausand, 2013).

Risk değerlendirme metotları kapsamında birçok model olup bunlar; Karar Matrisi Risk Değerlendirmesi, Dinamik Olay Ağacı Analizi, Tehlike Ve İşlerlik Çalışmaları, Fine-Kinney Modeli, Neden-Sonuç Analizi, Arıza Modları Ve Etkileri Analizi, Hata Ağacı Analizi (Kinney ve Wiruth, 1976; Bas, 2014; Chi vd, 2014), İnsan Güvenilirlik Değerlendirmesi Teknikleri (HRA) (Fang vd 2020; Rausand, 2013; Khanzode vd, 2012) Ön Risk Analizleri gibi metotlarla örneklendirilebilir (Ishteyaque vd, 2018; Zarei vd, 2017; Komljenovic vd, 2008; Swuste vd, 1997).

Tüm bu metotlar arasından Fine-Kinney modeli, çeşitli alanlarda risk tanımlama ve değerlendirme problemlerini ele almak için yararlı bir araç olarak kabul edilen en yaygın şekilde benimsenen klasik mesleki risk analizi tekniklerinden biridir (Wang vd, 2022). Bu model, çeşitli alanlarda potansiyel tehlike riskini belirlemek amacıyla kullanılmıştır.

Kokangül vd, (2017) Fine-Kinney ve AHP'yi birlikte uygulayarak bir imalat şirketinde risk değerlendirmesi yapmıştır. Her risk kategorisine öncelik vermek için AHP kullanılmış ve risk sınıfını değerlendirmek için Fi-

ne-Kinney metodu uygulanmıştır.

Oturakçı vd, (2015) geleneksel yöntemde kullanılan olasılık ve frekans ölçekleri için alternatif ölçekler oluşturarak Fine-Kinney’i geliştirmek için bir çalışma yapmıştır. Böylece risk puanları artırılarak duyarlılıkları ve önem dereceleri artırılmıştır.

İlbahar vd, (2018) daha doğru bir risk değerlendirmesi sağlamak için Fine-Kinney, Pisagor bulanık AHP ve bir bulanık çıkarım sisteminden oluşan Pisagor Bulanık Orantılı Risk Değerlendirmesi (PFPPRA) olarak adlandırılan yeni entegre bir yaklaşım önermiştir.

Gül vd, (2018) BVIKOR ile BAHF’yi içeren yeni bir risk değerlendirme yaklaşımı gerçekleştirmiştir. Fine-Kinney’de dikkate alınan risk parametrelerinin ağırlıklandırılması için BAHF yapıldı. BVIKOR yöntemi kullanılarak tehlikelerin öncelikleri belirlendi. Son olarak, önerilen yaklaşımın sonuçları geleneksel Fine-Kinney ve TOPSIS ile karşılaştırılmıştır.

Bir uzmanın, risk değerlendirmedeki belirsiz ifadesi Fine-Kinney’in geliştirilmesinde en popüler konulardan biri haline gelmiştir (Gül ve diğerleri, 2021). Böyle bir durumda, Fine-Kinney modeli için risk değerlendirme ve önceliklendirme prosedürlerine bulanık kümelerle dayalı belirsiz bilgi ifadeleri dahil edilebilmektedir. Örneğin, Yang vd, (2020) okyanus kazası etki faktörlerinin risk katkısına göre öncelik sıralamasını belirlemek için hibrit bulanık bir Fine-Kinney yaklaşımı önermiştir.

İş güvenliği risk analizi yapmak için Gül ve Ak (2020), TFN’leri Fine-Kinney modeline entegre ederek bir risk değerlendirme modeli önermiştir.

Wang vd, (2021) risk değerlendirme sürecinde karar vericilerin karmaşık ve belirsiz risk bilgilerine neden olabilecek heterojen risk tercihlerine ve aynı dilsel risk değerlendirme bilgisine ilişkin farklı anlayışa sahip olabileceğini bildirmiştir.

Tang vd, (2021) Fine-Kinney modelinin uygulanmasında uzmanların belirsiz risk derecelendirme bilgilerini tanımlamak için aralık değerli tip-2 bulanık kümeleri (IT2FS) çalışmalarında uygulamıştır.

2. MATERYAL ve METOT

1976’da Kinney ve Wiruth tarafından geliştirilen Fine Kinney metodu bir nicel risk değerlendirme yöntemidir (Wang vd, 2018; Kinney ve Wiruth, 1976). Bu yaklaşım, belirli bir tehlikenin dayattığı risk, (R) tehlikeli olayın gerçekten meydana gelme olasılığıyla, (O) bu olaya maruz kalmayla (F) ve bu olayın olası sonuçlarıyla (Ş) birlikte artan olarak alınabilir. Risk hesaplamaları için bu üç faktörün her birine sayısal değerler atanır. Daha sonra, bu üç ayrı faktörün ürünü olarak genel bir risk puanı hesaplanır. Sayısal değer-

ler, keyfi olarak seçilmiş olsalar da, kendi içinde tutarlıdır ve birlikte, genel risk için gerçekçi ancak göreceli bir puan sağlarlar (Denklem 1).

$$R(\text{Risk}) = O(\text{Olasılık}) * Ş(\text{Şiddet}) * F(\text{Frekans}) \quad (\text{Denklem 1})$$

Yukarıda açıklanan parametrelerin (Denklem 1) matematiksel karşılıkları (Risk Dereceleri) Tablo 1,2 ve 3’de detaylı bir şekilde verilmiştir (Kinney and Wiruth, 1976).

Çalışmada bir sanayi firmasının genel risk değerlendirmesi yapılmıştır. Uzman görüşleri ve literatürden toplanan bilgiler ile birlikte olası tehlikeler belirlenerek her bir tehlikeye ait risk değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan risklerin “çok yüksek riskli olması” kategorisi çalışma için bir kısıt olarak belirlenerek bu tehlikeler ve alınabilecek önlemler üzerinde yoğunlaşmıştır.

Tablo 1. Tehlikeli olayın olasılık değerleri

OLASILIK	
Derece	Zararın Gerçekleşme Olasılığı
10	Beklenir, kesin
6	Yüksek, oldukça mümkün
3	Olası
1	Mümkün fakat düşük
0.5	Beklenmez fakat mümkün
0.2	Beklenmez

Tablo 2. Maruz kalma faktörü değerleri

Frekans	
Derece	Tehlikeye Zaman İçinde Maruz Kalma Tekrarı
10	Hemen Hemen Sürekli (Bir Saatte Birkaç Defa)
6	Sık (Günde Bir Veya Birkaç Defa)
3	Ara Sıra (Haftada Bir Veya Birkaç Defa)
2	Sık Değil (Ayda Bir Veya Birkaç Defa)
1	Seyrek (Yılda Birkaç Defa)
0.5	Çok Seyrek (Yılda Bir Veya Daha Seyrek)

Tablo 3. Olası sonuçlar için değerler

Şiddet	
Derece	İnsan / Çevre Üzerinde Yaratacağı Tahimini Zarar
100	Birden fazla ölümlü kaza/Çevresel felaket
40	Öldürücü kaza / ciddi çevresel zarar
15	Kalıcı hasar/yaralanma, iş kaybı
7	Önemli hasar/yaralanma, dış ilk yardım ihtiyacı
3	Küçük hasar/yaralanma, dahili ilk yardım
1	Ucuz atlatma / çevresel zarar yok

Tablo 4. Risk puanı tanımları

Risk Değerlendirme Sonucu		
Risk Değeri	Risk Öncelik Sırası	Riskin Tanımı
$R \geq 400$	1	Tolerans Gösterilemez (Çok Yüksek) Risk) (Hemen Gerekli Önlemler Alınmalı/Veya İşin Durdurulması, Tesisin, Binanın Kapatılması Vb. Düşünülmelidir)
$400 > R \geq 200$	2	Esaslı (Yüksek) Risk) (Kısa Dönemde İyileştirilmelidir “Birkaç Ay İçerisinde”)
$200 > R \geq 70$	3	Önemli Risk (Uzun Dönemde İyileştirilmelidir “Yıl İçerisinde”)
$70 > R \geq 20$	4	Olası Risk (Gözetim Altında Uygulanmalıdır)
$20 > R$	5	Önemsiz Risk (Önlem Öcelikli Değildir)

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bir sanayi firmasındaki tüm bölümlerin genel risk değerlendirmesi yapılmıştır. Uzman ile yapılan değerlendirmeler ve taranan literatür verileri sonucunda fabrika genelinde 21 tehlike belirlenmiştir. Bu tehlikelere ait risk puanlarının her biri hesaplanarak risk önleyicilik sıraları Tablo 5’de verilmiştir. Risk değerlendirmesi yapılırken işletmedeki durum ve yapılan analizler; bölüm, tehlike, tehlikeden etkilenen, risk durumu ve mevcut durum olarak kategorilere ayrılmıştır.

Buna göre Tablo 5’te risk tanımı “çok yüksek riskli” kategorisine giren bölüm; Genel 1,4,9,11,21’e ait tehlikelerdir. Bu tehlike grubundan etkilenen

kişiler ise firmadaki çalışanlar, ziyaretçiler, taşeron firma personeli ve tedarikçiler olarak belirlenmiştir.

Ayrıca “yüksek risk” kategorisine giren tehlikelere ait bölüm; Genel 3,5,7,8,10,17’e aittir. Bu bölümlere ait olan tehlikeler çok ciddi can ve mal kaybı olabilecek durumları içerir ve risk tanımlarına göre $R \geq 400$ olduğu için bu tehlikelere mutlaka önlem alınması gerekmektedir. Çok yüksek risk kategorisi dikkat çekmek amacıyla ayrıca kırmızı ile boyanmıştır.

Tüm tehlikeler, risk kategorileri ve risk puanları belirlendikten sonra düzenleyici önlemler alınarak Tablo 6’da yeniden risk değerlendirmesi oluşturulmuştur. Buna göre alınan önlemlerden sonra sanayi firması için risk tanımları iyi yönde değişmiştir. Önerilen önlemlere uyulması durumunda risk tanımlamalarında ciddi bir iyileşme oluşabilecek ve tehlikelerden etkilenen kişi kategorisi işveren/işveren vekili olarak değişebilecektir. Alınan önlemler sayesinde tehlikeler oluşmadan önce önlenilecek veya kaynağından ortadan kaldırılabilir.

Tablo 5. Firmadaki Mevcut Durum ve Risk Değerlendirmeleri

Bölüm	Faaliyet	Tehlike	Etkilenen	Risk	Mevcut Durum	Mevcut Durumu Göre Riskin Değerlendirilmesi				Risk Önceliklik Sırası	Riskin Tanımı
						O	F	Ş	R		
Genel-1	Bakım onarım	Bakım onarım yapılması esnasında elektrik çarpması	Çalışanlar/ Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/ Tedarikçiler	yaralanma,uzuv kaybı,ölüm	Bakım onarım prosedürü ve kilitleme etiketleme uygulaması yoktur.	6	6	15	540	1	Çok Yüksek Risk
Genel-2	Bakım onarım	Bakım onarım yapılması esnasında elektrik çarpması	Çalışanlar/ Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/ Tedarikçiler	yaralanma,uzuv kaybı,ölüm	Elektrik ile çalışma iş izin formları kullanılmamaktadır.	6	6	15	540	1	Çok Yüksek Risk
Genel-3	Kamyonlara malzeme yüklenmesi/indirilmesi	Yüksekte çalışma	Çalışanlar, tedarikçiler, taşeron firma çalışanları	Düşme sonucu yaralanma, ağır yaralanma	Hurda malzemelerin yüklenmesi esnasında taşeron firma çalışanları kamyon üzerine çıkarak emniyetsiz çalışma yapmaktadır. Sevkiyat için gelen kamyon/tır dorse çadırı açıp-kapama esnasında yüksekte emniyetsiz çalışma yapılmaktadır.	3	2	15	90	3	Önemli Risk
Genel-4	İşletme Faaliyetleri	Çalışma ortamında sigara içilmesi	Çalışanlar/ Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/ Tedarikçiler	Yangın/yaralanma	Sigara içildiği gözlenmiştir	6	6	40	1440	1	Çok Yüksek Risk
Genel-5	İşletme Faaliyetleri	Kimyasal maddelerle temas	Çalışanlar/ Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/ Tedarikçiler	İş günü kayıplı kazalar,yaralanma,-patlama	Kimyasal maddeler mevcuttur.	6	3	7	126	3	Önemli Risk

Genel-6	İşletme Faaliyetleri	Kaygan zemin	Çalışanlar/ Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/ Tedarikçiler	Kayıp düşme sonucu yaralanma	Zeminin kaygan olduğu yerler mevcuttur.	1	3	15	45	4	Olası Risk
Genel-7	Acil durumlar	Acil Eylem Planının Olmaması sonucu acil duruma müdahale edememe	Çalışanlar/ Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/ Tedarikçiler	Yaralanma,Maddi hasar,ölüm	Acil Eylem Planı Mevcut	1	3	40	120	3	Önemli Risk
Genel-8	Acil durumlar	Acil Durum Ekiplerinin Olmaması sonucu acil Duruma müdahale edememe	Çalışanlar/ Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/ Tedarikçiler	Yaralanma,Maddi hasar,ölüm	Acil durum ekipleri mevcut, ancak güncelleme yapılmamıştır.	1	3	40	120	3	Önemli Risk
Genel-9	Acil durumlar	Acil durum tatbikatları yapılmaması	Çalışanlar/ Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/ Tedarikçiler	Yaralanma,Maddi hasar,ölüm	Tatbikat yapılmamıştır.	3	6	40	720	1	Çok Yüksek Risk
Genel-10	Sağlık muayeneleri	Çalışanların sağlık muayenelerinin eksik olması sonucu meslek rahatsızlıkları	Çalışanlar/ Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/ Tedarikçiler	Meslek hastalığı	Çalışanların sağlık muayeneleri mevcut	1	3	40	120	3	Önemli Risk
Genel-11	Yangın Söndürme Ekipmanları	Yangın söndürme tüplerinin öntü kapalı olması	Çalışanlar/ Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/ Tedarikçiler	Yangın,yaralanma, ölüm	Yangın söndürme tüplerinin öntü kapatılmıştır.	3	6	40	720	1	Çok Yüksek Risk
Genel-12	Yangın Söndürme Ekipmanları	Yangın hidrant hattına gelen suyun şebeke suyundan ayrı olmaması	Çalışanlar/ Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/ Tedarikçiler	Yangına müdahale edememe	Yangın tankından bahçe sulama aynı hattan yapılmaktadır.	3	3	15	135	3	Önemli Risk
Genel-13	Jeneratör	Acil durdurma tertibatların olmaması	Çalışanlar/ Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/ Tedarikçiler	Jeneratöre müdahale edememe, tehlikenin büyümesi, yangı, patlama	Jeneratör sisteminde acil durdurma tertibatı vardır.	1	3	15	45	4	Olası Risk
Genel-14	Jeneratör	Jeneratörün bulunduğu oda veya bölümlerde havalandırmanın yetersiz olması	Çalışanlar/ Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/ Tedarikçiler	Havanın yetersiz olması, zehirlenme	Jeneratör açık alandadır	1	3	15	45	4	Olası Risk
Genel-15	Jeneratör	Jeneratör hattına bağlı elektrik kablolarının uygun olmaması	Çalışanlar/ Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/ Tedarikçiler	Elektrik çarpması	Kablolar yalıtımlıdır.	1	3	15	45	4	Olası Risk
Genel-16	Jeneratör	Jeneratör için topraklama hattının olmaması	Çalışanlar/ Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/ Tedarikçiler	Elektrik çarpması	Jeneratör ekipmanında topraklama vardır.	1	3	15	45	4	Olası Risk
Genel-17	Jeneratör	Jeneratörün çalışırken yakıt ikmalinin yapılması	Çalışanlar/ Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/ Tedarikçiler	Patlama, yaralanma, maddi hasar	Çalışma sırasında yakıt ikmalinin yapılmaması konusunda talimat veya uyarı levhası yoktur.	3	3	15	135	3	Önemli Risk
Genel-18	Jeneratör	Jeneratör çevresinde, yakınında yanıcı malzeme bulunması	Çalışanlar/ Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/ Tedarikçiler	Yangın, yaralanma, maddi hasar	Yanıcı, parlayıcı malzeme yoktur.	1	3	15	45	4	Olası Risk

Ge-nel-19	Jeneratör	Jeneratör ekipmanında gerekli uyarı ve ikaz işaretlerin olmaması	Çalışanlar/ Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/ Tedarikçiler	Bilinçsiz çalışma ve müdahale, yaralanma	Uyarı ve ikazlar mevcuttur.	1	3	15	45	4	Olası Risk
Ge-nel-20	Jeneratör	Jeneratör etrafının açık olması	Çalışanlar/ Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/ Tedarikçiler	Elektrik çarpması sonucu yaralanma, ölüm	Jeneratör etrafı açıktır.	3	3	40	360	2	Yüksek Risk
Ge-nel-21	Doğalgaz hatları	Etrafının açık olması	Çalışanlar/ Ziyaretçiler/ Taşeron firma personeli/ Tedarikçiler	Parlama, patlama	Güvenlik kulübesi arkasındaki doğal gaz hattı etrafı açıktır	3	6	40	720	1	Cok Yüksek Risk

Tablo 6. Firmada Düzenleyici Önlemler Alınmasından Sonra Risk Değerlendirmesi

Bölüm	Düzenleyici Önlem	Sorumluluk	Düzenleyici Önleyici Faliyet Sonrası Planlanan Riski Değerlendirmesi				Risk Önceliklik Sırası	Riskin Tanımı
			O	F	Ş	R		
Genel-1	Bakım / Onarım çalışmalarında alınması gereken tedbirler: 1. Makine / Ekipman bakım çalışmalarında; genel bir çalışma prosedürü hazırlanmalı ve çalışanlara tebliğ edilmelidir. 2. Bakım öncesi makine veya ekipmana gelen tüm enerji bağlantıları kesilmeli ve EKED (Etiketle- Kilit- Emniyete Al- Dene) uygulaması yapılmalı ve EKED ekipmanları kullanılmalıdır. 3. Bakım perspnellerine EKED uygulamalarına yönelik eğitim verilmelidir.	işveren/ işveren vekili	0.2	0.5	15	1.5	5	Önemsiz Risk
Genel-2	Bakım / Onarım elektrik çalışmalarında; 1. Bakım onarım prosedürü hazırlanmalı ve prosedüre uygun çalışmalar yapılmalıdır. 2. Elektrik vb. çalışmalarda iş izin formları kullanılmalı, gerekli tedbirler alınmadan ve çalışma onayı alınmadan çalışma yapılmamalıdır.	işveren/ işveren vekili	0.2	0.5	15	1.5	5	Önemsiz Risk

Genel-3	Hurda yüklemeleri esnasında forkliftin yükleyebildiği kadar malzeme hurda aracı kasasına yüklenmelidir. Hurda aracı yüklenmesi esnasında hurda aracı üzerinde ve içerisinde hiçkimse olmamalıdır. Sevkiyat için gelen araçların çadır açma kapama işleri uygun platformlar, merdivenler ile yapılmalıdır. Yüksekte yapılan çalışmalar için standartlara uygun paraşüt tipi emniyet kemeri takılmalıdır. Tır/kamyon gibi araçların üzerinde çalışma yapılmasına izin verilmemelidir.	işveren/ işveren vekili	0.2	0.5	40	4	5	Önemsiz Risk
Genel-4	İşletme içerisinde sigara içme kesinlikle yasaklanmalıdır. İşletmede açık ortamlarda güvenli yerlerde sigara içme alanları belirlenmelidir. Çalışanlara veya gelen misafirlere sigara içme alanlarıyla ilgili gerekli bilgilendirmeler yapılmalıdır.	işveren/ işveren vekili	0.2	0.5	7	0.7	5	Önemsiz Risk
Genel-5	Kimyasal maddelerin malzeme güvenlik bilgi formları (msds) olmalı ve standartlara uygun şekilde depolanmalıdır.	işveren/ işveren vekili	0.2	0.5	15	1.5	5	Önemsiz Risk
Genel-6	Kaygan olan zeminlerde; 1. Temizlik vb. çalışmalar için zemin derhal kurutulmalı, kaygan zemin uyarı levhaları bulunmalıdır. 2. Yağ vb. kaygan etkisi oluşturan sıvıların zemine dökülmesi durumunda kum, talaş gibi malzemeler kullanılarak gerekli önlemler alınmalıdır.	işveren/ işveren vekili	0.2	0.5	40	4	5	Önemsiz Risk
Genel-7	Zeminde alması gereken uygulamaların yanında uyarı levhalarıyla bilgilendirme yapılmalıdır.	işveren/ işveren vekili	0.2	0.5	40	4	5	Önemsiz Risk
Genel-8	Acil durum ekiplerinde değişimler olduğunda yenilemeler yapılmalıdır.	işveren/ işveren vekili	0.2	0.5	40	4	5	Önemsiz Risk
Genel-9	Yılda bir periyodik olarak tüm personellerin katıldığı Acil durum tatbikatları yapılmalıdır.	işveren/ işveren vekili	0.2	0.5	40	4	5	Önemsiz Risk
Genel-10	İş yeri hekimi gözetiminde işe girişlerde ve periyodik olarak sağlık muayeneleri yapılmalıdır.	işveren/ işveren vekili	0.2	0.5	40	4	5	Önemsiz Risk
Genel-11	Yangın dolaplarının önleri açık olmalı, önlerinde hiçbir engel olmamalı, kolay ulaşılabilir olmalıdır.. Yangın söndürücüler yerden 90 cm yüksek olacak şekilde asılı bulundurulmalı, herkesin göreceği şekilde konumlandırılmalı ve uygun levhalar ile işaretlenmelidir.	işveren/ işveren vekili	0.2	0.5	15	1.5	5	Önemsiz Risk

Genel-12	Yangın hidrantında şehir şebeke suyu ile yeterli debi ve basıncın sağlanamaması durumlarına karşı ayrı bir yangın tankı ve hattı oluşturulmalıdır. Oluşturulan yangın tankı hidrofor genişleme tankı vb basınçlı ekipmanlar ile desteklenmeli, mevzuatın belirttiği debi ve basınç sağlanmalıdır.	işveren/ işveren vekili	0.2	0.5	15	1.5	5	Önemsiz Risk
Genel-13	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği Ek-1: İş ekipmanının tehlikesi ve normal durma süresinin gerektirmesi halinde iş ekipmanında acil durdurma sistemi bulunur. Bu nedenle jeneratör ekipmanlarında acil durumlara karşı enerjiyi doğrudan kesecek acil durdurma sistemleri bulunmalıdır.	işveren/ işveren vekili	0.2	0.5	15	1.5	5	Önemsiz Risk
Genel-14	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği Ek-1: Gaz, buhar, sıvı veya toz çıkarma tehlikesi olan iş ekipmanları, bunları kaynağında tutacak veya çekecek uygun sistemlerle donatılır. Bu nedenle jeneratörün çalışma esnasında açığa çıkan egzost vb zararlı gaz / buharların absorbe edilmesi için uygun havalandırma sistemleri veya vakumlu sistemler kullanılmalıdır.	işveren/ işveren vekili	0.2	0.5	15	1.5	5	Önemsiz Risk
Genel-15	Jeneratör hattında kullanılan tüm elektrik kabloların yalıtımlı olmasına dikkat edilmelidir.	işveren/ işveren vekili	0.2	0.5	15	1.5	5	Önemsiz Risk
Genel-16	Jeneratör ekipmanı için olası elektrik kaçağı durumlarına karşı harici gövde topraklaması yapılmalıdır.	işveren/ işveren vekili	0.2	0.5	15	1.5	5	Önemsiz Risk
Genel-17	Jeneratörün çalışması sırasında kesinlikle yakıt ikmali yapılmamalıdır. Gerekli ikaz ve uyarılar ekipman yakınına asılmalı, çalışanlar bilgilendirilmelidir.	işveren/ işveren vekili	0.2	0.5	15	1.5	5	Önemsiz Risk
Genel-18	Jeneratör yakınında kesinlikle yanıcı ve parlayıcı malzemeler bırakılmamalıdır. Ekipman yakınında kesinlikle sigara içilmemelidir.	işveren/ işveren vekili	0.2	0.5	15	1.5	5	Önemsiz Risk
Genel-19	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği Ek-1: İş ekipmanlarında, çalışanların güvenliğinin sağlanmasında esas olan ikaz ve işaretler bulunur. Bu nedenle jeneratör ekipmanında gerekli uyarı ikaz levhaları bulunmalı, çalışanlar bilgilendirilmelidir.	işveren/ işveren vekili	0.2	0.5	40	4	5	Önemsiz Risk
Genel-20	Jeneratör etrafı çitlerle kapatılmalı ve kapısı kilitli olmalıdır. Yetkisiz kişilerin jeneratöre ulaşması önlenmelidir	işveren/ işveren vekili	0.2	0.5	40	4	5	Önemsiz Risk

Genel-21	Doğalgaz hatlarının etrafı çitlerle uygun yükseklikte kapalı olmalıdır. Uyru levhaları asılmalıdır. Yetkisiz kişilerin girişleri engellenmeli ve yeterli sayıda yangın söndürücü bulunmalıdır.	işveren/ işveren vekili	0.2	0.5	40	4	5	Önemsiz Risk
----------	--	----------------------------	-----	-----	----	---	---	--------------

4. SONUÇ

Çalışmada, Fine-Kinney modeline dayanarak yapılan risk değerlendirmesi sonucunda firmadaki mevcut duruma göre tehlikeler ve riskler belirlenerek risk puanları hesaplanmıştır. Böylelikle firmadaki genel risk analizi yapılmış, mutlaka önlem alınması gereken $R \geq 400$ olan değerler ön plana çıkarılarak “çok yüksek riskli” gurubu saptanmıştır.

Fine-Kinney metodu sayesinde firmadaki tehlikeler için alınabilecek önlemler belirlenmiştir. Tablo 6’da tesisin geneline ait tehlike karşısında alınabilecek önlemler özet halinde verilmiştir. Riskin ($R \geq 400$)’den büyük olduğu önlem alınması kaçınılmaz durumlar için İSG uzmanının görüşleri alınarak ve literatürdeki bilgiler toplanarak sanayi firmalarında genel olarak bir risk değerlendirmesi yapılabilmesi için yeni önlemler sunulmuştur. Belirlenen tehlikelere göre alınabilecek önlemler sırasıyla verilmiştir;

Genel 1 için; Bakım/Onarım çalışmalarında alınması gereken tedbirler:

1. Makine/Ekipman bakım çalışmalarında; genel bir çalışma prosedürü hazırlanmalı ve çalışanlara tebliğ edilmelidir.

2. Bakım öncesi makine veya ekipmana gelen tüm enerji bağlantıları kesilmeli ve EKED (Etiketle-Kilitle-Emniyete Al-Dene) uygulaması yapılmalı ve EKED ekipmanları kullanılmalıdır.

3. Bakım personellerine EKED uygulamalarına yönelik eğitim verilmelidir.

Genel 2 için; Bakım/Onarım elektrik çalışmalarında;

1. Bakım onarım prosedürü hazırlanmalı ve prosedüre uygun çalışmalar yapılmalıdır.

2. Elektrik vb. çalışmalarda iş izin formları kullanılmalı, gerekli tedbirler alınmadan ve çalışma onayı alınmadan çalışma yapılmamalıdır.

Genel 4; İşletme içerisinde sigara içme kesinlikle yasaklanmalıdır. İşletmede açık ortamlarda güvenli yerlerde sigara içme alanları belirlenmelidir. Çalışanlara veya gelen misafirlere sigara içme alanlarıyla ilgili gerekli bilgilendirmeler yapılmalıdır.

Genel 9; Yılda bir periyodik olarak tüm personellerin katıldığı Acil durum tatbikatları yapılmalıdır.

Genel 11; Yangın dolaplarının önleri açık olmalı, önlerinde hiçbir engel

olmamalı, kolay ulaşılabilir olmalıdır.. Yangın söndürücüler yerden 90 cm yüksek olacak şekilde asılı bulundurulmalı, herkesin göreceği şekilde konumlandırılmalı ve uygun levhalar ile işaretlenmelidir.

Genel 21; Doğalgaz hatlarının etrafı çitlerle uygun yükseklikte kapalı olmalıdır. Uyarı levhaları asılmalıdır. Yetkisiz kişilerin girişleri engellenmeli ve yeterli sayıda yangın söndürücü bulunmalıdır.

Önerilen tüm önlemlerin alınabilmesi, firmaların mevcut süreçlerini yürütebilmesi sırasında ortaya çıkabilecek çeşitli kazaların önüne geçebilmeyi sağlayacaktır. Aynı zamanda firma ve firma çalışanları için hem maddi hem de manevi kayıpları en aza indirebilecektir. Böylelikle işletmelerin sürdürülebilirliği artarken işçi ve işverenin de güvenle çalışması sağlanabilecektir.

KAYNAKÇA

- Akyüz, E. (2016). Quantitative human error assessment during abandon ship procedures in maritime transportation. *Ocean Engineering*. 120, 21–9.
- Bağdatlı, M. C., ve Kılıç, A. M. (2020). Occupational safety risk analysis of organized industrial enterprises in Nevşehir province of Turkey by fine-kinney method. *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*. 7(07), 33–41.
- Bas, E. (2014). A framework for child safety and health management by analogy to occupational safety and health management. *Safety Science*. 64, 1–12.
- Chi, C-F., Lin, S-Z., ve Dewi R.S. (2014). Graphical fault tree analysis for fatal falls in the construction industry. *Accident Analysis & Prevention*. 72 359–69.
- Fang, Y. Rasel, M.A.K., ve Richmond, P.C. (2020). Consequence risk analysis using operating procedure event trees and dynamic simulation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 67, 104235.
- Gül M, ve Çelik E. (2018). Fuzzy rule-based Fine-Kinney risk assessment approach for rail transportation systems. *Hum Ecol Risk Assess*. 24(7):1786–1812.
- Gül, M., ve Ak, M.F. (2020). Assessment of occupational risks from human health and environmental perspectives: a new integrated approach and its application using fuzzy BWM and fuzzy MAIRCA. *Stoch Environ Res Risk Assess*. 34(8):1231–1262.
- Gül, M., Mete, S., Serin, F., ve Çelik, E. (2021). Fine–Kinney-based fuzzy multi-criteria occupational risk assessment. *Cham: Springer*.
- Ishteyaque, S., Jabeen, S., Abro, S.H., Ghani, A.A, Sikandar, S., ve Saim, Q. (2018). Hazard and Operability Study of Gas Exploration Field Located in Pakistan Sindh University Research Journal (Science Series) 7.
- İlbahar, E., Karaşan, A., Cebi, S., ve Kahraman, C. (2018). A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system. *Safety Science* .103, 124–36.
- Khanzode, V.V., Maiti, J., ve Ray, P.K. (2012). Occupational injury and accident research: A comprehensive review. *Safety Science*. 50, 1355–67.
- Kinney, G.F., Wiruth, A.D. (1976). Practical Risk Analysis for Safety Management (No. NWC-TP-5865). Naval Weapons Center China Lake CA.
- Kokangül, A., Polat, U., Dağsuyu, C. (2017). A new approximation for risk assessment using the AHP and Fine Kinney methodologies. *Saf Sci*. 91:24–32.
- Komljenovic, D., Groves, W.A., ve Kecojevic, V.J. (2008). Injuries in U.S. mining operations – A preliminary risk analysis. *Safety Science*. 46, 792–801.
- Oturakçı, M., Dağsuyu, C., ve Kokangül, A. (2015). A New Approach to Fine Kinney Method and an Implementation Study. *Alphanumeric Journal*. 3, 83–92.
- Rausand, M. (2013). Risk Assessment: Theory, Methods, and Applications John Wi-

ley & Sons.

- Swuste, P., Goossens, L., Bakker, F., ve Schrover, J. (1997) Evaluation of accident scenarios in a dutch steel works using a hazard and operability study. *Safety Science*. 26, 63–74.
- Tang, J., Liu, X., Wang, W. (2021). A hybrid risk prioritization method based on generalized TODIM and BWM for Fine-Kinney under interval type-2 fuzzy environment. *Hum Ecol Risk Assess*. 27(4):954–979.
- Wang, W., Jiang, W., Han, X., ve Liu, S. (2022). An extended gained and lost dominance score method based risk prioritization for Fine-Kinney model with interval type-2 fuzzy information. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 1-30.
- Wang, W., Liu, X., ve Qin, Y. (2018). A fuzzy Fine-Kinney-based risk evaluation approach with extended MULTIMOORA method based on Choquet integral *Computers & Industrial Engineering*. 125, 111–23.
- Wang, W., Ding, L., Liu, X., Liu, S. (2022). An interval 2-Tuple linguistic Fine-Kinney model for risk analysis based on extended ORESTE method with cumulative prospect theory. *Inf Fus*. 78:40–56.
- Zare,i E., Azadeh, A., Khakzad, N., Aliabad,i M.M., ve Mohammadfam, I. (2017). *Dynamic safety*.



BÖLÜM 3

MAKİNE HALI SEKTÖRÜNDE TIRAŞLAMA İŞLEMİNİN İNCELENMESİ

***TUGBA TÖLEK¹
ÖZNUR ÖZDİNÇ²***

1 Öğr. Gör., Gaziantep Üniversitesi, Naci Topçuoğlu Meslek Yüksekokulu,
ORCID NO: 0000-0002-9272-6241

2 Öğr. Gör., Gaziantep Üniversitesi, Naci Topçuoğlu Meslek Yüksekokulu,
ORCID NO: 0000-0002-6562-408X

1. GİRİŞ

Halının zemin yapısını atkı ve çözgü adı verilen ipliklerden, üst kısmında görünen kısmını ise hav ipliği olarak adlandırılan çoğunlukla yün, akrilik ya da polipropilen elyaflardan meydana gelmiş ipliklerin farklı sıklıklarda dokunması ile oluşmuş zemin kaplamalarında kullanılan bir tekstil ürünüdür (Dalcı 2006).

Geleneksel dokumalar içerisinde en önemlilerinden birisi olan “halı”, şu şekilde tanımlanabilmektedir: “Dokuma boyunca uzanan çözgü ipliklerine renkli ilme ipliklerinin önceden hazırlanmış desene göre ve seçilen düğüm tekniğine uygun olarak düğümlenmesinden sonra, atkı ipliklerinin çözgüler arasından geçirilerek sıkıştırılmasıyla oluşturulan, çözgüsü ve atkısı yün, pamuk veya ipek, ilme iplikleri yün veya ipek olabilen, kullanım amacına göre çeşitli ölçüleri bulunan, iki yüzü farklı görüntüye sahip, havlı dokumadır” (TSE, 2003).

Halı; üretim tekniklerine göre el halısı ve makine halısı olacak şekilde iki farklı grup olarak sınıflandırılmaktadır. El halısı el işçiliğiyle dokunan, makine halısı ise makinelerde seri üretim şeklinde üretilir. Teknolojinin hızlı gelişimi neticesinde makine halısının üretim ve ticareti el halısına oranla çok daha hızlı bir gelişme göstermiştir. Dünya halı pazarının yaklaşık %84’ü makine halısı, geriye kalan %16’sı ise el halısı ürünlerinden oluşmaktadır (Anonim, 2011).

Dokuma tekniği olarak el halısı, boyuna çözgü ipliklerinden ve enine atkı oluşan zemin örgüsü Üzerinde desen oluşturmak üzere çözgü ipliklerine sırasıyla hav ipliklerinin değişik tekniklerde düğümlenerek kirkit yardımıyla dokunun sıkıştırılmasıyla oluşturulmaktadır (Günaydın 2016).

El halısı, emek-yoğun ve tarihsel-kültürel miras yoluyla gelişen motiflere dayalı bir üretim yapısı sergilerken; makine halısı, sermaye-yoğun ve teknik tekstil kategorisinde ele alınabilecek bir üretim yapısına sahiptir. Kalın bir zemin üzerine bağlanan hav sonucunda üretilen makine halısının el halısından farkı, el halısında ayrı bir iplik ile çözgü üzerine düğüm atılırken, makine halısında hav yüzeyi hav çözgüsünün atkılarla U biçiminde bağlantı yapmasıyla oluşmaktadır (Avcıoğlu Kalebek ve diğ.,2014).

El halılarında farklı düğüm teknikleri kullanılırken makine halısında düğüm kullanılmamaktadır. Makine halısında hav iplikleri atkı ve çözgü iplikleri arasına sıkıştırılarak dokunmaktadır. Bu sebepten makineden çıkan halıların havlarının çıkmaması için dokuma sonrası sabitlemek amacıyla dokunan halıların sırtlarına lateks denilen tutkal sürülmektedir. Bu işlem lark makinesinde yapılmaktadır. Lark makinesinden çıkan halıların hav uzunluklarının eşitlenmesi için tıraş makinesinden geçirilmektedir. Yapılan bu çalışmada da tıraş makinesinin bölümleri, kullanım şekli ve özellikleri ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

1. TIRAŞ MAKİNELERİ

Halı dokuma makinesinde dokunan halıların hav yükseklikleri çoğunlukla farklı seviyelere sahip olabilir. Bu şekilde halı dokumadan çıktığında farklı seviyelerde olan halı hav yüksekliklerinin aynı yüksekliğe getirilmesi işlemi Şekil 1’de gösterilen tıraş makinesinde yapılmaktadır.



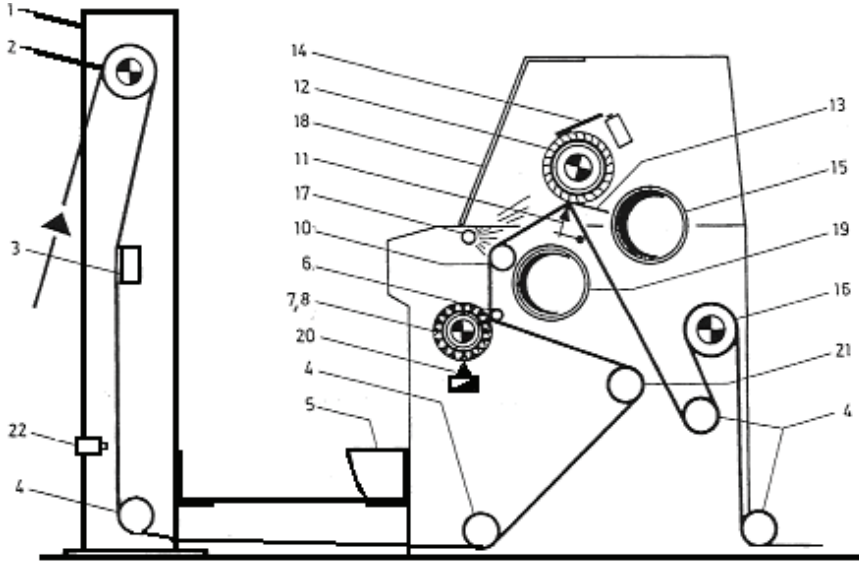
Şekil 1. Halı tıraş makinesi

Tıraş makinesi dokuma tezgâhında üretilen halıların halılarındaki uzunluk farklarını gidererek halının üretimden çıktığı haline göre çok daha eşit halde hav tabakasına sahip olmasını sağlar ve böylece halı daha da parlak olur. Tıraş makineleri kullanım yerine göre bir ya da daha fazla aşamadan oluşabilmektedir. Tıraşın iki aşamalı olduğu durumda tıraş makinesinde bulunan ilk bıçak sağ tarafa bakarken ikinci tıraşın bıçağı sol tarafa bakmaktadır. Bunun amacı ise daha iyi ve daha pürüzsüz tıraş yapmaktır. Ancak tıraş işleminin aşama sayısı hangi oranda azalırsa üretim de o oranda seri gerçekleşecektir.

Tıraş makinesinde tıraş işlemi için gelen halı ilk önce metal detektöründen geçirilir. Bunun amacı daha önceki işlemlerden kalmış olan veya halının yüzey kısmında olabilecek metal parçaların temizlenmesinin sağlanmasıdır. Ardından metal detektöründen geçen halı yüzey fırçasında geçirilir. Yüzey fırçasının amacı hem halı yüzeyinde bulunan tozların temizlenmesi, aynı zamanda da halı havlarının aynı gerginliğe getirerek tıraşlama işlemine daha düzgün şekilde girmesini sağlamaktır. Bu işlemden sonra halı, tıraş makinesinin tepe kısmına gelerek uzun havları düzeltilir. Tıraş işlemi tamamlanan halı, iğneli çekim silindirleri tarafından çekilerek daha sonraki işleme gönderilir.

1.1. Tıraş Makinelerinin Yapısı

Makine halılarına uygulanan tıraş işlemi için kullanılan tıraş makinesinin yapısı Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2. Tıraş makinesi kesit görüntüsü ve parçaları

- | | | |
|--------------------------|---------------------------------|---|
| 1) Giriş Çatısı | 8) Hav Yükseltme Silindiri | 17) Tıraş Bölgesi Aydınlatma |
| 2) Gergi Silindiri | 10) Yayıcı | 18) Koruyucu Kapak |
| 3) Metal Dedektörü | 11) Tıraş Tablası (Zirve) | 19) Tıraş Tabla Tüpü |
| 4) Kılavuz Silindirleri | 12) Tıraş Silindiri | 20) Fırça Emişi |
| 5) Adım Platformu | 13) Alt Bıçak | 21) Ayarlanabilir Şaftlı Kılavuz Silindir |
| 6) Hav Yükseltme Tablası | 14) Tıraş Silindir-Keçe Yağlama | 22) Topbaşı Sensörü |
| 7) Fırça Silindiri | 16) Çekme Silindiri | |

1) Giriş Çatısı: Tıraş makinesinin giriş çatısı, halının tıraştan geçtiği esnada meydana gelecek titreşim, sallanma gibi olumsuz hareketleri kapatacak şekilde makine ekipmanlarının hepsini bir arada sağlam tutmak için dayanıklı metalden yapılmıştır. Tıraş makinesinde bulunan ekipmanların tamamı bu çatının altında yer almaktadır.

2) Gergi silindiri: Halının tıraşlanması yapıldığı esnada tıraşlanan halının belirli bir tansiyonda (gerginlikte) gelmesine olanak tanır. Tıraş makinesinden geçen halının belli bir gerginlik ayarında olması gerekmektedir. Fırçalama ve hav kesim işlemlerinin düzgün bir şekilde yapılabilmesi için halının bu gerginliğe sahip olması gerekmektedir.

3) Metal Detektörü: Halının dokuma tezgahında ya da halı dokuma-dan çıktıktan sonra, işletme içerisinde halı tıraş aşamasına gelmeden önceki bölümlerde halının içinde metal parçalar kalmış olabilir. Bu metal parçaları iki farklı soruna neden olur. Birinci sorun halı içerisinde kalan bu metal parçaları tıraş bıçaklarının zarar görmesine neden olabilir. İkinci sorun ise son kullanıcının bu metal parçalarından dolayı yaralanmasına neden olarak işletmenin maddi ve manevi kayıplara uğramasına sebep Bu sebeplerden ötürü metal detektörü kullanılarak halının içerisindeki olası metal parçaların ayıklanması gerekmektedir.



Şekil 3. Zarar görmüş tıraş bıçakları

4) Kılavuz Silindirleri: Halının tıraş makinesinin içerisinde ki düzensiz ilerleyişini ayarlayan silindirlerdir.

5) Adım Platformu: Tıraş esnasında tıraş operatörünün halının tıraşının düzgün ilerleyip ilerlemediğini izleyebileceği gerekli durumlarda müdahale edebileceği ve kumanda panosuna erişimini kolaylaştıran yerden yüksek olarak hazırlanmış tabakadır.

6) Hav Yükseltme Tablası: Hav yükseltmeye yarayan silindirinin olduğu tabladır.

7) Fırça Silindiri: halıdaki hav tabakasını düzenlemek ve halının yüzeyinde bulunan gereksiz iplik vb. halıda olmaması gereken uzaklaştırmaya yarayan fırçadır.

8) Hav Yükseltme Silindiri: halıdaki havlarının tıraş esnasında halı fırçasına mümkün olabildiğince en yüksek noktada gelmesini sağlayan silindir.

10) Yayıcı: Halının tıraş makinesinden geçmeden önce kontrol edilmesini sağlayan kısımdır.

11) Tıraş Tablası (Zirve): Halı havlarının tıraşlama sırasında halı havlarının tümünün tıraş bıçaklarına değmesi için halı havlarının zirve noktasına ulaşmasını sağlayan kısımdır.

12) Tıraş Silindiri: Uzun olan havların kesilmesi için yardımcı olan helezon şeklindeki parçadır (Şekil 4).



Şekil 4. Tıraş silindiri

13) Alt Bıçak: Tıraş işlemini yapan bıçaktır.

14) Tıraş Silindiri Keçe Yağlama Aparatı: Tıraş silindirinin hemen üzerinde yer alan keçe parçanın yağlanması için bulunan parçadır (Şekil 5).



Şekil 5. Keçe ve otomatik yağlama aparatı

15) Emiş Tüpü: Tıraşlama esnasından traşlanan hav parçalarının halıya yapışmadan uzaklaştırılmasını sağlayan emiş tüpüdür.

16) Çekme Silindiri: Tıraş makinesindeki halının ilerlemesini sağlayan silindirdir.

17) Tıraş Bölgesi Aydınlatma: Operatör tarafından tıraşın kontrolünü yapmayı kolaylaştırmak için kullanılan tıraşlamanın yapıldığı bölgeyi aydınlatan ışıktır.

18) Koruyucu Kapak: Makine içerinden parça fırlatma gibi nedenlerle oluşabilecek tehlikelere karşı operatörü koruma amaçlı yapılmış, aynı zamanda operatörün tıraşı gözlemleyebilmesi için şeffaf malzemeden yapılmış kapaktır. Güvenlik açısından kapakta yer alan sensör sayesinde, kapak açıldığı esnada traş makinesi otomatik olarak durur.

19) Tıraş Tabla Tüpü: Zirvenin bağlı olduğu platformdur. Makine durduğu esnada bu tüp dönerek traşlanan halıyı tıraş silindirinden uzaklaştırır.

20) Fırça Emişi: Tıraş esnasında fırçanın üzrinde toplanmış olan hav kırıklarını uzaklaştıran kısımdır.

21) Ayarlanabilir Kılavuz Silindir: Halı traştan geçerken fırçalara temas derecesini değiştiren silindir.

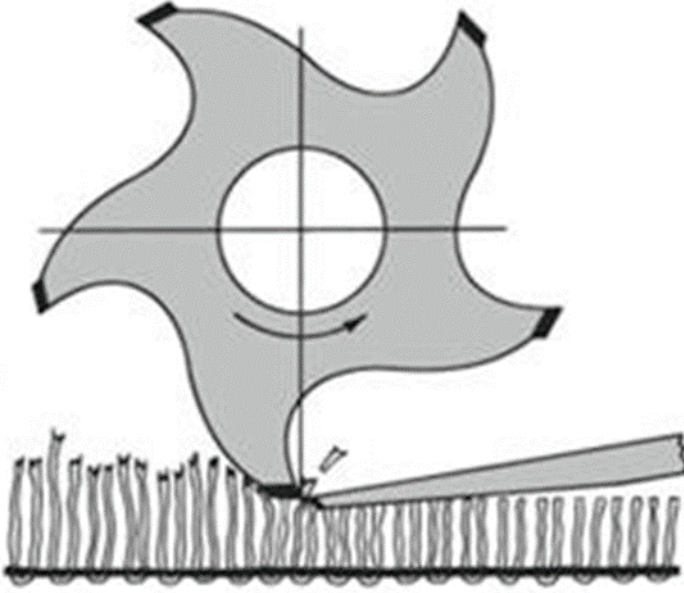
22) Halı Birleşim Yeri (Top Başı) Sensörü: Topbaşı, iki farklı üretimden gelen halının uç uca dikilerek birleştirildiği yerdir. İki halının uçları üst üste geldiği kısım olduğu normalden kalın olmaktadır. Halı birleşim yeri bu şekilde çok kalın olacağı için kesim bölgesinde takılır ve giremez. Topbaşı sensörünün ikazı ile operatör uyarılır.



Şekil 6. Halı birleşim yeri (top başı)

2. HALI TIRAŞ MAKİNESİNİN AMACI

Tıraş makineleri tıraştan geçecek halının dokuma sıklığına, sipariş durumuna, halını dokuma esnasında ki kesim düzgünlüğüne göre bir, iki ya da üçsafhalı olabilmektedir. Düşük kalite veya dokumada kesimi düzgün çıkan halıların bir kez tıraş makinesinden geçmesi yeterli olmaktadır. Fakat yüksek kalite veya dokuma esnasında kesimi düzgün olmayan halılar için 2 veya 3 aşamalı tıraş yapmak gerekmektedir. Eğer iki veya üç aşamalı tıraşlama yapılacak ise daha iyi bir kesim kalitesi için tıraş bıçaklarının yönleri zıt yönde tercih edilmesi gerekmektedir.



Şekil 7. Tıraş işleminin yapılışı

Yüksek veya orta kalite düzeyinde ve üretim miktarının yoğun olduğu fabrikalarda üç aşamalı tıraş makinesi tercih edilmektedir.

Halı yüzeyindeki hav uzunluklarında çok fazla düzensizlik var ise, iki veya üç safha tıraşlamayapılması uygun olur. Eğer tıraşlama işlemi 3 aşamadan oluşacak ise her bir aşamada azar azar düzeltme yapılarak 3. safhada halı yüzeyi en uygun şekilde düzeltilmiş olur.

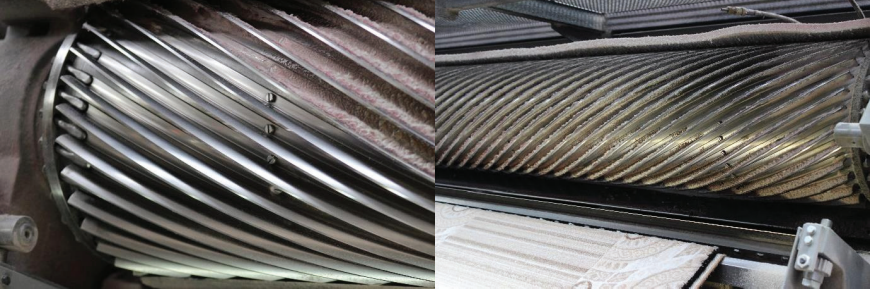
2.1. Halıda Kalınlık Faktörü

Lark işlemi uygulanan makine halıları için tıraşlama kalınlığı oldukça önemlidir. Müşteri isteğine göre belirlenen halının teknik özelliklerini içeren iş emri planlama departmanı tarafından bir alakalı bölüme gönderilir. İş emrinde yer alan hav yüksekliğine göre tıraş operatörü tıraş makinesinin ayarını yaparak halıyı tıraş makinesinden geçirir.

3. TIRAŞ MAKİNELERİNDE KESİM BİÇAKLARI

Tıraş makinesinde iki çeşit kesim bıçağı bulunmaktadır. Bunlar; spiral (hareketli üst bıçak) ve düz (sabit alt bıçak) bıçaktır.

Spiral bıçak; çelik malzemeden üretilen bu silindir üzerine helezon biçiminde bıçaklar yerleştirilir. Silindir üzerine spiral bıçaklar çoğunlukla 30 adet olacak şekilde monte edilirler. Silindirde yer alan spirallerin uç noktalarına kesimin daha düzgün olmasını sağlamak amacıyla zikzak şeklinde ağızlar açılmıştır. Bu bıçaklarda bulunan spirallerin yönleri tıraş toplarının yönlerine göre sol veya sağ olabilmektedir.



Şekil 8. Farklı yönlerdeki tıraş topları

Düz bıçaklar (sabit alt bıçaklar) çelikten imal edilen bu bıçaklar düz ve sabittir. Ayrıca bu bıçakların uzunluğu makinenin eninden bir miktar daha fazladır. Spiral bıçak ile düz bıçaklar sıfır mesafede çalışması sağlanarak kesme işlemine yardımcı olur. Düz bıçağın uç kısmı; silindir bıçak ile orantılı çalışması amacı ile çok hafif oval şekline getirilmiştir.



Şekil 9. Kesim silindiri alt bıçak

Sabit alt bıçakta zaman içerisinde meydana gelen pürüzlükler bileyleme aparatı ile düzeltilmesi gereklidir.

Makinede yer alan bıçakların bileyenme işlemi (keskinleştirilmesi) için 0,25 mikron inceliğindeki taşlama kumu ile beraber 90 numara yağ karıştırılır. Ardından kesim silindiri 70 d/dk ile ters istikamete çevrilerek fırça ile bu karışım silindir üzerine eşit miktarda aktarılarak bıçakların birbirine kum ile sürtünmesi yolu ile bileyleme işlemi gerçekleştirilir.

3.1. Kesim Silindirlerinin Yapısı

Kesim silindirleri üzerinde spiral bıçaklar bulunan ve makinenin eni boyunca yerleşmiş olan tıraş silindirleridir (şekil 10). Bu kesim silindirleri tek parçadan oluştuğu için ve aynı zamanda da hızlı dönme hareketinden meydana gelen titreşimlere neden olduğundan dolayı mekanik zorlanmalara karşı koyabilmesi amacı ile oldukça mukavemetli materyallerden yapılmıştır.



Şekil 10. Kesim silindiri

3.2. Kesim Silindirinin Çalışma Prensibi

Tıraş makinesinde bulunan kesim silindirleri 350-400 rpm devir ile makinenin çıkış yönüne doğru dönerler. Tıraş işlemi sırasında bu silindirler alt bıçağa sıfır şekilde yaklaşarak tıraşlama işlemini gerçekleştirirler. Ayrıca kesim silindirleri bu şekilde dönerken aynı zamanda sağa-sola hareket ederek halı havlarının düzgün şekilde kesilmesini sağlamaktadır.

Kesim silindirleri hızlı dönüş yaptıkları için bir süre sonra ısınacaktır. Bu ısınmayı önlemek için kesim silindirinin soğutulması gereklidir. Soğutma işlemi emiş fanları kullanılarak yapılmaktadır (Şekil 11). Emiş fanları kesim silindirlerini soğutmanın yanı sıra kesilen havları da havları da ortamdan uzaklaştırmaktadır.



Şekil 11. Fan

Tıraşlama işlemi yapılacak olan halı, makinenin tıraşlama bölgesine girdiğinde operatör kesim silindirlerini çalıştırır ve belirli bir devire gelmesini sağlar. Ayrıca operatörün hav yüksekliğine göre kesim silindiri mesafesi ayarını yaparak kesim silindirini aşağıya indirip halı hav kesme işlemini başlatması gerekir. Tıraşlama işlemi esnasında tıraş makinesi herhangi bir sebep ile durduğunda, makinede bulunan kesim silindirleri otomatik bir şekilde yukarı doğru kalkacaktır. Böylece kesim bıçağının sürekli olarak halının aynı noktasında kalarak temas etmesi önlenecektir.

4. KESİM MESAFESİNİN AYARLANMASI

Tıraş makinesinin kesim ayarının kontrolü yapılmalıdır. Bunun için makinenin montaj sonrasında, 10 mm yükseklikteki demir bir aparat yardımı ile makinenin kalibresi yapılarak olması gereken tıraş yüksekliği tıraş makinesinin hafızasına kaydedilmelidir. Böylelikle makinenin panelinden çalışılacak yüksekliği 10 mm seçildiği takdirde, makine bu yüksekliğe otomatik olarak gelmektedir.

Halı tıraş makinesinde alt bıçak ile tıraş silindiri arasındaki mesafenin halıdaki hav tabakasının uzunluğuna göre ayarlanması gereklidir. Tıraşa girecek olan halı tıraşlama bölümüne geldiğinde operatör, halının hav uzunluğuna göre bıçak ile halı arasındaki mesafeyi ayarlamalıdır. Bu mesafenin ayarlanmasında hav yüksekliğinden 0,3-0,5 mm fazla olması gereklidir. Bunun sebebi; hav uzunluğuna ilave olarak makine halılarının zemin kısmının bulunmasıdır.

Tıraşlama işlemi bittikten sonra operatörün halıyı kontrol etmesi gerekmektedir. Bu işlem elle ve göz ile yapılarak halını üst tabakasında yanma ya da yapısında bozulma olup olmadığı sürekli olarak kontrol edilmelidir. Halının hav tabakasında olumsuz bir durum var ise anında müdahale edilmelidir.



Şekil 12. Tıraş makinesi operatör paneli

5. TIRAŞ MAKİNESİNDE KESİM BİÇAĞININ HALI YÜZEYİNDE ETKİSİ

Operatörün tıraş makinesinin monitöründen sisteme girdiği hav yüksekliğine göre yükseklik ayarlanmaktadır. Eğer operatör hav yüksekliği için olması gerekenden daha fazla girer ise halının yüzey kısmı bıçağa değmeyeceği için tıraşlanma işlemi gerçekleşmeyecektir. Bir başka durumda operatör bıçakları olması gerekenden daha az girerse makinenin bıçağı halıya fazla temas edecek ve halı hav yüzeyinde yanmalar oluşacaktır.

6. HALININ BİRLEŞİM YERİNDE TIRAŞ MAKİNESİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Halı birleşme yeri; birden fazla halı arabasında bulunan makine halılarının birbirlerine zincir dikiş makinesi ile dikildikten sonra meydana gelen durumdur (Şekil 13).



Şekil 13. Halı birleşme yeri

Halı birleşim yerlerinde hav yüksekliğinden daha fazla olacak şekilde bir kalınlık meydana getirir. Halı birleşim yeri nedeni ile oluşan kalın yer halı tıraş makinelerinde sıkıntı yaratacaktır. Çünkü halının birleştiği yer makineden ayarlanan halı yüksekliğinden daha fazla uzunluktadır. Bu nedenle halının birleşim yeri tıraş silindirlerinden geçerken silindire değerek tıraş toplarının patlamasına neden olacaktır. Bu durum halının ciddi bir şekilde zarar görmesine sebebiyet verir. Böyle bir durumun yaşanmaması için makinede fazla kalınlığı tespit edecek sensörler bulunmaktadır.

Tıraş makinesine girecek olan halıların öncelikle hav yüksekliğine bakılarak makinenin kumanda panosundan tıraş mesafesi ayarlanır. Operatör Programın uzunluğunu ve halıların birleştiği yerler sürekli olarak takip etmelidir. Halı birleşim yeri kesim silindirine geldiği zaman pano üzerinde bulunan kol yardımıyla bıçak silindirlerini yukarı kaldırarak halı birleşim yerinin geçirilmesini sağlamalı ve sonrasında tekrar bıçak silindirlerini aşağı indirerek işleme devam etmelidir.

KAYNAKÇA

- Dalcı, S., (2006). Makine Halısı Üretim Parametrelerinin Halı Performansına Olan Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sayfa:10-30, Kahramanmaraş,
- Türk Standardı, (2003). Halı Dokumacı. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- Anonim. (2011). Türkiye’de Dokuma Makine Halıcılık Sektörü: Envanter, Projeksiyon ve Analiz, Güney Anadolu Halı İhracatçıları Birliği, Gaziantep.
- Günaydın, E., (2016). Makine Halısı Üretiminde Ön Tehlike Listesi Yöntemi İle Risk Envanteri Oluşturulması. İş Sağlığı Ve Güvenliği Uzmanlık Tezi. Ankara.
- Avcıoğlu Kalebek, N., Vuruşkan, D., Çoruh, E., (2014). Türk Halıcılığının Tarihçesi. Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 8, No: 1, (52-61).

BÖLÜM 4

ÇEVRE KİRLİLİĞİ BİLİNCİNİN FP-GROWTH ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ: SİNOP İLİ ÖRNEĞİ¹

Mevlüt KILINÇ²

Selahattin BARDAK³

Timuçin BARDAK⁴

1 Bu çalışma Doç. Dr. Selahattin BARDAK (Birinci Danışman) ve Doç. Dr. Timuçin BARDAK (İkinci Danışman) danışmanlıklarında Mevlüt KILINÇ'ın "Hava Kirliliği Bilincinin Veri Madenciliğine Dayalı Olarak Değerlendirilmesi: Sinop İli Örneği" adlı Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir.

2 Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman Türkiye, ORCID ID: 0000-0002-7549-2869

3 Doçent Doktor, Sinop Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Sinop, Türkiye, ORCID ID: 0000-0001-9724-4762

4 Doçent Doktor, Bartın Üniversitesi, Bartın Meslek Yüksekokulu, Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü, Bartın, Türkiye, ORCID ID: 0000-0002-1403-1049

1. GİRİŞ

Çevre “Canlıların yaşamları boyunca ilişkilerini sürdürdükleri ve karşılıklı olarak etkileşim içinde bulundukları biyolojik, fiziksel, sosyal, ekonomik ve kültürel ortam” olarak tanımlanmaktadır (2872 Sayılı Çevre Kanunu, 1983). İnsanlar doğal dengeyi gözetmeksizin; yaşadığı çevreyi kendi isteklerine göre tahrip ederek şekillendirmiştir. Ekonomik çıkarlar her şeyin önüne geçmiş doğal hayat, doğal denge, canlı hayatı gibi insanların kendi geleceğini de etkileyecek olan durumların hiçbiri gözetilmemiştir. 1997 yılında Kyoto Protokolü uluslararası anlamda küresel ısınma, iklim değişikliği ve sera gazı salınımlarının azaltılması gibi temel amaçlar ile imzalanmış olmasına rağmen gelişmiş ülkelerin taahhütlerine uymamaları durumu en bariz örnektir (Karacaer Ulusoy, 2019).

Çevre; soluduğumuz havadan içtiğimiz suya, ektiğimiz topraktan yüzdiğimiz denize, oturduğumuz evimizden bindiğimiz arabamıza ve çalıştığımız işyerine, oksijen fabrikalarımız ormanlardan içinde barındırdığı canlılara kadar uzanır (Büyükgüngör, 2006).

Çevre kirliliği ise “Çevrede meydana gelen ve canlıların sağlığını, çevresel değerleri ve ekolojik dengeyi bozabilecek her türlü olumsuz etki” olarak tanımlanmaktadır (2872 Sayılı Çevre Kanunu, 1983).



Şekil1. Çevre Kirliliği (Çevre Kuruluşları Dayanışma Derneği, 2014)

Atıklar çeşitli şekillerde karşımıza çıkmaktadırlar. Bazen; naylon poşet, plastik ambalaj kapları, cam şişe, vb. Bazen; radyoaktif soğutucu, ozon tabakasını delen spreylere, tehlikeli etkiler taşıyan atık sular, vb. Bazen; ev ve işyerimizin bacasından yükselen gaz ve tozlar, yangınların çıkardığı dumanlar, vb. Bu atıkların çevremizi kirletmesinin yanı sıra, doğal kaynakların hızla tüketilmesi sorunu da ortaya çıkmaktadır. Özellikle ileriki nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmak ve teknolojik gelişmelerin sürdürülebilmesi için mevcut kaynakların uygun şekilde kullanılması, sürdürülebilirliğin ön plana çıkarılması gerekmektedir (Büyükgüngör, 2006).

Günümüzde çevre ile ilgili sorunlar çeşitlenerek sürekli olarak artmakta doğaya ve insan sağlığına olumsuz etki etmektedir. Özellikle canlı hayatının devamı için vazgeçilmez ve alternatifi olmayan en temel kaynak olan havanın kirlenmesi nedeni ile oluşan hava kirliliği, kitlesel olarak canlı hayatının olumsuz etki meydana getiren çok ciddi küresel sonuçlar oluşturmaktadır.

Veri madenciliği, disiplinler arası bir alandır ve ham veriden kullanışlı olabilecek bilgiyi çıkarmak için gerekli yöntemler ile ilgilenmektedir. İstatistiksel yöntemler ile çeşitli bilgisayar algoritmalarını kullanarak veri tabanlarındaki veriden, anlamlı ve işe yarar bilginin çıkarımını ifade eden süreçtir (Çelik, 2009).

Yapılan bu çalışmada veri madenciliği yöntemlerinden biri olan FP-Growth analizi ile Sinop İlinde yaşayan insanların çevre kirliliği bilinci tespit edilmeye çalışılmıştır.

2. ÇEVRE KİRLİLİĞİ ÇEŞİTLERİ

2.1. Çevrenin Özelliklerine Göre Çevre Kirliliği

Çevrenin özelliklerine göre çevre kirliliği üç temel başlıkta değerlendirilebilir.

2.1.1. Fiziksel Kirlenme

Çevreyi meydana getiren toprak, su ve havanın fiziksel özelliklerinin tamamının veya bir kısmının insan, hayvan ve bitki sağlığını tehdit edecek, olumsuz yönde etkileyecek biçimde bozulması olayıdır. Üretimde bulunan çeşitli fabrikaların atıklarının akarsu ve göllere boşaltılması, doğal erozyon ile toprakların göl ve denizlere taşınması açık kahverenginden, kırmızı siyaha kadar değişen renk almasına neden olmaktadır. Bu olay suların fiziksel kirlenmesidir (Çevre Bilgi Portalı, 2015).



Şekil 2. Fiziksel Kirlenme (Çevre Sağlığı, 2015)

2.1.2. Kimyasal Kirlenme

Doğal çevreyi oluşturan toprak, su ve havanın kimyasal özelliklerinin canlıların hayati faaliyetlerini ve aktivitelerini olumsuz yönde etkileyecek biçimde bozulmasıdır. Örneğin; çeşitli fabrika katı ve sıvı atıklarının verimli tarım arazilerine veya akarsu ve nehirlerle boşaltılması söz konusu tarım topraklarının, akarsu ve göllerinin zararlı ağır metallerle kirlenerek kimyasal kirlenmeye maruz kaldığını gösterir (Çevre Bilgi Portalı, 2015).



Şekil 3. Kimyasal Kirlenme (Hürriyet, 2020)

2.1.3. Biyolojik Kirlenme

Doğal ortamı oluşturan toprak, hava ve suyun çeşitli mikroorganizmalarla kirlenmesi ve dolayısıyla mikrobiyolojik yapının bozulması mikrobiyal kirlenmeyi, aynı ortamların mikroorganizmalarla kirlenmesi ise biyolojik kirlenmeyi tanımlar. Örneğin, tarım alanlarının kanalizasyon suyu ile sulanması veya kanalizasyon sularının akarsu, göl ve denizlere boşaltılması ile kanalizasyon sularında bulunan hastalık yapıcı mikroorganizmalar toprağa, suya ve atmosfere geçerek bu ortamların mikrobiyolojik kirlenmesine yol açar (Çevre Bilgi Portalı, 2015).



Şekil 4. Biyolojik Kirlenme (TRT Haber, 2021)

2.2. Çevre Unsurlarına Göre Çevre Kirliliği

Çevre unsurlarına göre çevre kirliliğini altı temel başlıkta değerlendirebiliriz.

2.2.1. Hava Kirliliği

Havanın doğal dengesinin çevresel özelliklere göre fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak canlı hayatını tamamen veya kısmen olumsuz etkileyecek şekilde bozulmasıdır (Elkoca,2002).



Şekil 5. Hava Kirliliği (Bbcnews/Türkçe, 2021)

2.2.2. Toprak Kirliliği

“Toprağın verim gücünü düşürecek, optimum toprak özelliklerini bozacak her türlü teknik ve ekolojik baskılar ve olaylar”, toprak kirliliği veya toprak kirlenmesi olarak nitelenir. Toprak kirlenmesi, hava ve suları kirlüten maddeler tarafından meydana getirilir. Örneğin, kükürtdioksit oranı yüksek olan bir atmosfer tabakasından geçen yağmur damlacıkları asit yağışları halinde toprağa gelir. Toprak içine giren bu asitli sular ağaç köklerini, bitkisel ve hayvansal toprak canlılarını zarara uğratar. Toprağın reaksiyonunu etkileyerek besin maddesi dengesini bozar, taban sularını içilmez hale getirir. Aynı şekilde çöp yığınlarından toprağa sızan sular, kirli sulama suları, gübre çözeltileri, radyoaktif maddeler, uçucu küller, toprağı kirlüten madde ve kaynaklardır. Toprak kirliliğini önlemek için çok çeşitli teknik, ekolojik ve hukuksal önlemler alınır. Toprak kirliliğinin önlenmesi amacıyla; arazi ve doğal kaynaklarla ilgili planlama, uygulama, değerlendirme, kontrol, izleme ve eşgüdüm mekanizmaları güçlendirilmeli; tarım ve orman arazilerinin amaç dışı kullanımı engellenmeli; ormanlaştırma, yeniden ormanlaştırma, erozyon kontrolü ve çayır/mera ıslahı için gerekli finansman sağlanmalıdır. Toprak kirliliğinin ulusal düzeyde tespiti için envanter çalışması oluşturulmalı, belirlenen alanların kayıt edilmesi, izlenmesi ve iyileştirme çalışmaları yapılması gerekmektedir (Çevre Bilgi Portalı, 2018).



Şekil 6. Toprak Kirliliği (Çevreportal, 2016)

2.2.3. Su Kirliliği

Su, canlı hayatın sürdürülebilmesi için en önemli temel ihtiyaçlardan biridir. Artan nüfus, şehirlerde yaşayan nüfusun artması, endüstriyel faaliyetlerin artması, zirai faaliyetlerin artması suya olan talebi artırmıştır. Diğer yandan su kaynaklarından aşırı su çekilmesi, su kaynaklarının kirlenmesi, yağışların azalması, küresel iklim değişikliği ve su kaynakları üzerine olan etkileri suyla ilgili problemlerin daha da artacağına işaret etmektedir. Su, doğal olarak dünya üzerinde “sürekli hidrolojik çevrim” adı verilen hareket halindedir. Su, bu dolaşımı sırasında hava yoluyla hava kirletici bileşikleri bünyesine alır. Yağış sırasında temas ettiği yüzeylerden kirleticileri bünyesine alarak akarsu, göl ve denizlere taşır. Yeraltı suları zemine sızarken ve akifer içerisinde hareket ederken, su bu kirleticileri çözerek bünyesine alır. Suyun dolaşımı esnasında temas ettiği yüzeyler ve akış halindeyken kat ettiği yollar temizse kirliliğin miktarı az olur. Ayrıca akarsu, göl ve denizlere şehirlerin ve sanayi bölgelerinin atık suları deşarj edilerek su kaynakları daha da kirlenmiştir olur. Kirletici kaynakların önemlileri arasında zirai alanlarda kullanılan pestisitler, gübreler ve hormonlar gibi çeşitli kimyasallar sayılabilir. Ayrıca düzensiz atık dökülen sahalar, maden sahaları, endüstriyel alanlar da kirletici kaynaklar arasında sayılabilir. Noktasal kaynaklar olan evsel ve endüstriyel atık sular çok karmaşık bileşiklerin su ortamına verildiği kaynaklardır (Aydın, 2021).



Şekil 7. Su Kirliliği (Milliyet, 2020)

2.2.4. Gıda Kirliliği

Besin kirliliği terimi, belirli bir su kütlesi içindeki besin maddelerinin çokluğunu ifade eder ve bir tür su kirliliği olarak kabul edilir. Besin kirliliğine katkıda bulunan en yaygın kirleticiler, genellikle tarım endüstrisinde gübreler olarak kullanılan fosfor ve azottur. Sudaki besin kirliliği temel olarak tarım alanlarından, çiftlik hayvanlarından, özel evlerin septik tanklarından ve araçlardan çıkan egzozlardan kaynaklanır (Yenibiyoloji, 2018).

Besin kirliliği ciddi bir çevre sorunu olarak kabul edildiğinden, dünyanın dört bir yanındaki pek çok hükümet ve kuruluş kendini önleme ve bertaraf etmeye adanmıştır. Önleme amaçlı bazı yaklaşımlar, bir şirketin çıkarabileceği hem de boşaltma hacmini hem de söz konusu dışarıdaki kirletici miktarını kontrol etmek için hükümet düzenlemelerini içermiştir (Yenibiyoloji, 2018).



Şekil 8. Gıda Kirliliği (Yenibiyoloji, 2018)

2.2.5. Gürültü Kirliliği

Gürültü, gelişmiş güzel bir yapısı olan bir ses spektrumu ve subjectif olarak istenmeyen ses biçimi olarak tanımlanmaktadır. İnsanlara bağlı aktiviteler, genelde gürültü kaynağıdır. Gürültü en fazla kentlerde görülmekte olup nedenlerini üç temel başlıkta toplaya biliriz:

- İlk sırayı, trafik ve taşımacılıktan kaynaklanan gürültüler almaktadır. Hava, deniz ve demiryolundan kaynaklanan gürültüler bölgesel nitelik göstermektedir. Ancak karayolu taşımacılığından kaynaklanan gürültünün, geniş bir insan topluluğunu etkilemesi ve kentin tümünde yaygın olarak kendini göstermesi nedeniyle ayrı bir önemi bulunmaktadır.

- Sanayi gürültüsü, özellikle çarpık kentleşmenin söz konusu olduğu ve konut ile sanayi bölgelerinin iç içe bulunduğu durumlarda oldukça büyük sorun haline dönüşmektedir.

- Spor, alışveriş, eğlence gibi açık hava etkinliğinden kaynaklanan gürültüler de kent gürültüsü olarak adlandırılmaktadır (Önder ve Gülgün, 2010).

Gürültü insan sağlığına olumsuz etki etmekte olup genel anlamda bu etkileri dört başlıkta toplaya biliriz:

- Fiziksel etkileri (geçici veya kalıcı işitme hasarları),
- Fizyolojik etkiler (vücut aktivitesindeki değişiklikler; solunumda hızlanma, göz bebeklerinin büyümesi göz kapaklarının kapanması, kan basıncının artması, ani refleksler, uyku bozukluğu, kan şekeri bozuklukları, troid hormonları salınımı, mide ve bağırsak bozuklukları, akkan hücrelerinin azalması, ülser, hipertroidi, astım, kronik yetmezliği gibi hastalıklar),
- Psikolojik etkileri (davranış bozuklukları, öfkelenme, sıkılma, genel rahatsızlık duygusu),
- Performans etkileri (okuma, öğrenme ve iş, veriminin düşmesi, konsantrasyon bozukluğu, hareketlerin engellenmesi) (Önder ve Gülgün, 2010).

Hızlı kentleşme ve nüfus yoğunluğunun olduğu ortamlarda gürültü kirliliği engellenemese de, gürültü kaynağının azaltılması, gürültülü alanın daraltılması gibi önlemler alınabilir.



Şekil 9. Gürültü Kirliliği (Rayhaber, 2021)

2.2.6. Elektromanyetik Kirlilik

Elektromanyetik kirlilik, çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahip elektrik ve manyetik alan bileşen dalgalarının oluşturduğu alanın limit değerlerinin üzerinde olmasıdır. Bilindiği üzere konforlu, hızlı, elektrikli araç ve gereçlerin gündelik yaşamdaki ağırlığının giderek artışı, kullanımının yoğunlaşması yanında taşınır hale gelmesi ve araçlar arasındaki iletişimin de kablosuz olarak gerçekleşebilmesi sağlık ve çevre üzerinde birçok etkiye neden olmaktadır. Elektromanyetik kirlilik; elektronik, elektromekanik, kimya, tıp ve biyoloji benzeri konuları içeren çok disiplinli bir konudur. Bu konu, dünyada olduğu gibi ülkemizde de önemli bir çevre sorunu olarak ele alınmakta ise de kamuoyuna ancak baz istasyonları gibi bazı yönleri ile yansımaktadır (Çevre Sağlığı, 2011).

Maddedeki enerjinin gerçek niteliğini göremeyiz. Buradaki enerji mekanik, nükleer enerji, kimyasal, elektrik, ısı ve ışık türleri ile görünür veya hissedilir. Yeteneğini kaybetmeden, bir şekilden başka bir şekle dönüşebilir. İletişim, elektrik iletimi, sağlık ve güvenlik gibi yaygın kullanım alanı sistemlerin ürettiği elektromanyetik (EM) enerjilere bağlı canlı organizmaların etkilenmesi geçen asırda tespit edildi. Günümüzde ise halk sağlığına olumsuz etkileri olan en önemli çevre sorunlarından biri olarak kabul edilmiştir (Çevre Sağlığı, 2011).



Şekil 10. Elektromanyetik Kirlilik (Çevre Sağlığı, 2011).

2.3. Kaynaklarına Göre Çevre Kirliliği

Kaynaklarına göre çevre kirliliğini aşağıdaki başlıklar altında sınıflandırabiliriz.

2.3.1. Endüstriyel Gelişmelerin Neden Olduğu Başlıca Kirlilikler

- Hava kirliliği,
- Su kirliliği,
- Toprak kirliliği.

2.3.2. Şehirleşmenin Neden Olduğu Başlıca Kirlilikler

- Katı ve sıvı atıkların neden olduğu kirlilikler,

- Konutlarda ve sanayide kullanılan yakıtların neden olduğu kirlilikler,
- Motorlu araçların egzoz salınımının neden olduğu kirlilikler,
- İnsanları rahatsız eden her türlü seslerin neden olduğu gürültü kirliliği,
- Çarpık yapılaşmanın neden olduğu kirlilikler.

2.3.3. Tarım İle İlgili Faaliyetlerden Kaynaklı Çevre Kirliliği

- Zirai ilaç kullanımı,
- Suni gübre kullanımı,
- Toprağın yanlış kullanımından kaynaklanan erozyon olayları vb.

3. BİRLİKTELİK KURALLARI (ASSOCIATION RULES)

Birliktelik kuralları, büyük veri kümeleri arasında birliktelik ilişkileri bulurlar. Toplanan ve depolanan verinin her geçen gün gittikçe büyümesi yüzünden, şirketler veri tabanlarındaki birliktelik kurallarını ortaya çıkarmak istemektedirler. Büyük miktardaki mesleki işlem kayıtlarından ilginç birliktelik ilişkilerini keşfetmek, şirketlerin karar alma işlemlerini daha verimli hale getirmektedir (Özekes, 2003).

Literatürde pek çok birliktelik kuralları bulunmaktadır. Genel olarak:

1. Apriori Algoritması
2. Frequent Pattern Growth (FP-Growth) Algoritması
3. Carma Algoritması
4. Eclat Algoritması şeklinde sınıflandırılabilir (Kiraz ve Deliismail, 2018).

3.1. Frequent Pattern Growth (FP-Growth) Algoritması

Birliktelik kurallarından biri olan FP-Growth algoritması diğer algoritmalarından yüksek performans göstermektedir. FP-Growth Algoritmasının en büyük avantajı ise büyük veriler için hızlı çalışmasıdır ve sistem kaynaklarının verimli kullanılabilmesidir. Tüm verileri Frequent Pattern Tree (FP-Tree) adında sıkıştırılmış bir ağaç yapısında tutmaktadır. Bu algoritmanın bir özelliği de veri tabanını sadece iki kez taramasıdır. Birinci taramada tüm nesnelerin destek değerlerini bulmaktadır, ikincisinde ise ağaç yapısı oluşturmaktadır. FP-Growth algoritmasında her nesnenin destek değeri bulunur ve kullanıcının vermiş olduğu eşik değerinin altında kalanlar elenmektedir. Elenmeyen değerler büyüktür küçükçe sıralanır ve saklanır. Destek değerlerine göre sıralanan nesnelerden destek değeri büyük olanlar köke yakın olanlardır. İşlem kayıtlarında olan bir nesnenin ağacın içinde olup olmadığına

bakılır. Ağacın içinde yok ise o nesne için yeni bir düğüm oluşturur ve destek sayısını 1 artırır, varsa da olduğu düğümün destek değerini 1 arttırmaktadır. Ağaç oluştuktan sonra da nesnelerin geçtiği dallar belirlenmektedir. Belirlenen dal tek ise nesnelerin kombinasyonudur. Birden fazla dal var ise destek değeri o daldaki minimum destek değerine eşitlenir. Bu şekilde FP-Growth Algoritması böl ve yönet kuralını uygulayarak büyük bir nesne kümesini daha küçük nesne kümelerine bölmektedir. Sonuçta oluşan ağaç yapısı (FP-Tree) asıl veri kümesinden büyük olmamaktadır (Kiraz ve Deliismail, 2018).

FP Growth algoritmasının adımları aşağıdaki gibidir;

1. Minimum destek değeri hesaplanır.
2. Sıklık değerleri bulunur. (Yani toplamda kaç tane satıldıkları bulunur.)
3. Ürünler önem derecelerine göre sıralanır.
4. Siparişin içindeki ürünler önem derecelerine göre sıralanır.
5. FP-Tree çizilir (Kiraz ve Deliismail, 2018).

4. MATERİYAL VE METOD

4.1.Verilerin Elde edilmesi

Araştırmada kullanılacak verilerin toplanabilmesi amacıyla, bu çalışmada 28 sorudan oluşan soru formu kullanılmıştır. Soru formu hazırlanırken, soru formu içerisinde yer alan soruların araştırılmakta olan varsayımlarla doğrudan ilişkili olmasına önem gösterilmiştir. Soru formundaki sorular Sinop İli Merkezde yaşayan kişilerin çevre bilincinin belirleyecek şekilde hazırlanmıştır. Başlangıçta Sinop İli Merkezinde çeşitli mahallelerde yaşayan vatandaşların demografik özelliklerini içeren sorulara (eğitim, yaş, medeni durum, meslek, vb.) yer verilmiş, devamında ise bu vatandaşların çevre bilincini tespit edecek sorular sorulmuştur. Bu kapsamda mümkün olduğunca Sinop İli merkezde yer alan bütün mahallerde ikamet eden 18 yaş ve üzerindeki kişilerle çalışılmıştır. Soru formunun uygulanacağı kişi sayısı belirlenirken %95 güven düzeyi ve %5 hata payına göre hesap yapılmıştır. 20000-60000 (Sinop İli nüfusu bu aralıktadır.) arasındaki birey sayılarında örnek büyüklüğü 377 ile 382 arasında değiştiği bulunmuştur. Bazı insanların sorulara rasgele cevap verebilecekleri düşünülerek 408 kişiye uygulanmıştır. Soru formunda rasgele cevap verdiği tespit edilen kişilerin cevapları dikkate alınmamıştır. Tasarlanan soru formu online ortamda oluşturulmuş olup sosyal medyadan kolayda örneklem yöntemiyle Temmuz 2021 de uygulanmıştır.

Soru formu oluşturulduktan sonra Sinop Üniversitesi İnsan Araştırmaları Etik Kurulu tarafından 03.02.2021 ve Tarih ve 2021/19 Karar Sayısı ile uygun olduğuna dair izin alınmıştır.

Kişilere uygulanan soru formu aşağıda verilmiştir.

- 1) Cinsiyetiniz
☐Kadın ☐Erkek
- 2) Yaşınız
☐18-24 ☐25-44 ☐45-64 ☐65 ve üstü
- 3) Medeni durumunuz
☐Evli ☐Bekâr
- 4) Eğitim durumunuz
☐İlköğretim ☐Lise ☐Ön Lisans ☐Lisans ☐Lisansüstü
- 5) Mesleğiniz
☐Öğrenci ☐İşçi ☐Memur ☐Emekli ☐İşsiz ☐Diğer
- 6) Ailenizin ortalama geliri
☐0-2324TL ☐2325-4213TL ☐4214-6123TL ☐6124-8119TL
☐8120TL ve üzeri
- 7) Sinop ilinde kaç yıldır ikamet ediyorsunuz?
☐0-1 ☐2-4 ☐5-7 ☐8-10 ☐11 yıl ve üstü
- 8) Temiz bir çevrenin eğitim seviyesi ile ilgili olduğunu düşünüyor musunuz?
☐Evet ☐Hayır ☐Kararsızım
- 9) Hava kirliliği ile ilgili yeterince bilgi sahibi olduğunuzu düşünüyor musunuz?
☐Evet ☐Hayır ☐Kararsızım
- 10) Yaşam alanınız (Ev, Ofis, Okul vb.) yeterince temiz olduğunu düşünüyor musunuz?
☐Evet ☐Hayır ☐Kararsızım
- 11) Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu düşünüyor musunuz?
☐Evet ☐Hayır ☐Kararsızım
- 12) Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğunu düşünüyor musunuz?
☐Evet ☐Hayır ☐Kararsızım
- 13) Ekonomik kalkınma için hava kirliliğinden ödün verilmeli midir?
☐Evet ☐Hayır ☐Kararsızım
- 14) Hava kirliliğini önlemek için ülkemizde yeni yasaya ihtiyaç olduğunu düşünüyor musunuz?
☐Evet ☐Hayır ☐Kararsızım
- 15) Hava kirliliği ile ilgili örgütlenmeler sizce yeterli mi?
☐Evet ☐Hayır ☐Kararsızım
- 16) Sinop ilinde hava kirliliği olduğunu düşünüyor musunuz?
☐Evet ☐Hayır ☐Kararsızım
- 17) Sinop ilinde hava kirliliğini önlemek için yeterince ağaçlandırma çalışması yapıldığını düşünüyor musunuz?
☐Evet ☐Hayır ☐Kararsızım

18) Sinop ilinde hava kirliliğine neden olan temel faktör sizce nedir?

☐Kömür kullanımı ☐Sanayi Atıkları ☐Evsel Atıklar ☐Orman

Yangınları

☐Motorlu Taşıtlar ☐Diğer

19) Sinop ilinde hangi hava kirliliği çeşidi sizi daha çok rahatsız etmektedir?

☐Toz ☐Duman ☐Gaz ☐Koku ☐Diğer

20) Sinop ilinde hava kirliliği olduğunu düşünüyor musunuz?

☐Kirli olduğunu düşünüyorum

☐Orta kirli olduğunu düşünüyorum

☐Kirli olmadığını düşünüyorum

21) Birleşimine bağlı olarak Sinop ili için hangi tip hava kirliliğinin daha etkili olduğunu düşünüyorsunuz?

☐ Londra tipi(Kömür ve petrol yanma ürünlerinin sisle karışmasıyla oluşur)

☐ Los Angeles tipi(Dumandan çok gazlara bağlı kirlilik)

☐ Diğer

☐ Fikrim yok

22) Sinop ili için, Kaynaklarına Göre Çevre Kirliliğini önem dercesine göre numaralandırınız?

1 Önemli; 2 Az Önemli; 3 Kararsız; 4 Önemli; 5 Çok Önemli.	1	2	3	4	5
Endüstriyel Kaynaklı Kirlilik	☐	☐	☐	☐	☐
Şehirleşmeden Kaynaklı Kirlilik	☐	☐	☐	☐	☐
Tarımsal Faaliyetlerden Kaynaklanan Kirlilik	☐	☐	☐	☐	☐

23) Sinop ili için, Kaynaklarına Göre Çevre Kirliliklerine yeterli önlem alındığını düşünüyor musunuz?

☐Evet

☐Hayır

☐Kararsızım

24) Sinop ili için, Çevrenin Unsurlarına Göre meydana gelen çevre kirliliklerini önem derecesine göre numaralandırınız.

1 Önemli; 2 Az Önemli; 3 Kararsız; 4 Önemli; 5 Çok Önemli.	1	2	3	4	5
Hava Kirliliği	☐	☐	☐	☐	☐
Toprak Kirliliği	☐	☐	☐	☐	☐
Su Kirliliği	☐	☐	☐	☐	☐
Gıda Kirliliği	☐	☐	☐	☐	☐
Gürültü Kirliliği	☐	☐	☐	☐	☐
Elektromanyetik Kirlilik	☐	☐	☐	☐	☐
Diğer	☐	☐	☐	☐	☐

25) Sinop ili için, Çevrenin Unsurlarına Göre meydana gelen kirliliklere yeterli önlem alındığını düşünüyor musunuz?

☐Evet

☐Hayır

☐Kararsızım

26) Sinop ili için, Çevrenin Özelliklerine Göre meydana gelen çevre kirliliklerini önem derecesine göre numaralandırınız.

1 Önemsiz; 2 Az Önemli; 3 Kararsızım; 4 Önemli; 5 Çok Önemli.	1	2	3	4	5
Fiziksel Kirlenme	☐	☐	☐	☐	☐
Biyolojik Kirlenme	☐	☐	☐	☐	☐
Kimyasal Kirlenme	☐	☐	☐	☐	☐

27) Sinop ili için, Çevrenin Özelliklerine Göre meydana gelen kirliliklere yeterli önlem alındığını düşünüyor musunuz?

☐Evet ☐Hayır ☐Kararsızım

28) Türkiye’ de çevre kirliliğini önlemek ve farkındalık yaratmak için mücadele eden kurum ve kuruluşlar bulunmaktadır. Sinop ilinde bu kurum ve kuruluşlardan hangisinin daha verimli çalışmalar yürüttüğünü düşünüyorsunuz?

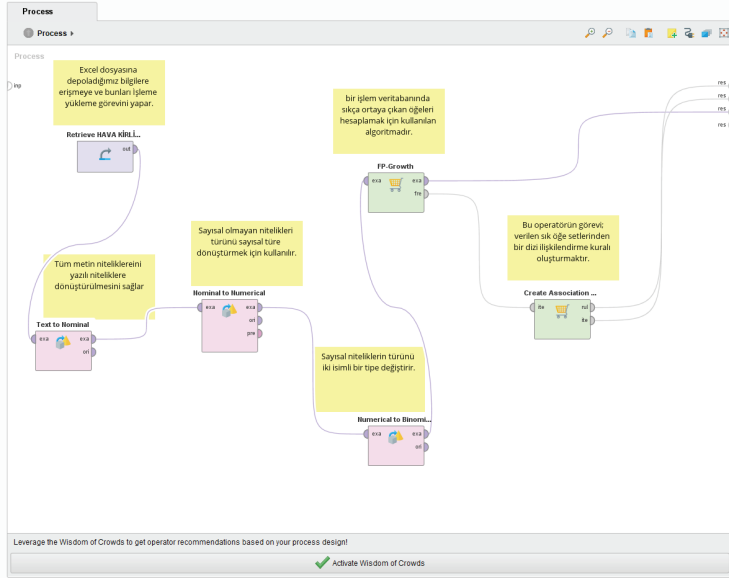
☐Bakanlık ☐Belediye ☐Üniversite ☐Meslek Kuruluşları
☐Sivil Toplum Kuruluşları ☐Diğer

4.2. Modelin Kurulması

Yapılan çalışmada bilim dünyasında ve çeşitli endüstrilerde problemleri çözmek için yaygın olarak kullanılan Rapidminer yazılımı kullanılmıştır.

Hazırlanan soru formundaki sorular kullanılarak RapidMiner programında yer alan veri madenciliği algoritmaları içerisinde bulunan birliktelik analizlerinden biri olan FP-Growth analizi ile değerlendirilerek çevre bilinci belirlenmeye çalışılmıştır.

Şekil 11’de FP-Growth birliktelik algoritmasında verilerin analizi için hazırlanan proses verilmiştir.



Şekil 11. Rapidminer Yazılımında FP-Growth Analizi İçin Hazırlanan Proses

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü üzere Rapidminer yazılımında işlemler operatörler aracılığıyla gerçekleşmektedir. Her bir operatörün şekilde de anlaşılacağı üzere bir görevi bulunmaktadır. Bu prosese deki operatörlerin görevlerine bakacak olursak; Retrieve operatörü excel dosyasına yüklediğimiz bilgilere erişmemizi sağlar. Text to nominal operatörü tam metin niteliklerini yazılı niteliklere dönüştürmeyi sağlar. Nominal to numerical operatörü sayısal olmayan niteliklere sayısal niteliklere dönüştürür. Numerical to binominal operatörü sayısal niteliklerin türünü iki isimli bir tipe değiştirir. FP-Growth operatörü bir işlem veri tabanında sıkça ortaya çıkan öğeleri hesaplamak için kullanılır. Son olarak ise create association rules operatörü ise verilen sık öğe setlerinden bir dizi ilişkilendirme kuralı oluşturmaktır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

FP-Growth birliktelik algoritması kullanılarak Sinop İli merkezde yaşayan kişilerin hava kirliliği bilincine ilişkin kurallar çıkartılmıştır. Kurallar sayesinde verilerden anlamlı birliktelikler elde edilmiştir. Aşağıda elde edilen birliktelik kuralları verilmiştir. Kuralların güvenilirlik düzeyi en az %90 seçilmiştir. Toplam 171442 birliktelik kuralı bulunmuştur. Bu kurallardan bazıları aşağıda verilmiştir.

1- [Ailenizin ortalama geliri = 8120 TL ve üzeri] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 0.900)

2- [Sinop ili için, Kaynaklarına Göre Çevre Kirliliklerine yeterli önlem alındığını düşünüyor musunuz = Hayır, Sinop ili için, Kaynaklarına Göre

Çevre Kirliliğini önem derecesine göre numaralandırınız [Tarımsal Faaliyetlerden Kaynaklanan Kirlilik] = Az Önemli] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı varmı = Evet] (confidence: 0.900)

3- [Sinop ili için, Çevrenin Unsurlarına Göre meydana gelen çevre kirliliklerini önem derecesine göre numaralandırınız [Hava kirliliği] = Çok önemli, Sinop ili için, Çevrenin Özelliklerine Göre meydana gelen çevre kirliliklerini önem derecesine göre numaralandırınız [Biyolojik kirlenme] = Çok Önemli] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı varmı = Evet] (confidence: 0.900)

4- [Yaşınız = 18-24, Mesleğiniz = Öğrenci] --> [Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet] (confidence: 0.900)

5- [Yaşam alanınız (Ev, Ofis, Okul vb.) yeterince temiz mi = Evet, Sinop ilinde hava kirliliğine neden olan temel faktör sizce nedir = Kömür kullanımı] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı varmı = Evet, Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet] (confidence: 0.900)

6- [Sinop ilinde hava kirliliğini önlemek için yeterince ağaçlandırma çalışması varmı = Hayır, Mesleğiniz = Memur] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı varmı = Evet, Ekonomik kalkınma için hava kirliliğinden ödün verilmeli midir = Hayır] (confidence: 0.900)

7- [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı varmı = Evet, Sinop ili için, Çevrenin Unsurlarına Göre meydana gelen kirliliklere yeterli önlem alındığını düşünüyor musunuz = Hayır, Sinop ilinde hava kirliliğine neden olan temel faktör sizce nedir = Motorlu taşıtlar] --> [Hava kirliliği ile ilgili örgütlenmeler sizce yeterli mi = Hayır] (confidence: 0.900)

8- [Temiz bir çevrenin eğitim seviyesi ile ilgimi = Evet, Hava kirliliği ile ilgili örgütlenmeler sizce yeterli mi = Hayır, Sinop ilinde hava kirliliğini önlemek için yeterince ağaçlandırma çalışması varmı = Kararsızım] --> [Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet] (confidence: 0.900)

9- [Ekonomik kalkınma için hava kirliliğinden ödün verilmeli midir = Hayır, Sinop ilinde kaç yıldır ikamet ediyorsunuz = 5-7] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı varmı = Evet] (confidence: 0.940)

10- [Medeni Durumunuz = Evli, Sinop ilinde hangi hava kirliliği çeşidi sizi daha çok rahatsız etmektedir = Koku] --> [Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet] (confidence: 0.940)

11- [Yaşınız = 25-44, Sinop ili için, Çevrenin Özelliklerine Göre mey-

dana gelen çevre kirliliklerini önem derecesine göre numaralandırınız [Biyolojik kirlenme] = Çok Önemli] --> [Ekonomik kalkınma için hava kirliliğinden ödün verilmeli midir = Hayır] (confidence: 0.940)

12- [Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet, Hava kirliliği ile ilgili örgütlenmeler sizce yeterli mi = Kararsızım] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 0.960)

13- [Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet, Hava kirliliği ile ilgili yeterince bilgi sahip misiniz = Evet, Sinop ili için, Çevrenin Unsurlarına Göre meydana gelen çevre kirliliklerini önem derecesine göre numaralandırınız [Elektromanyetik kirlilik] = Önemsiz] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 0.960)

14- [Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet, Yaşam alanınız (Ev, Ofis, Okul vb.) yeterince temiz mi = Evet, Sinop ilinde hava kirliliğine neden olan temel faktör sizce nedir = Kömür kullanımı] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 0.960)

15- [Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet, Hava kirliliğini önlemek için ülkemizde yeni yasaya ihtiyaç var mı = Evet, Sinop ilinde kaç yıldır ikamet ediyorsunuz = 11 yıl ve üstü] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 0.970)

16- [Temiz bir çevrenin eğitim seviyesi ile ilgilimi = Evet, Ekonomik kalkınma için hava kirliliğinden ödün verilmeli midir = Hayır, Mesleğiniz = Memur] --> [Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet] (confidence: 0.970)

17- [Hava kirliliğini önlemek için ülkemizde yeni yasaya ihtiyaç varmı = Evet, Sinop ili için, Çevrenin Özelliklerine Göre meydana gelen kirliliklere yeterli önlem alındığını düşünüyor musunuz = Hayır, Sinop ilinde hava kirliliği olduğunu düşünüyor musunuz = Hayır] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet, Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet] (confidence: 0.970)

18- [Eğitim durumunuz = Lisans, Mesleğiniz = Öğrenci] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 0.980)

19- [Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet, Hava kirliliği ile ilgili yeterince bilgi sahip misiniz]

niz = Evet, Sinop ili için, Çevrenin Özelliklerine Göre meydana gelen çevre kirliliklerini önem derecesine göre numaralandırınız [Fiziksel kirlenme] = Önemli] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 0.980)

20- [Ekonomik kalkınma için hava kirliliğinden ödün verilmeli midir = Hayır, Eğitim durumunuz = Lisans, Türkiye’ de çevre kirliliğini önlemek ve farkındalık yaratmak için mücadele eden kurum ve kuruluşlar bulunmaktadır. Sinop ilinde bu kurum ve kuruluşlardan hangisinin daha verimli çalışmalar yürüttüğünü düşünüyorsunuz = Sivil Toplum Kuruluşları] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 0.980)

21- [Hava kirliliği ile ilgili yeterince bilgiye sahip misiniz = Evet, Sinop ili için, Kaynaklarına Göre Çevre Kirliliklerine yeterli önlem alındığını düşünüyor musunuz = Hayır, Sinop ili için, Kaynaklarına Göre Çevre Kirliliğini önem derecesine göre numaralandırınız [Şehirleşmeden Kaynaklı Kirlilik] = Çok Önemli] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 0.980)

22- [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet, Sinop ili için, Çevrenin Unsurlarına Göre meydana gelen kirliliklere yeterli önlem alındığını düşünüyor musunuz = Hayır, Eğitim durumunuz = Lisans] --> [Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet] (confidence: 0.990)

23- [Hava kirliliğini önlemek için ülkemizde yeni yasaya ihtiyaç var mı = Evet, Ekonomik kalkınma için hava kirliliğinden ödün verilmeli midir = Hayır, Hava kirliliği ile ilgili örgütlenmeler sizce yeterli mi = Hayır, Sinop ilinde ne derece hava kirliliği olduğunu düşünüyorsunuz. = Orta kirli olduğunu düşünüyorum, Sinop ili için, Çevrenin Unsurlarına Göre meydana gelen kirliliklere yeterli önlem alındığını düşünüyor musunuz = Hayır] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet, Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet] (confidence: 0.990)

24- [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet, Temiz bir çevrenin eğitim seviyesi ile ilgimi = Evet, Hava kirliliğini önlemek için ülkemizde yeni yasaya ihtiyaç var mı = Evet, Ekonomik kalkınma için hava kirliliğinden ödün verilmeli midir = Hayır, Medeni Durumunuz = Evli] --> [Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet] (confidence: 0.990)

25- [Temiz bir çevrenin eğitim seviyesi ile ilgimi = Evet, Hava kirliliğini önlemek için ülkemizde yeni yasaya ihtiyaç var mı = Evet, Ekonomik kalkınma için hava kirliliğinden ödün verilmeli midir = Hayır, Medeni Du-

rumunuz = Evli] --> [Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet] (confidence: 0.990)

26- [Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet, Hava kirliliğini önlemek için ülkemizde yeni yasaya ihtiyaç var mı = Evet, Ekonomik kalkınma için hava kirliliğinden ödün verilmeli midir = Hayır, Hava kirliliği ile ilgili örgütlenmeler sizce yeterli mi = Hayır, Cinsiyetiniz = Erkek] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 0.990)

27- [Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet, Hava kirliliğini önlemek için ülkemizde yeni yasaya ihtiyaç var mı = Evet, Ekonomik kalkınma için hava kirliliğinden ödün verilmeli midir = Hayır, Yaşınız = 25-44, Sinop ili için, Çevrenin Özelliklerine Göre meydana gelen kirliliklere yeterli önlem alındığını düşünüyor musunuz = Hayır] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 0.990)

28- [Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet, Sinop ili için, Çevrenin Unsurlarına Göre meydana gelen kirliliklere yeterli önlem alındığını düşünüyor musunuz = Kararsızım] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 1.000)

29- [Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet, Sinop ili için, Çevrenin Unsurlarına Göre meydana gelen çevre kirliliklerini önem derecesine göre numaralandırınız [Toprak kirliliği] = Önemli] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 1.000)

30- [Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet, Sinop ili için, Çevrenin Özelliklerine Göre meydana gelen çevre kirliliklerini önem derecesine göre numaralandırınız [Kimyasal kirlenme] = Önemli] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 1.000)

31- [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet, Sinop ili için, Çevrenin Unsurlarına Göre meydana gelen çevre kirliliklerini önem derecesine göre numaralandırınız [Toprak kirliliği] = Çok önemli] --> [Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet] (confidence: 1.000)

32- [Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet, Birleşimine bağlı olarak Sinop ili için hangi tip hava kirliliğinin daha etkili olduğunu düşünüyorsunuz = Diğer] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 1.000)

33- [Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet, Ailenizin ortalama geliri = 2325-4213 TL] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 1.000)

34- [Hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olur mu = Evet, Eğitim durumunuz = Lisansüstü] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 1.000)

35- [Hava kirliliğini önlemek için ülkemizde yeni yasaya ihtiyaç var mı = Evet, Sinop ili için, Çevrenin Unsurlarına Göre meydana gelen çevre kirliliklerini önem derecesine göre numaralandırınız [Elektromanyetik kirlilik] = Kararsızım] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 1.000)

36- [Hava kirliliğini önlemek için ülkemizde yeni yasaya ihtiyaç var mı = Evet, Sinop ilinde kaç yıldır ikamet ediyorsunuz = 5-7] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 1.000)

37- [Hava kirliliğini önlemek için ülkemizde yeni yasaya ihtiyaç var mı = Evet, Ailenizin ortalama geliri = 6124-8119 TL] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 1.000)

38- [Yaşınız = 25-44, Sinop ilinde hava kirliliğine neden olan temel faktör sizce nedir = Motorlu taşıtlar] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 1.000)

39- [Yaşınız = 25-44, Eğitim durumunuz = Lisansüstü] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 1.000)

40- [Hava kirliliği ile ilgili yeterince bilgiye sahip misiniz = Evet, Sinop ili için, Çevrenin Unsurlarına Göre meydana gelen çevre kirliliklerini önem derecesine göre numaralandırınız [Toprak kirliliği] = Çok önemli] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 1.000)

41- [Hava kirliliği ile ilgili yeterince bilgiye sahip misiniz = Evet, Türkiye’de çevre kirliliğini önlemek ve farkındalık yaratmak için mücadele eden kurum ve kuruluşlar bulunmaktadır. Sinop ilinde bu kurum ve kuruluşlardan hangisinin daha verimli çalışmalar yürüttüğünü düşünüyorsunuz = Belediye] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı varmı = Evet] (confidence: 1.000)

42- [Hava kirliliği ile ilgili yeterince bilgi sahip misiniz = Evet, Mesleğiniz = Öğrenci] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 1.000)

43- [Hava kirliliği ile ilgili yeterince bilgi sahip misiniz = Evet, Eğitim durumunuz = Lisansüstü] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 1.000)

44- [Hava kirliliği ile ilgili yeterince bilgi sahip misiniz = Evet, Sinop ili için, Çevrenin Unsurlarına Göre meydana gelen çevre kirliliklerini önem derecesine göre numaralandırınız [Diğer] = Önemli] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 1.000)

45- [Medeni Durumunuz = Evli, Sinop ili için, Çevrenin Unsurlarına Göre meydana gelen çevre kirliliklerini önem derecesine göre numaralandırınız [Hava kirliliği] = Önemli] --> [Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı var mı = Evet] (confidence: 1.000)

Yukarıda verilen kuralları analiz edecek olursak;

Kural 1'e göre %90 güvenilirlik ile ailesinin ortalama geliri 8120 TL ve üzeri olan kişilerin, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu düşünmektedirler.

Kural 2'e göre %90 güvenilirlik ile Sinop ili için, Kaynaklarına göre çevre kirliliklerine yeterli önlem alındığını düşünmeyen, Sinop ili için, Kaynaklarına Göre Çevre Kirliliğinin tarımsal faaliyetlerden dolayı az önemli olduğunu düşünenler hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu söylemektedirler.

Kural 3'e göre %90 güvenirlikle Sinop ili için, Çevrenin Unsurlarına Göre meydana gelen çevre kirliliklerinden hava kirliliğinin ve biyolojik kirliliğin çok önemli olduğunu söyleyenler, Hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu düşünmektedirler.

Kural 4'e göre %90 güvenirlikle yaşının 18-24 ve mesleği öğrenci olanların, hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğunu düşünmektedirler.

Kural 5'e göre %90 güvenirlikle yaşam alanı (ev, ofis, okul vb.) yeterince temiz ve Sinop ilinde hava kirliliğine neden olan temel faktörün kömür kullanımı olduğunu düşünenler hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu ve hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğunu söylemektedirler.

Kural 6'a göre %90 güvenirlikle Sinop ilinde hava kirliliğini önlemek için yeterince ağaçlandırma çalışması olmadığını ve mesleği memur olan kişilerin, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu ve ekonomik kalkınma için hava kirliliğinden ödün verilmemesi gerektiğini söylemektedirler.

Kural 7'e göre %90 güvenirlikle hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu, Sinop ili için, çevrenin unsurlarına göre meydana

na gelen kirliliklere yeterli önlem alındığını düşünmeyenler ve Sinop ilinde hava kirliliğine neden olan temel faktörün motorlu taşıtlar olduğunu söyleyenler hava kirliliği ile ilgili örgütlenmelerin yeterli olmadığını söylemektedirler.

Kural 8'e göre %90 güvenirlikle temiz bir çevrenin eğitim seviyesi ile ilgili, hava kirliliği ile ilgili örgütlenmelerin yeterli olmadığını ve Sinop ilinde hava kirliliğini önlemek için yeterince ağaçlandırma çalışması olduğu hakkında ürüştü kararsız olanlar, hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğunu söylemektedirler.

Kural 9'a göre %94 güvenirlikle ekonomik kalkınma için hava kirliliğinden ödün verilmemesi gerektiği ve Sinop ilinde 5-7 yıldır ikamet eden kişilerin, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu düşünmektedirler.

Kural 10'a göre %94 güvenirlikle medeni durumu evli ve Sinop ilinde hangi hava kirliliği çeşidi olarak en fazla kokunun rahatsız ettiğini söyleyenler, hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğunu düşünmektedirler.

Kural 11'e göre %94 güvenirlikle yaşı 25-44 arası olan ve Sinop ili için, çevrenin özelliklerine göre meydana gelen çevre kirliliklerinde biyolojik kirlenmenin çok önemli olduğunu düşünenler, ekonomik kalkınma için hava kirliliğinden ödün verilmemesi gerektiğini söylemektedirler.

Kural 12'e göre %96 güvenirlikle hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğunu ve hava kirliliği ile ilgili örgütlenmelerin yeterliliği konusunda kararsız olanlar, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu söylemektedirler.

Kural 13'e göre %96 güvenirlikle hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğunu, hava kirliliği ile ilgili yeterince bilgi sahibi olduğunu ve Sinop ili için, çevrenin unsurlarına göre meydana gelen çevre kirliliklerinde elektromanyetik kirliliğin önemsiz olduğunu düşünenler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu söylemektedirler.

Kural 14'e göre %96 güvenirlikle hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğunu, yaşam alanı (Ev, Ofis, Okul vb.) yeterince temiz olduğunu ve Sinop ilinde hava kirliliğine neden olan temel faktörün kömür kullanımı olduğunu düşünenler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu söylemektedirler.

Kural 15'e göre %97 güvenirlikle hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğunu, hava kirliliğini önlemek için ülkemizde yeni yasaya ihtiyaç olduğunu ve Sinop ilinde 11 yıl ve üstü

ikamet edenlerin, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu düşünmektedirler.

Kural 16'a %97 güvenirlikle göre temiz bir çevrenin eğitim seviyesi ile ilgili, ekonomik kalkınma için hava kirliliğinden ödün verilmemesi gerektiği ve mesleği memur olanların, hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarına neden olduğunu söylemektedirler.

Kural 17'e göre %97 güvenirlikle hava kirliliğini önlemek için ülkemizde yeni yasaya ihtiyaç olduğunu, Sinop ili için, çevrenin özelliklerine göre meydana gelen kirliliklere yeterli önlem alınmadığını ve Sinop ilinde hava kirliliği olmadığını düşünenler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu ve hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğunu söylemektedirler.

Kural 18'e göre %98 güvenirlikle Eğitim durumunuz lisans ve mesleği öğrenci olanların, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu düşünmektedir.

Kural 19'a göre %98 güvenirlikle hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğu, hava kirliliği ile ilgili yeterince bilgi sahibi olduğu, Sinop ili için, çevrenin özelliklerine göre meydana gelen çevre kirliliklerinden fiziksel kirlenmenin önemli olduğunu düşünenler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu söylemektedirler.

Kural 20'e göre %98 güvenirlikle ekonomik kalkınma için hava kirliliğinden ödün verilmemesi gerektiği, eğitim durumu lisans, Türkiye'de çevre kirliliğini önlemek ve farkındalık yaratmak için mücadele eden kurum ve kuruluşlar bulunmakta olduğunu ve Sinop ilinde bu kurum ve kuruluşlardan sivil toplum kuruluşlarının daha verimli çalışmalar yürüttüğünü söyleyenler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu düşünmektedirler.

Kural 21'e göre %98 güvenirlikle hava kirliliği ile ilgili yeterince bilgiye sahip, Sinop ili için, kaynaklarına göre çevre kirliliklerine yeterli önlem alınmadığını ve Sinop ili için, kaynaklarına göre çevre kirliliklerinden şehirleşmeden kaynaklı kirliliğin çok önemli olduğunu düşünenler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu söylemektedirler.

Kural 22'e göre %99 güvenirlikle hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğu, Sinop ili için, Çevrenin Unsurlarına Göre meydana gelen kirliliklere yeterli önlem alınmadığını ve eğitim durumu lisans olan kişilerin, hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğunu söylemektedirler.

Kural 23'e göre %99 güvenirlikle hava kirliliğini önlemek için ülkemiz-

de yeni yasaya ihtiyaç olduğunu, ekonomik kalkınma için hava kirliliğinden ödün verilmemesi gerektiğini, hava kirliliği ile ilgili örgütlenmeler sizce yeterli olmadığını, Sinop ilinde hava kirliliğinin orta derecede olduğunu ve Sinop ili için, çevrenin unsurlarına göre meydana gelen kirliliklere yeterli önlem alınmadığını düşünenler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu ve hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğunu söylemektedirler.

Kural 24'e göre %99 güvenilirlikle hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğu, temiz bir çevrenin eğitim seviyesi ile ilgili olduğu, hava kirliliğini önlemek için ülkemizde yeni yasaya ihtiyaç olduğunu, ekonomik kalkınma için hava kirliliğinden ödün verilmemesi gerektiği ve medeni durumu evli olan kişiler, hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğunu söylemektedirler.

Kural 25'e göre %99 güvenilirlikle temiz bir çevrenin eğitim seviyesi ile ilgili olduğu, hava kirliliğini önlemek için ülkemizde yeni yasaya ihtiyaç olduğu, ekonomik kalkınma için hava kirliliğinden ödün verilmemesi gerektiği ve medeni Durumu evli olan kişilerin, hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğunu söylemektedirler.

Kural 26'a göre %99 güvenilirlikle hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğu, hava kirliliğini önlemek için ülkemizde yeni yasaya ihtiyaç olduğu, Ekonomik kalkınma için hava kirliliğinden ödün verilmemesi gerektiği, hava kirliliği ile ilgili örgütlenmeler sizce yeterli olmadığı ve cinsiyetiniz erkek olan kişilerin, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu düşünmektedirler.

Kural 27'e göre %99 güvenilirlikle hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğu, hava kirliliğini önlemek için ülkemizde yeni yasaya ihtiyaç olduğu, Ekonomik kalkınma için hava kirliliğinden ödün verilmemesi gerektiği, yaşının 25-44 arası olduğu ve Sinop ili için, Çevrenin Özelliklerine Göre meydana gelen kirliliklere yeterli önlem alınmadığını düşünenler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu söylemektedirler.

Kural 28'e göre %100 güvenilirlikle hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğu ve Sinop ili için ve Çevrenin Unsurlarına Göre meydana gelen kirliliklere yeterli önlem alındığı konusundaki düşüncesinin kararsız olduğunu söyleyenler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu düşünmektedirler.

Kural 29'a göre %100 güvenilirlikle hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğu ve Sinop ili için, çevrenin unsurlarına göre meydana gelen çevre kirliliklerinden toprak kirliliğinin önemli olduğunu düşünenler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir

bağlantı olduğunu söylemektedirler.

Kural 30'a göre %100 güvenirlikle hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğu ve Sinop ili için, çevrenin özelliklerine göre meydana gelen çevre kirliliklerinden kimyasal kirlenmenin önemli olduğunu söyleyenler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu düşünmektedirler.

Kural 31'e göre %100 güvenirlikle hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğu ve Sinop ili için, çevrenin unsurlarına göre meydana gelen çevre kirliliklerinden toprak kirliliğinin çok önemli olduğunu düşünenler, hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğunu söylemektedirler.

Kural 32'e göre %100 güvenirlikle hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğunu ve birleşimine bağlı olarak Sinop ili için hangi tip hava kirliliğinin daha etkili olduğu sorusuna diğer cevabını verenler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu söylemektedirler.

Kural 33'e göre %100 güvenirlikle hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğunu ve ailesinin ortalama gelirinin 2325-4213 TL arasında olan kişilerin, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu düşünmektedirler.

Kural 34'e göre %100 güvenirlikle hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğunu ve eğitim durumu Lisansüstü olan kişiler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu söylemektedirler.

Kural 35'e göre %100 güvenirlikle hava kirliliğini önlemek için ülkemizde yeni yasaya ihtiyaç olduğu ve Sinop ili için, Çevrenin Unsurlarına Göre meydana gelen çevre kirliliklerinden elektromanyetik kirlilik konusunda düşüncesinin kararsız olduğunu söyleyenler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu düşünmektedirler.

Kural 36'a göre %100 güvenirlikle hava kirliliğini önlemek için ülkemizde yeni yasaya ihtiyaç olduğunu ve Sinop ilinde 5-7 yıl arasında ikamet eden kişiler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu söylemektedirler.

Kural 37'e göre %100 güvenirlikle hava kirliliğini önlemek için ülkemizde yeni yasaya ihtiyaç olduğunu ve ailesinin ortalama gelirinin 6124-8119 TL arasında olan kişiler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu söylemektedirler.

Kural 38'e göre %100 güvenirlikle yaşı 25-44 arasında olan ve Sinop ilinde hava kirliliğine neden olan temel faktör motorlu taşıtlar olduğunu dü-

şüenler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu söylemektedirler.

Kural 39'a göre %100 güvenilirlikle yaşı 25-44 arası olan ve eğitim durumu lisansüstü olan kişiler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu söylemektedirler.

Kural 40'a göre %100 güvenilirlikle hava kirliliği ile ilgili yeterince bilgiye sahip olduğu ve Sinop ili için, çevrenin unsurlarına göre meydana gelen çevre kirliliklerinden toprak kirliliğinin çok önemli olduğunu düşünenler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu söylemektedirler.

Kural 41'e göre %100 güvenilirlikle hava kirliliği ile ilgili yeterince bilgi sahibi olduğu ve Türkiye' de çevre kirliliğini önlemek ve farkındalık yaratmak için mücadele eden kurum ve kuruluşlar bulunduğu ve Sinop ilinde bu kurum ve kuruluşlardan belediyenin daha verimli çalışmalar yürüttüğünü düşünenler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu söylemektedirler.

Kural 42'e göre %100 güvenilirlikle hava kirliliği ile ilgili yeterince bilgi sahip olduğu ve mesleği öğrenci olan kişiler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu söylemektedirler.

Kural 43'e göre %100 güvenilirlikle hava kirliliği ile ilgili yeterince bilgi sahip olduğu ve eğitim durumu lisansüstü olan kişiler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu düşünmektedirler.

Kural 44'e göre %100 güvenilirlikle hava kirliliği ile ilgili yeterince bilgi sahip olduğu ve Sinop ili için, Çevrenin Unsurlarına Göre meydana gelen çevre kirliliklerinden diğer seçeneğini seçip önemli olduğunu söyleyen kişiler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu söylemektedirler.

Kural 45'e göre %100 güvenilirlikle medeni durumu evli ve Sinop ili için, Çevrenin Unsurlarına Göre meydana gelen çevre kirliliklerinden Hava kirliliğinin önemli olduğunu düşünen kişiler, hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğunu söylemektedirler.

Birliktelik analizi birçok alanda kullanılabilmektedir. Sağlıkta ilaç satış verilerinde (Aydemir ve Yavuz, 2019), mobilyada karşılaşılan sorunların belirlenmesinde (Bardak ve Bardak, 2020), Mobilya seçiminde etkili olan faktörlerin belirlenmesi (Sözen ve ark., 2017) ve otomobil sektörü (Erpolat, 2012) gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

6. SONUÇ

Yapılan bu çalışmada, Sinop İli Merkezde yaşayan kişilerin çevre kirliliği bilincini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla veri toplamak için 28 sorudan oluşan bir soru formu hazırlanmıştır. Daha sonra veri madenciliği yöntemlerinden olan FP-Growth birliktelik analizinden faydalanılmıştır. Bu analiz için Rapidminer programından faydalanılmıştır.

Yapılan birliktelik analizi sonucunda %90 ve üzerinde güvenilirliğe sahip 171442 birliktelik kuralı belirlenmiştir. Bu kurallardan 45 tanesi çalışmada verilmiştir. Birliktelik kuralları bize hangi kişilerin ortak düşüncelere sahip olduğunu göstermektedir. Birliktelik kurallarında en fazla görülen ortak düşüncenin hava kirliliği ile sağlık sorunları arasında bir bağlantı olduğu ve hava kirliliğinin artmasının solunum yolu rahatsızlıklarında bir artışa neden olduğu tespit edilmiştir.

Ülkemizde çevre kirliliği konusunda veri madenciliği yöntemleri ile ilgili çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bu konudaki çalışmalar şehirler ve ülke bazında arttırılarak çevre bilincinin oluşturulması sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- 2872 Sayılı Çevre Kanunu (09 Ağustos 1983). Mevzuat Bilgi Sistemi Erişim: 26 Aralık 2019 <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.2872.pdf>
- Aydemir, E., Yavuz, M. (2019). Mevsimlere göre ilaç satış verilerinin birliktelik analizi ile incelenmesi, Uluslararası Yönetim Bilişim Sistemleri ve Bilgisayar Bilimleri Dergisi, 3(1):23-30.
- Aydın, M.E. (2021). Su Kirliliği. Sağlıklı Düşünce ve Tıp Kültürü Dergisi, Sayı:60, Sayfa:22-23.
- Bardak, S. ve Bardak, T. (2020). Mobilya ürününde en çok karşılaşılan sorunların veri madenciliği ile araştırılması. Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences International Indexed and Refereed, 7 (13), 285-292.
- BBCNEVS/TÜRKÇE (1 Eylül 2021). Hava kirliliği Hindistan’da yaşam süresini ‘9 yıl kısaltabilir’ Erişim:02 Eylül 2021 <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-58408821>
- Büyükgüngör, H. (2006). Çevre Kirliliği ve Çevre Yönetimi. Toprak İşveren Dergisi, Sayı:72
- Çelik, M. (2009). Veri Madenciliğinde Kullanılan Sınıflandırma Yöntemleri ve Bir Uygulama. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Analiz Dalı Yüksek Lisans Tezi
- Çevre Bilgi Portalı (29 Mart 2018). Çevre Kirliliği Çeşitleri Erişim:10 Ekim 2021 <https://cevreonline.com/cevre-kirliligi-cesitleri/>
- Çevre Bilgi Portalı (31 Temmuz 2015). Çevre Kirliliği Türleri Erişim:14 Aralık2021 <https://cevreonline.com/cevre-kirliligi-turleri/>
- Çevre Kuruluşları Dayanışma Derneği (11 Şubat 2014). Çevre Kirliliği Erişim: 07 Ocak 2022 <https://www.cekud.org.tr/tr/cevre-kirliligi/>
- Çevre Sağlığı (13 Nisan 2015). Çevre Kirliliği Nedir? Çeşitleri Nelerdir? / Çevre Kirliliği, Çevre Kirliliği Çeşitleri. Erişim:02 Eylül 2020 <http://oneraltintop.blogspot.com/2015/04/cevre-kirliligi-nedir-cesitleri.html>
- Çevre portalı (18 Ağustos 2016). Toprak Kirliliği Nedir? Erişim: 01 Haziran 2021 <https://www.cevreportal.com/toprak-kirliligi-nedir/>
- Elkoca,E. (2002). Hava Kirliliği ve Bitkiler Üzerindeki Etkileri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 34 (4), 367-374, 2003.
- Erpolat, S. (2012). Otomobil yetkili servislerinde birliktelik kurallarının belirlenmesinde apriori ve fp-growth algoritmalarının karşılaştırılması, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 12(2), 137-146.
- Hürriyet (29 Kasım 2020). Eğirdir Gölü, kimyasal kirlilik nedeniyle köpürüyor Erişim:29 Kasım 2020 <https://www.hurriyet.com.tr/galeri-egirdir-golu-kimyasal-kirlilik-nedeniyle-kopuruyor-41674981/4>

- Karacaer Ulusoy, M. (10 Eylül 2019). Kyoto Protokolü, Paris Anlaşması ve Küresel İklim Değişikliği Erişim:26 Aralık 2019 <https://www.sde.org.tr/merve-karacaer-ulusoy/genel/kyoto-protokolu-paris-anlasmasi-ve-kuresel-iklim-degi-sikligi-kose-yazisi-11280>
- Kiraz, A., Deliismail, İ. (2018). İnternette Yapılan Alışverişlerin Veri Madenciliği Teknikleri ile Analizi ve Depo Süreçlerinin İyileştirilmesi, Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Cilt:1, Sayı:1, Sayfa:29-31.
- MEB (2011). Çevre Sağlığı Erişim: 17 Ekim 2021 http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Elektromanyetik%20Kirlilik.pdf
- Milliyet (04 Ekim 2020). Su Kirliliği Nedenleri ve Sonuçları Nelerdir? Maddeler Halinde Su Kirliliği Erişim: 06 Ekim 2020 <https://www.milliyet.com.tr/egitim/su-kirliligi-nedenleri-ve-sonuclari-nelerdir-maddeler-halinde-su-kirliligi-6321427>
- Önder, S. ve Gülgün B. (2010). Gürültü Kirliliği ve Alınması Gereken Önlemler: Bitkisel Gürültü Perdeleri, Ziraat Mühendisliği Dergisi, Sayı:335
- Özekes, Ö. (2003). Veri Madenciliği Modelleri ve Uygulama Alanları, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt:2, Sayı :3, Sayfa:65-82.
- Ray Haber (30 Eylül 2020). Gürültü Kirliliği Nedir, Nasıl Oluşur ve Nasıl Önlenir? Erişim:30 Eylül 2021 <https://rayhaber.com/2020/09/gurultu-kirliligi-nedir-nasil-olusur-ve-nasil-onlenir/>
- Sözen, E., Bardak, T., Peker, H., Bardak, S. (2017). Apriori Algoritması kullanılarak mobilya seçimde etkili olan faktörlerin analizi. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 6(3), 679-684.
- TRT Haber (05 Haziran 2021). Ergene Nehri can çekişiyor Erişim: 05 Haziran 2021 <https://www.trthaber.com/haber/turkiye/ergene-nehri-can-cekisiyor-586318.html>
- Yeni Biyoloji (30 Nisan 2018). Besin Kirliliği Nedir? Erişim: 21 Ekim 2021 <https://www.yenibiyoloji.com/besin-kirliligi-nedir-4702/>

BÖLÜM 5

ÇAMAŞIR MAKİNELERİNDE OLUŞAN RENKLİ ATIK SUYUN YENİDEN KULLANILMASI VE SU TASARRUFU POTANSİYELİ¹

*Başak Arslan İlkiz²
Yeşim Beceren³*

Cevza Candan⁴

¹ Bu çalışma, “Ev Tipi Yıkamalarda Suyun Tekrar Kullanımı İçin Yıkama Atık Suyundan Renk Giderme Sisteminin Geliştirilmesi” isimli doktora tezinden alıntı yapılarak hazırlanmıştır. Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yeşim Beceren; Prof. Dr. Cevza Candan, Tez No: 712175

² Dr., Arçelik, Ürün Yönetimi, Global Ürün Eğitimi, ORCID ID: 0000-0001-7821-2271

³ Dr. Öğr. Üyesi, İTÜ Tekstil Teknolojileri ve Tasarımı Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, ORCID ID: 0000-0003-2090-347X

⁴ Prof. Dr., İTÜ Tekstil Teknolojileri ve Tasarımı Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, ORCID ID: 0000-0003-2007-5758

1. GİRİŞ

Temiz su yaşam ve sürdürülebilirlik için çok değerli olup tarım alanında, endüstriyel alanda ve evsel alanda vazgeçilmez bir kaynaktır. Artan insan aktivitesi, hızlı yaşam, çevre bilincinin az olması ve yakın geçmişte önemsenmeye başlanması, kuraklıklar, seller vb. nedenlerle dünyamızda temiz su kaynakları giderek azalmakta ve su kirliliği yaygınlaşmaktadır. Her yıl küresel olarak en az 2 milyar insan dışkı ile kirlenmiş içme suyu kaynağı kullanırken, 842.000 kişi esas olarak insan kaynaklı atık suyun yetersiz arıtılmasının veya hiç arıtılmamasının neden olduğu hastalıklardan ölmektedir [1]. Dünya Sağlık Örgütü'nün açıkladığı gibi yüzeysel suların ve yeraltı sularının kirlenmesi nedeniyle insanların yeterli miktarda kaliteli suya erişimi gitgide zorlaşmaktadır. İklim değişikliği su kıtlığı üzerinde önemli rol oynamaktadır. Dünya nüfusunun yarısından fazlasında 2050 yılına kadar kronik olarak su sıkıntısı olması beklenmektedir [2].



Şekil 1 : Dünya genelinde su kıtlığı verileri [3].

Şekil 1'deki Dünya Doğayla Koruma Vakfı (WWF) tarafından paylaşılan dünya genelindeki su kıtlığı verileri dikkate alındığında, tatlı su tüketimini en aza indiren, üretim süreçlerinde suyu azaltan ve/veya yeniden kullanan ürünler ve hizmetler geliştirmek oldukça önemlidir. Bahsi geçen susuzluk problemini çözmek için üç yöntemden bahsedilebilir: Su tasarrufu ile doğal kaynakların korunması, desalinasyon (tuzdan arındırma) ve geri dönüşüm. Suyun geri dönüşümü, su arıtma yöntemlerinin çeşitliliği ve maliyetlerinin düşük olması nedeniyle diğer iki yöntemden daha avantajlıdır [4]. Diğer yandan, evlerde bulaşık yıkama, çamaşır yıkama, duş ve

banyo gibi aktiviteler sonucunda ortaya çıkan evsel atık suların arıtılarak tekrar kullanımı yüksek bir su tasarrufu potansiyeli barındırmaktadır.

Dünyayı önemli derecede etkileyen su kıtlığı sorununa çözüm bulmak amacıyla, başta endüstriyel atık suların arıtılması ve ardından evsel (domestik) atık suların arıtılması, geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılması ile ilgili çok fazla sayıda çalışma ve uygulama yapılmaktadır. Akademik çalışmaların sayısının çok fazla olmasının yanı sıra, kalite standartlarını sağlamayan atık su açığa çıkaran şirketler, üretim yapan firmalar da bu konuya büyük hassasiyet göstermekte ve atık su arıtımı konusunda büyük adımlar atmaktadır. Mevcut durumda, atık suların arıtılması için basitten karmaşığa, tekli uygulamadan çoklu (kademeli) uygulamalara çok fazla sayıda yöntem bulunmakla birlikte, her geçen gün daha efektif ve ekonomik yöntemler önermek üzere yeni çalışmalara devam edilmektedir. Yapılan çalışmalar dünyanın birçok yerinde bu konunun önemini ortaya koymaktadır. Sağlıklı ve kaliteli su elde etmek amacıyla, hem gelişmiş ülkelerde hem de gelişmekte olan ülkelerde su kaynaklarının doğru ve yeterli kullanımını sağlamak ve bilincin daha da artırılması adına çalışmalar vardır.

İnsanlar tarafından bir defa kullanılan herhangi bir su, özellikleri artık doğal su gibi olmayacağı için atık su olarak adlandırılmaktadır [2]. Atık sular endüstriyel kaynaklı olabileceği gibi evsel kullanım kaynaklı da olmakta; bu atık suların içerikleri ve özellikleri birbirinden çok farklılık göstermektedir. Suyun geri dönüştürülmesi esnasında, son kullanım alanı ile birlikte atık suyun içeriği ve özellikleri dikkate alınarak arıtma yöntemi önerilmelidir. Arıtma amaçlı önerilebilecek endüstriyel uygulamalar ile evsel uygulamaların etki alanı, performansı, yatırım ve operasyonel maliyetleri birbirinden çok farklıdır. Su içerikleri düşünüldüğünde, evsel atık suların daha az kirlilik barındırması nedeniyle endüstriyel atık sulara göre arıtılması daha kolay olup, küçük ölçekli ev tipi arıtma sistemleri iş görebilmektedir. Hanelerde bu tip sistemlerin yaygınlaşması su tasarrufunu destekleyecektir. Evsel ölçekte renkli atık su denildiğinde, çamaşır makinelerinde renkli çamaşırların yıkaması sırasında oluşan ve tahliye sistemi ile gider hattına verilen su akla gelmektedir. Yıkama esnasında tekstil ve boyarmadde tipine göre farklı konsantrasyonlarda renkli atık su oluşmaktadır. Dolayısıyla, boyarmadde renkli atık suyun içeriğindeki arıtma ihtiyacı olan ve doğaya zarar veren başlıca kirleticilerden birisidir. Boyarmadde giderildiği takdirde, renkli atık suyun rengi giderilmiş olacak ve bir sonraki yıkama çevriminde renkli veya beyaz çamaşır yıkanmasından bağımsız olarak tekrar kullanılması için fırsat sağlanacaktır.

Hazır giyim ürünlerindeki çeşitlilikle birlikte, farklı yapılarıdaki tekstil boyarmaddelerinin cilde temas etmesi sağlık sorunlarının en büyük kaynağıdır. Tekstil boyarmaddelerinin zehirli etkileri kısa vadede reaktif boyarmadde ve dispers boyarmadde kaynaklı cilt tahrişi ve cildin hassaslaşması-

dır. Uzun vadede azo boyarmaddelerden kaynaklı kanser hastalığına kadar uzanan ciddi problemler ortaya çıkmaktadır [5].

Yapılan çalışmalarda evlerde çamaşır yıkama kaynaklı oluşan atık suların geri dönüşüm ve yeniden kullanım için uygun olduğu ortaya konulmuştur. Çoğunlukla çamaşır makinelerinde gerçekleştirilen yıkama işlemi sırasında makine tipine, programa ve çamaşır türüne göre farklı seviyelerde su tüketimi gerçekleşmektedir. Endüstriyel çamaşır makineleri 1 kg çamaşır için yaklaşık 15 L taze su kullanmakta ve günlük 400 m³ su deşarj etmektedir. Evsel kullanımda, bir çamaşır makinesinde çevrim başına 60 ile 140 L arasında taze su tüketimi olmaktadır [6]. Yeni nesil çamaşır makinelerinde Eko 40-60 programlarında ürün kapasitesine bağlı olarak çevrim başına su tüketimi yaklaşık 40 L'ye kadar inmiştir, ancak bu değer deklare edilen en düşük değerdir. Eko 40-60 programları dışında diğer programlarda su tüketimi daha fazladır. Çamaşır makinesi su tüketiminin önemli derecede azaltılmasının yollarından biri, yıkama adımlarında kullanılan suyun arıtma işlemlerinden geçirilerek geri kazanılması, depolanması ve bir sonraki yıkamada tekrar kullanılmasıdır. Çamaşır makinesi atık suyu gri su olarak adlandırılmaktadır; içeriğinde yıkama kimyasalları bileşenleri, lifler, boyarmaddeler gibi bileşenler olmasına rağmen ilerleyen bölümde açıklanacağı gibi geri kazanım için uygundur.

Renkli atık suyun nerelerde oluştuğu incelendiğinde, tekstil endüstrisinde, özellikle boyahanelerde aşırı miktarda boyalı (renkli) atık su oluştuğu görülmektedir. Bu renkli suların arıtılması ve renklerinin giderilmesi üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Endüstriyel ölçekteki bu arıtma sistemlerinin ve bu alanda yapılan akademik çalışmaların yanı sıra, evsel ölçekte ve yıkama hanelerden toplanan gerçek atık su kullanan akademik çalışma sayısı halen daha sınırlı sayıdadır [7 – 14]. Çamaşırhanelerde ticari çamaşır makinelerinden elde edilen atık suyun arıtılması ile ilgili çalışmalarda da toksisiteye sebep olmasından dolayı ilk hedef atık sudan deterjan bileşenlerinin giderilmesi ile ilgilidir [6, 15 – 17]. Ayrıca tüketicilerin bilinçlendirilmesi için su ayak izinin azaltılmasına yönelik [18], suyun son kullanım alanını araştıran ve çok katlı binalar için dahili gri su arıtma sistemi önerileri yapan [19], çamaşır makinesi endüstrisini tekrar şekillendirmek amacıyla döngüsel ekonomi ve ürün servis sistemlerine dair iş modelleri öneren [20] çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmaların yanı sıra, konunun güncel olması nedeniyle son birkaç yıl içerisinde yayınlanmış olan derleme makaleler dikkati çekmektedir. Bunların çoğu tekstil atık sularının ileri oksidasyon yöntemleri, ozonlama yöntemi ile arıtılması & renk giderimi için yapılan çalışmaları karşılaştırmakta ve gözden geçirmektedir [21 – 25].

Bu bölümde, evsel atık su ve evsel atık su sınıfına giren, renkli çamaşır suların yıkanması esnasında oluşan çamaşır makinesi atık suyu hakkında bilgi

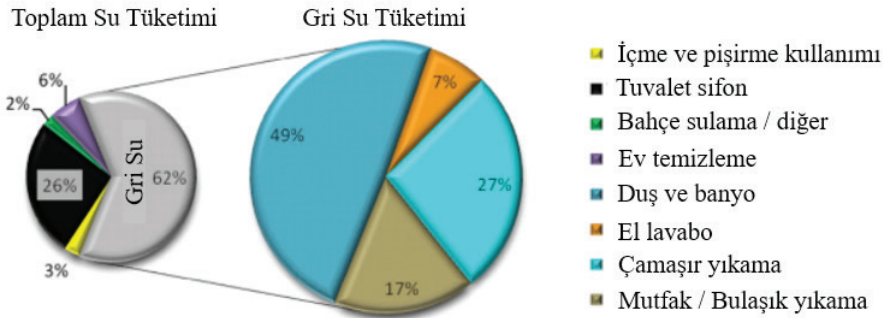
verilerek; bu atık suyun içeriğindeki boyarmadde kaynaklı renkliliğin ozonlama ile giderilmesi durumunda tasarruf edilecek su miktarları farklı yıkama programları için tartışılacaktır.

2. EVSEL ATIK SU VE ÇAMAŞIR MAKİNESİ ATIK SUYU

Atık su, kullanım sonucu kirlenmiş veya renk, koku, tat özelliklerinin bir kısmı veya tamamı değişmiş sudur. Atık su kaynakları, evsel, endüstriyel ve tarımsal olarak üç ana grupta sınıflanmaktadır. Evsel atık sular ise, siyah su ve gri su olarak iki ana gruptan oluşmaktadır.

Gri su, bulaşık yıkama, çamaşır yıkama ve banyo gibi evsel aktiviteler sonucunda ortaya çıkan atık sular olarak tanımlanmaktadır. İnsanların yaşam alışkanlıklarının, kullandıkları ürünlerin sonucu oluşur ve özellikleri oldukça değişkenlik gösterir. Diğer yandan siyah su ise tuvalet kullanımı sonucu ortaya çıkan sudur. Gri su, toplam kullanılan suyun %50-80'ine karşılık gelmekte, dolayısıyla evsel kullanımlardan geri kazanılabilecek çok büyük bir potansiyel su kaynağını temsil etmektedir [26 – 28]. Bir hanede gri su kullanım miktarı yaşam tarzına, yaşam standartlarına, popülasyona (yaş, cinsiyet) ve kullanım alışkanlıklarına bağlı olarak ortalama 90-120 L/kişi/gün olarak verilmektedir. Su kaynaklarının kısıtlı olduğu düşük gelir seviyesine sahip ülkelerde bu miktar 20-30 L/kişi/güne kadar düşebilmektedir [29].

Yapılan bir çalışmada, toplam su tüketiminin ortalama olarak %62'sinin gri su kaynaklı olduğu; bu gri suyun %49'unu duş ve banyo kullanımının oluşturduğu, bunu da %27 ile çamaşır yıkama için kullanılan su tüketiminin izlediği belirtilmiştir (Şekil 2) [30].



Şekil 2 : Toplam su tüketimi ve gri su tüketiminin dağılımı.

Gri suyun tekrar kullanımı su talep yönetiminin ayrılmaz bir parçası olup evsel ve endüstriyel kullanımlar için içilemez suyun geri kazanılması esastır. Atık su yönetimi ve arıtma sistemleri aşağıdaki nedenlerden dolayı önemli bir tartışma konusu haline gelmiştir [30]:

- Atık su yönetimi özellikle hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde kentsel alanlarda önemli ve büyüyen bir sorundur.
- Mevcut tatlı su kaynakları azalmakta ve kitledir.
- Tatlı su kirliliğinde insan kaynaklı faaliyetler nedeniyle artış vardır.
- Atık suyun su kaynaklarına ve okyanuslara kontrolsüz bir şekilde bırakılması nedeniyle sağlık tehlikesi bulunmakta ve ekosistem hasarları artmaktadır.
- Gelişmekte olan ülkelerde verimsiz atık su arıtma sistemleri bulunmaktadır.

Hanede oturan kişi sayısı, yaşam tarzı, çocukların olup olmaması, sağlık durumu ve su kullanım şekilleri bu hanelerde oluşan gri suyun özelliklerini etkilemektedir. Üretilen gri suyun içeriği çoğunlukla deterjanlara, kozmetik ürünlere ve oturanların kişisel alışkanlıklarına bağlı olarak haneden haneye değişkenlik göstermektedir. Örneğin, çocuklu evlerden sağlanan gri sularda çocuksuz evlere göre daha fazla koliform bulunmaktadır. Gri su tipik olarak, yüksek konsantrasyonda biyolojik olarak parçalanabilen organik maddeler, örneğin yemek pişirmeden elde edilen katı ve sıvı yağlar, ksenobiyotik bileşikler, sabun ve deterjanlardan kaynaklı diğer kalıntıları içermektedir. Patojenik mikroplar gri su içerisinde çok az bulunmasına karşın, saatler süresince arıtılmadan beklerse mikroplar büyür, oksijensiz hale gelir ve kötü koku yayar. Bu nedenle, gri su oluşur oluşmaz noktasal olarak kaynağında (yerinde) arıtma ve tekrar kullanım tercih edilmelidir. Bu şekilde yerel belediyeler tarafından yönetilen merkezi arıtma sistemlerine gelen atık su kirliliği de azalacaktır [30].

Gri su dağılımı içerisinde büyük paya sahip olan duş ve banyo kullanımına ait atık su, çamaşır yıkama sırasında oluşan gri sudan daha az kirliliğe sahiptir. Çamaşır yıkama kaynaklı atık su içerisinde yağlar, ağır metaller, deterjan ve sabun kimyasalları vb. çeşitli kimyasallar bulunabilmektedir. Mutfakta üretilen atık su ise, gıda parçacıkları, yağ ve gres içermektedir [30]. Bazı araştırmacılar mutfak ve bulaşık makinesi kaynaklı atık suları gri su sınıfının haricinde tutmaktadır [31].

Çamaşır yıkama kaynaklı atık sularda farklı yapılarda organik (yağ, gres, sabun, deterjan – yüzey aktif madde, klorlu ve aromatik çözücüler ve biyolojik maddeler) ve inorganik (metal iyonları ve parçacıkları, ağır metaller, kum ve leke, kir parçacıkları) maddeler olması dolayısıyla arıtılması zordur [32]. Yıkama suyuna geçebilecek boyarmadde miktarı ve çevreye etkisi; yıkanan tekstilin lif içeriği, üzerinde bulundurduğu boyarmadde türü ve tekstil üzerine fikselenme oranı ile doğrudan ilişkilidir.

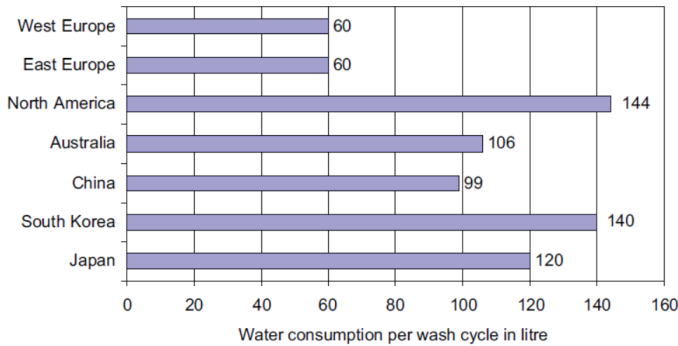
Çamaşır yıkama atık suyunun tekrar kullanımı, yüzey aktif maddelerin

zararlı etkilerinden çevreyi korumak ve su kıtlığına çözüm bulmak adına atık suyun geri dönüştürülmesine katkı sağlamaktadır. Yüzey aktif maddeler yüksek oranda zehirli bileşiklerden oluşmakta ve deterjanların toksikliğine %10.4 - %98.8 aralığında katkıda bulunmaktadır [6].

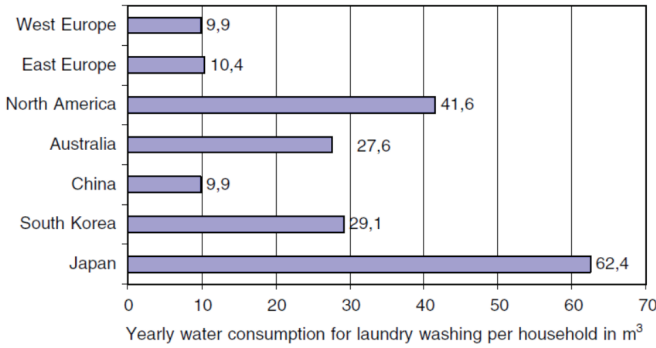
Çamaşır yıkama ile oluşan atık su gri su kategorisinde olması, atık su oranının yüksek olması ve çevreye atıldığında zararlı bileşenler barındırması nedeniyle geri kazanım ve tekrar kullanım için potansiyel oluşturmaktadır. Özellikle çamaşır makinesi atık suyundan rengin giderilmesi hem boyar-maddenin çevresel kirliliğe olan etkisini azaltacak hem de bir sonraki yı-kamada renkli veya beyaz çamaşır yıkama ayrımı yapmaksızın arıtılan su tekrar kullanılabilir.

3. ÇAMAŞIR YIKAMA KAYNAKLI SU TÜKETİMİ & SU TASARRUFU POTANSİYELİ

Kişisel bakım, mutfak ve çamaşır yıkama kaynaklı (tuvalet kullanımı hariç) gri su miktarı, ev cihazlarının su tasarrufu durumuna bağlı olarak 25.000 – 100.000 L/kişi/yıl aralığında üretilmektedir. Endüstriyel çamaşır-hanelerde 1 kg giysi için 15 L su kullanılmakta, bu da günlük ortalama atık su üretimini 400 m³'e çıkarmaktadır. Hanelerde ise, ülkeye bağlı olarak çamaşır makinelerinde farklı miktarlarda su kullanılmaktadır. Batı ve Doğu Avrupa ülkelerinde çevrim başına 60 L temiz su kullanılırken, Kuzey Ame-rika ve Güney Kore'de 140 L'den daha fazla su tüketimi gerçekleşmektedir. Çamaşır makinesi başına yıllık toplam su tüketimi Avrupa ülkelerinde 10 m³ ile Japonya'da 62,4 m³ arasında değişmektedir. Bu su tüketimi, bir hanenin yıllık toplam su tüketiminin %5'i ile 18,4'ü arasındadır [69].



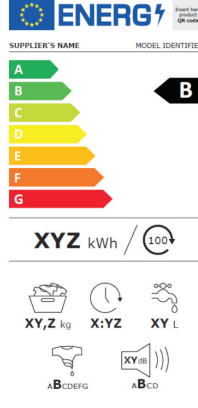
Şekil 3 : Ülkelere göre yıkama çevrimi başına su tüketimi (L) [33].



Şekil 4 : Ülkelere göre hane başına çamaşır yıkama için yıllık su tüketimi (m³) [33].

Şekil 3 ve 4 verilerinden görüldüğü gibi, çamaşır yıkama işlemi ciddi miktarda su tüketimine neden olmakta, bundan dolayı hem su kaynaklarını tüketme için tehdit oluşturmakta hem de su tasarrufu için fırsat yaratmaktadır. Çamaşır yıkama proseslerindeki kaynak tasarrufu potansiyeli ile ilgili yapılan bir araştırmada, %50 oranına kadar su tasarrufunun mümkün olduğu ifade edilmektedir. Çamaşır makinelerinin su tüketimlerinin iyileştirilmesi, daha verimli ürünler üretilmesi ve tüketici davranışlarının çamaşır makinesi kapasitesinin doğru kullanımını (çamaşır yük miktarını %30 arttırarak daha az yıkama çevriminin yapılması gibi) sağlayacak şekilde iyileştirilebilmesi halinde yıllık 870 milyon m³'lük (1,7 km³'lük su hacmine sahip Sapanca gölünün yaklaşık yarısı kadar) su tasarrufu potansiyelinin olduğu belirlenmiştir [34].

Su tasarrufu potansiyeli bağlamında ilgili kanun ve yönetmelikler de işin önemli bir ayağını oluşturmaktadır. Avrupa'da ev tipi çamaşır makineleri AB yönetmelikleri çerçevesinde EN 60456 standardına göre test edilmekte ve enerji etiketi üzerinde yer alacak değerler belirlenmektedir. Eski enerji etiketlerinde Pamuklu Eko programların yıllık su tüketimi bilgisi bulunmakta iken; 2021 yılı Mart ayında geçiş yapılan yeni enerji etiketinde Eko 40-60 programının çevrim başına ağırlıklı su tüketimi bildirgesi yer almaktadır (Şekil 5). Bu sayede hem tüketicilerin bilinçlendirilmesi (en düşük su tüketimli çamaşır makinesini satın almaya yönlendirme) hem de üreticilerin minimum su tüketimini sağlamak amacıyla yenilikçi ve yeni tasarımlara yönlendirilmesi hedeflenmektedir.



Şekil 5 : Ev tipi çamaşır makinesi AB enerji etiketi [35].

Çamaşır makinelerinde istenen seviyede temizleme etkinliği sağlanması için uygun miktarda su tüketimi gereklidir. Çamaşır makinesi su tüketimlerine bakıldığında, yıllar içerisinde su tüketimlerinin azaltıldığı görülmektedir. Bu amaçla, çamaşır makinesi üreticileri sürekli olarak yıkama sistemi ve makine tasarımı çalışmaları yapmaktadır. Çamaşır makinelerinde su tasarrufunu sağlayan efektif çözümlerden birisi de, yıkama çevriminde harcanan suyun geri dönüşümünün sağlanması ve bir sonraki yıkamada kullanılabilir hale getirilmesidir.

4. GRI SU İÇERİĞİ

Gri suyun içeriği ve kalitesi, arıtma yönteminin seçilmesi için çok belirleyici bir kriterdir. Evlerde ortaya çıkan gri su banyo, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi ve mutfak aktivitelerine dayanmaktadır. Bu kullanım alanları için gri su kalite parametreleri ve bu parametrelerin aralığı Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1 : Farklı kullanım alanına göre gri su parametreleri [66].

	Banyo	Çamaşır	Mutfak	Karışık
pH (-)	6,4 - 8,1	7,1 - 10	5,9 - 7,4	6,3 - 8,1
Toplam AKM (mg/L)	7 - 505	68 - 465	134 - 1300	25 - 183
Bulanıklık (NTU)	44 - 375	50 - 444	298	29 - 375
KOİ (mg/L)	100 - 633	231 - 2950	26 - 2050	100 - 700
BOİ (mg/L)	50 - 300	48 - 472	536 - 1460	47 - 466
TN (mg/L)	3,6 - 19,4	1,1 - 40,3	11,4 - 74	1,7 - 34,3
TP (mg/L)	0,11 - > 48,8	Algılanmadı - > 171	2,9 - > 74	0,11 - 22,8
Toplam koliform (CFU / 100 mL)	10 - 2,4x10 ⁷	200,5 - 7x10 ⁵	> 2,4x10 ⁸	56 - 8,03x10 ⁷
Fekal koliform (CFU / 100 mL)	0 - 3,4x10 ⁵	50 - 1,4x10 ³	-	0,1 - 1,5x10 ⁸

Çizelge 1’de görüldüğü gibi, mutfak ve çamaşır yıkama kaynaklı gri sular yüksek miktarda organik madde ve fiziksel kirleticiler içermektedir. Diğer yandan, banyo aktiviteleri ve çamaşır yıkama sırasında ortaya çıkan atık su diğer kategorilere göre daha düşük seviyede mikroorganizma yükü barındırmaktadır.

Gri suyun arıtılması için birçok teknolojik yöntem kullanılmasının yanı sıra, gri suyun tekrar kullanımı için geçerli olan uluslararası bir standart bulunmamaktadır ve kullanılan standartlar ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. Geri dönüştürülen gri su şu dört kriteri sağlamalıdır: hijyenik güvenlik, estetik, çevresel tolerans, teknik ve ekonomik uygulanabilirlik [36]. Farklı tekrar kullanım uygulama alanları için farklı su kalitesi spesifikasyonlarına gereksinim duyulduğundan; belirlenecek yöntem basit bir arıtma sisteminden ileri bir arıtma sistemine kadar geniş bir aralıkta seçilebilmektedir. Arıtımı yapılan gri suyun kalitesinin kontrolü için yürürlükte olan ulusal standartlar ise bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir. Bu standartlar arasında tanımlanabilir değerler ve limit parametreleri açısından ciddi bir değişkenlik bulunmaktadır. Regülasyonlar genellikle sağlık ve çevresel etkilere odaklanmakta ve yerel otoriteler tarafından düzenlenmektedir. Bazı akademik çalışmalara dayanarak, hem zorunlu olmayan hem de zorunlu geri kullanım alanları için içilmez gri suyun tekrar kullanımı rehberleri önerilebilmektedir. Bu rehberler toplam koliform, toplam askıda katı madde, bulanıklık, BOI_5 , deterjan gibi bileşenleri içermektedir [29].

Gri suyun temizlenerek geri kazanımının ve tekrar kullanımının esas hedefi, sağlık ve estetik kriterler göz önünde bulundurularak askıdaki katı madde miktarının, organiklerin ve mikroorganizmaların azaltılmasıdır. Su arıtılmasında kullanılan kimyasal yöntemlerin bulanıklığı giderme konusunda başarılı olamadığı; diğer yandan düşük yoğunluktaki gri sularda çözeltide bulunan askıdaki katı madde, organik kirleticiler ve yüzey aktif madde miktarını düşürme konusunda başarılı olduğu ve içilmez şehir suyu tekrar kullanımı için kabul edilebilir seviyeyi yakaladığı raporlanmıştır. Kimyasal çözüm yöntemleri, sudaki kirliliğin değişkenlik gösterdiği ve debinin performansı etkilemediği, düşük yoğunluklu evsel gri su arıtımı ve tekrar kullanımı için uygun sistem olmakla birlikte, orta ve yüksek yoğunluklu gri su arıtımında diğer yöntemlerle (fiziksel, biyolojik) birleştirilmedikçe tekrar kullanım için gerekli olan standartları sağlayamayacaktır [29].

5. ATIK SULARIN ARITILMASINDA KULLANILAN YÖNTEMLER

Atık suların arıtılarak doğaya verilmesi veya yeniden kullanılması için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Endüstriyel ölçekli bu yöntemler için genellikle kademeli sistemler, çeşitli kimyasallar kullanılmakta ve geniş hacimli

alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler ve bunların kombinasyonları atık su geri kazanım sistemlerinde genelde bir arada kullanılmaktadır. Su içerisinde bulunan partiküller, boyutlarına göre önce aşamalı olarak filtrelenmekte ve daha sonra bertaraf edilmektedirler. Gerek endüstriyel atık sularının gerekse ev ve çamaşırhane atık sularının geri kazanılması amacıyla kullanılan birçok yöntem olmasına karşın, ev tipi çamaşır makinesine özgü uygulama pek bulunmamaktadır.

Atık su arıtma yöntemleri şu şekilde sınıflandırılmaktadır [2]:

Fiziksel Yöntemler

- Adsorbsiyon
- Membran filtrasyonu
- İyon değişimi

Kimyasal Yöntemler

- Oksidasyon: Ozon, elektrokimyasal yöntem, fotokimyasal yöntem, sodyum hipoklorit, Fenton ayırıcı vb.
- Kimyasal flokleştirme ve çöktürme

Biyolojik Yöntemler

- Aerobik yöntem
- Anaerobik yöntem
- Biyosorpsiyon

Arıtma yöntemlerinden flokleştirme ve çöktürme, adsorbsiyon, membran filtrasyon tekstil atık sularını renksizleştirmek için kullanılan yöntemler olup çamur oluşumu, adsorban rejenarasyonu ve membranın tıkanması gibi dezavantajlara sahiptir [37]. Su kalitesi parametreleri (pH, askıda katı madde, KOİ vb.) dikkate alınarak uygun arıtma yöntemi seçilmelidir.

5.1 Çamaşır Makinelerinde Gri Suyu Arıtmak İçin Uygun Yöntem: Ozonlama

Literatür araştırması doğrultusunda, yöntemler içerisinde renk giderme etkinliği ve makinede kullanıma uygunluk kriterlerine göre değerlendirme yapıldığında, yüksek maliyeti ve uzun süre gereksinimi nedeniyle biyolojik yöntemlerin ev tipi kullanım için uygun olmayacağı anlaşılmaktadır. Adsorbsiyon, fenton ayırıcı ve elektrokimyasal oksidasyonlar da etkili yöntemler olmasına karşın, bunlar yüksek miktarda çamur üretimi nedeniyle tercih edilmemektedir. Öte yandan, ileri oksidasyon yöntemleri basit olmaları, düşük maliyet ve yüksek verimlilik nedeniyle atık sudan renk giderimi için tercih edilmektedir [38].

İleri oksidasyon yöntemlerinden ozonlama, tekstil işlemlerinde ortaya çıkan atık sulardaki renk problemini gidermek için en cazip alternatiflerden birisidir [12]. Ozon, organik ve inorganik bileşikler kolaylıkla oksitleyebilir, ancak yüzey aktif madde ve asılı katı maddeler içeren boyama atık sularındaki organik maddelerin tamamını karbondioksit ve suya dönüştüremez [13]. Ozonlama yönteminin organik ve inorganik bileşikler içeren sulu çözeltilerdeki etkinliği, ozonun suda çözünmesiyle birlikte oluşan moleküler ozonun direk reaksiyonu veya hidroksil radikalının reaksiyonu sayesinde gerçekleşir. Sulu çözeltilerde oluşan ozon ve hidroksil radikalleri aromatik halkaları kırarlar ve açarlar. Ozon molekülü seçici olup tercihen boyarmaddenin kromofor grubunun doymamış/konjuge çift ($-C=C-$ ve $-N=N-$) bağları ile reaksiyona girer [12] ve bu sayede ışık absorbe edilerek spektrumda görünür bölgeden UV veya IR bölgesine kayar [39]. Bu nedenle tek başına ozonlama ile renk giderimi hızlı gerçekleşir, ancak mineralizasyon daha düşüktür [12, 38]. Tipik olarak, ozonlama tamamen karbondioksit ve suya dönüşmeyi nadiren sağlamasına rağmen, büyük organik moleküllerin organik asitler, aldehitler ve ketonlar gibi alt bileşiklere parçalanmasını sağlar. Çözeltilerin pH'ı ozonun kimyasal reaksiyonlarını değiştirmektedir. Yüksek pH seviyelerinde ozonun parçalanmasıyla hidroksil radikalleri oluşurken, düşük pH'larda moleküler ozon oksitleyici madde görevi görmektedir [12].

Ozon, geniş bir pH aralığında renk giderimi üzerinde etkilidir, dolayısıyla uygulama açısından avantaj sağlamaktadır. Yüksek sıcaklıklarda ozonun oksijene ayrışması artmakta, bu nedenle ozon oluşumu/ozonlama düşük sıcaklıklarda daha etkili olmaktadır. Bu durumda ozon ile yapılabilecek renk gideriminde ısıtmaya ihtiyaç duyulmaması da ayrıca bir avantaj olarak görülmektedir. Boya solüsyonunun içerisinde yüzey aktif madde ve benzeri organik yapıların bulunması, ozon tüketimi ve boyanın uzaklaştırılması anlamında etkili olabilmektedir.

Ozonlama ile kayda değer boyutlarda renk giderimi sağlanabilmektedir. Ozonlama sonucu elde edilen renk giderimi boyanın cinsine göre farklılık göstermektedir. Yapılan bir çalışmada 30 dakika süresince ozonlanan azoik, dispers/sülfür ve reaktif boya içeren atık sularda başarılı bir renk giderimi sağlanırken, vat boyarmaddesi içeren atık su için aynı başarı sağlanamamış ve renk giderimi %50 seviyesinde kalmıştır [40].

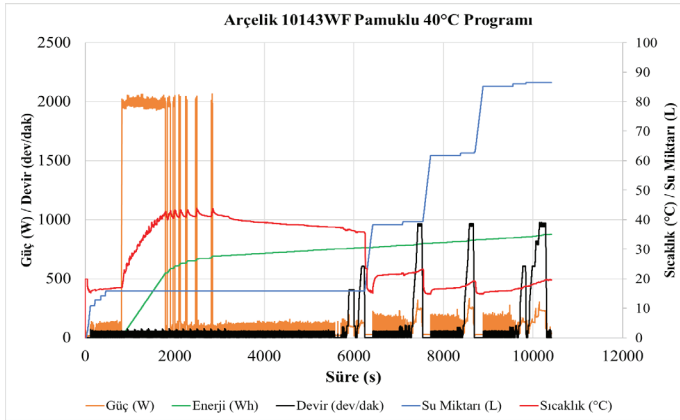
Ozonlama ile renk giderimi yönteminin tercih edilmesinin çeşitli nedenleri vardır: Arıtılan suda atık su hacmi artmamakta ve kimyasal olarak atık (çamur) ortaya çıkmamaktadır. Hem renk giderimini hem de organik indirgemeyi tek bir adımda sağlamaktadır. Küçük bir yer ihtiyacı vardır ve yerinde kolaylıkla kurulumu yapılmaktadır. Diğer oksidatif işlemlere göre daha az zararlıdır. Kullanılacağı yerde herhangi bir stok kimyasala ihtiyaç yoktur. Sistemin çalıştırılması kolaydır. Kalan tüm ozon oksijene parçalanabilmektedir [12, 41]. Diğer ileri oksidasyon yöntemleri içerisinde, atık su içinde

bulunan tekstil yardımcı kimyasallarından en az etkilenen ve tuzlu ortamda çalışabilen yöntemdir. Diğer taraftan, ozonlama yönteminin bazı dezavantajları da bulunmaktadır: Ozonun seçici olması nedeniyle oksidasyon etkinliği düşük, gaz fazından atık suya sınırlı kütle transferi ve reaksiyon hızı yavaş, yarı ömrü kısadır (tipik olarak 20 dakika). Kısa yarı ömrüne bağlı olarak ozonlamanın sürekli olması gerekliliği vardır [42]. Ozon üretimi sırasında yüksek enerji tüketiminin olması nedeniyle sistem maliyetlidir [23].

6. ÇAMAŞIR MAKİNESİ YIKAMA ALGORİTMASI

Ev tipi çamaşır makinelerinde taze olarak şebekeden alınan su ile çamaşırlar yıkandıktan sonra bu su “atık su” olarak tahliye edilmektedir. Bir yıkama çevriminde çeşitli yıkama adımları bulunmakta olup, bu yıkama adımları sonunda birden fazla tahliye işlemi gerçekleşmekte, diğer bir deyişle farklı içeriklerde atık su oluşmaktadır. Çamaşır makinesinin yıkama prensibine göre su, sırasıyla deterjan kutusundan kazan içerisine ve oradan tambur içerisine alınmaktadır. Tambur içerisinde belirli bir süre yıkama işlemi gerçekleşmekte ve bu sürenin sonunda yıkama suyu tahliye pompası yardımıyla tahliye edilmektedir.

Bir çamaşır makinesi yıkama çevrimi temel olarak su alma, yıkama, durulama ve sıkma adımlarından oluşmaktadır. Bu adımlara ait önceden belirlenen sıcaklık, süre, su miktarı ve mekanik hareket makinenin yıkama algoritmasını oluşturmaktadır. Bir çamaşır makinesine ait temsili yıkama algoritması, başka bir deyişle yıkama parametrelerinin zamana göre değişim grafiği Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6 : Çamaşır makinesi Pamuklu 40 programı yıkama algoritması.

Şekil 6’da görüldüğü gibi, temsili olarak paylaşılan 10 kg kuru çamaşır kapasiteli bir üründe pamuklu 40 programında, sırasıyla ana yıkama adımında yaklaşık 18 L, durulama adımlarında da ortalama 21-23 L su tüketimi gerçekleşmektedir.

7. ÇAMAŞIR MAKİNESİNDE RENK SALINIMINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Çamaşır makinelerinde renkli tekstil ürünlerinin yıkanması sırasında oluşan renkli atık su, ana yıkama ve durulama adımlarının sonunda makinenin tahliye edilmektedir. Bilindiği gibi, tekstillerin temizlenebilmesi için çamaşır makinesinde yapılan yıkama işleminde deterjanlar kullanılmaktadır. Suyu renk salınımı, deterjanın (kimyasal etkisi) yanı sıra sıcaklık, süre ve mekanik etki parametrelerinin etkisiyle gerçekleşmektedir. Deterjan; temizleme etkinliğini sağlamakla birlikte, miktarı arttıkça suya renk salınımını da artırmaktadır. Deterjan, makinenin su alımına başlamasıyla birlikte yıkama ortamına alınmaktadır. Deterjan alımının gerçekleştiği adım ana yıkama adımdır, dolayısıyla ana yıkama adımında deterjan konsantrasyonu en yüksektir. Ana yıkama adımını takip eden durulama adımlarında ise makine içerisinde sadece duru su alımı gerçekleştiğinden yıkama ortamındaki deterjan konsantrasyonu gitgide düşer. Son durulama adımında deterjan konsantrasyonu en düşük değerini alır. Yıkama işleminde yumuşatıcı kullanımı varsa, son durulama suyunda yumuşatıcı bulunur. Deterjana benzer şekilde yumuşatıcılar da sıcaklık, süre ve mekanik etkilerin artması ile renk salınımının artmasını sağlamaktadır.

Ayrıca, çamaşır makinesi yıkama programına (sıcaklık, su miktarı, mekanik hareket), deterjan tipine ve özellikle de tekstil tipine göre (pamuklu, sentetik vs.) yıkama sırasında renk salınımının yanı sıra lif salınımı da gerçekleşir. Bu lifler suya geçerek çamaşır makinesi atık suyunun içeriğini değiştirebilmektedir.

7.1. Deterjan Konsantrasyonu ile İletkenlik İlişkisi

Deterjan, çamaşır makinesinde renk salınımını etkileyen faktörler arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Gerek deterjan tipi gerekse deterjan konsantrasyonu renkli tekstillerden suya geçen boya miktarını etkilemektedir. Bu nedenle, deterjan konsantrasyonunun yıkama adımlarına göre biliniyor olması, hangi yıkama adımının geri kazanıma daha uygun olduğunu saptamak için gereklidir.

İletkenlik, su kalitesinin ve saflığının belirlenmesinde kullanılan önemli parametrelerden birini oluşturmaktadır. İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$), bir su numunesinin elektrik taşıyabilme özelliğinin sayısal ifadesidir. Su içindeki H^+ ve OH^- iyonlarından dolayı çok az bir iletkenlik bulunmaktadır ve bu, iletkenlik ölçeğinin başlangıcı olarak kabul edilmektedir. Elektriksel iletkenlik, suda iyonize olan maddelerin toplam konsantrasyonuna ve sıcaklığa bağlıdır [43]. Deterjan yapısında bulunan bileşenlerin suda çözünürken açığa çıkardıkları iyonlar deterjan miktarının iletkenlik ile tahmin edilmesinde önemli bir faktördür [44]. Özellikle toz deterjanların yapısında bulunan yüksek aniyonik

yüzey aktif maddeler, alkali madde ve dolgu maddeleri gibi suda çözünürlüğü yüksek bileşenler suyun iletkenlik değeri üzerinde etkili olmaktadır [43]. Çamaşır makinesinde deterjan miktarının kontrolü için deterjanlı su çözeltisinin iletkenliğinin ölçümüne dayanan sensörler geliştirilmiştir. İletkenlik sensörüne ait iki elektrot arasına dışarıdan bir voltaj uygulandığında, deterjan konsantrasyonuna bağlı olarak deterjanlı su çözeltisinin iletkenliğine karşılık gelen bir elektrik akımı oluşur. Bundan dolayı elektrik akımı değeri (empedans) deterjan konsantrasyonunun ölçümü için kullanılmaktadır [45].

7.2. İletkenlik Ölçümü ile Deterjan Konsantrasyonunun Hesaplanması

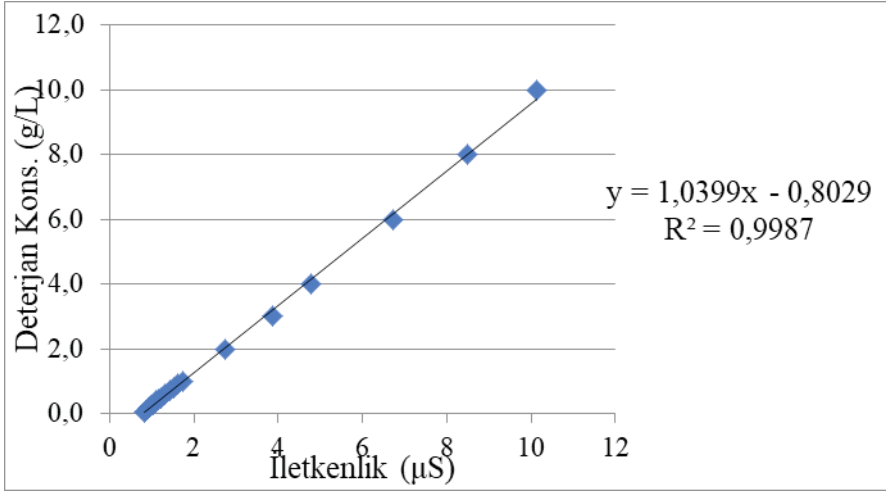
Deterjan konsantrasyonları hesaplanırken öncelikle farklı konsantrasyonlarda (g/L) deterjan çözeltileri hazırlanmaktadır. Hazırlanan toz deterjanlara ait çözeltilerin iletkenlik değerleri ölçülerek bir kalibrasyon eğrisi oluşturulmaktadır. Bu kalibrasyon grafiklerinde deterjan konsantrasyonu ve iletkenlik verileri arasındaki ilişki regresyon değeri R^2 olarak ifade edilmektedir ve R^2 değeri 0,99 ve üzerine ulaştığında deterjan konsantrasyonu ve iletkenlik verileri arasında güçlü bir ilişki vardır yorumu yapılabilmektedir. Çalışma kapsamında hesaplanan deterjan konsantrasyonu değerleri, geri dönüşümü hedeflenen atık su çözeltisini belirlemede kullanılmıştır.

Çamaşır makinesinde en yaygın kullanılan yıkama programları pamuklu programlardır. 8 kg kapasiteli çamaşır makinesinde EN 60456 standardına uygun şekilde pamuklu eko programında testler gerçekleştirilerek, hangi adımda ne kadar su tüketildiği ve bu sudaki deterjan konsantrasyonu ile ilgili bilgi edinmek amacıyla multimetre cihazı ile iletkenlik ölçümleri yapılmıştır. Bu değerler kalibrasyon eğrisinde yerine konularak farklı yıkama adımlarındaki deterjan konsantrasyonları hesaplanmıştır. Ticari toz deterjan için hazırlanan deterjan konsantrasyonu (g/L) - iletkenlik (μS) kalibrasyon grafiği denklemi ve bu denklemden elde edilen deterjan konsantrasyonu değerleri bir sonraki bölümde paylaşılmaktadır.

8. RENK GİDERİMİ İÇİN UYGUN YIKAMA ADIMININ BELİRLENMESİ

Ozonlama yöntemi ile atık suyun geri kazanılması için ana hedef, boyarmaddenin parçalanması, böylelikle renk gideriminin sağlanmasıdır. Çamaşır makinesi atık suyunda boyarmadde ile birlikte yıkama koşullarına bağlı olarak farklı konsantrasyonlarda deterjan da bulunmaktadır. Deterjan atık suyun içerisindeki bir bileşen olup ozonlama performansına etki edeceğinden, farklı yıkama adımlarındaki deterjan konsantrasyonu için iletkenlik ölçümlerinden faydalanan hesaplamalar yapılmıştır. Buradan hareketle renk giderimi için uygun yıkama adımı, diğer bir deyişle hedeflenen atık su çözeltisi belirlenmiştir.

Ticari toz deterjan için hazırlanan deterjan konsantrasyonu (g/L) - iletkenlik (μS) kalibrasyon grafiği ve denklemi Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7 : Deterjan konsantrasyonu - iletkenlik kalibrasyon grafiği

8 kg çamaşır makinesinde gerçekleştirilen yıkama testlerine ait sonuçlar aşağıda verilmiştir. Testlerde 8 kg standart pamuklu dolgu yükü ve 136 g (EN 60456 standardına göre) ticari toz deterjan kullanılmıştır. Çizelge 2’de pamuklu eko programında yıkama adımları bazında su tüketim değerleri verilmiştir.

Çizelge 2 : Pamuklu eko programı su tüketimi.

Yıkama Adımı	Su Miktarı (L)
Ana yıkama	15,37
1. durulama	16,64
2. durulama	16,75

Çizelge 2’de görüleceği gibi durulama adımlarında tüketilen su miktarı ana yıkama adımından daha fazladır. Yıkama yaklaşık 15 L su ile gerçekleştirilirken, bunun iki katından fazla miktarda su deterjanlı çamaşırları durulamak için harcanmaktadır. Yıkama ve durulama adımlarında tahliye edilen atık suların da iletkenlik ölçümü yapılmıştır.

Çizelge 3’te görüleceği gibi ana yıkama suyunun iletkenlik değeri, dolayısıyla deterjan konsantrasyonu oldukça yüksektir; durulamalarda ise iletkenlik değeri düşmekte, deterjan konsantrasyonu azalmaktadır. Çizelge 3’e göre 1. durulama ve 2. durulama adımlarında en çok su tüketimi, tahliye adımı ve sıkma adımı başlangıcında gerçekleşmektedir. 1. durulama (1D) tahliye adımı ve 1. durulama sonunda 0-600 d/d sıkma yapılan bölümde toplam 12,8 L su tüketimi gerçekleşmekte olup, deterjan konsantrasyonunun (1,7 g/L) görece düşük ölçüldüğü adımlardır. Diğer yandan, 2. durulama (2D)

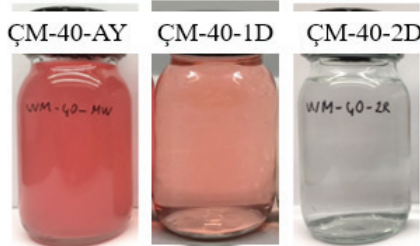
tahliye adımı ve 2. durulama sonunda 0-600 d/d sıkma yapılan bölümde ise toplam 14,6 L su tüketimi gerçekleşmekte olup, bunlar deterjan konsantrasyonunun (0,5 g/L) en düşük ölçüldüğü adımlardır.

Çizelge 3 : Pamuklu eko programında su alma adımlarına göre iletkenlik ölçümleri ve deterjan konsantrasyonu.

	AY Tahliye (sıkma öncesi)	AY Sıkma (1000 d/d)	1D Tahliye	1D Sıkma (600 d/d)	1D Sıkma (600- 1000 d/d)	1D Sıkma (1000 d/d)	2D Tahliye	2D Sıkma (600 d/d)	2D Sıkma (600- 1000 d/d)	2D Sıkma (1200 d/d)	2D Sıkma (1200- 1400 d/d)
Su Mikt. (L)	1,80	9,09	5,70	7,06	2,08	1,40	6,84	7,84	1,67	0,76	0,75
İletkenlik (mS)	6,53	6,80	2,35	2,36	2,50	2,51	1,23	1,26	1,29	1,33	1,36
Det. Kons. (g/L)	5,99	6,27	1,64	1,65	1,80	1,81	0,47	0,51	0,54	0,58	0,61

Bilindiği gibi, deterjan kullanımının yanı sıra, ev tipi yıkamalarda yumuşatıcı kullanımı da son derece yaygın olup son durulama adımı yumuşatıcı alımı gerçekleşmektedir. Ozon ile renk giderimi üzerinde atık su çözeltisindeki boya konsantrasyonu ile birlikte kimyasal konsantrasyonu da önemli bir faktör olduğundan, yumuşatıcı etkisini elimine etmek amacıyla son durulama adımı kapsam dışı bırakılmıştır.

Temsili olarak, kırmızı renkli çamaşır yıkama sonunda oluşan kırmızı reaktif boyarmadde içerikli atık sular için yapılan görsel değerlendirmelerde, ana yıkama adımı sonunda koyu renkli kirli, bulanık bir su elde edildiği, bu suyun içeriğinde lif, partiküler kir, deterjan kalıntıları gibi kirlilik sağlayan birçok bileşen olduğu görülmüştür. Renk ihtiva etmesi bakımından sıralama ana yıkama suyu, 1. durulama, 2. durulama şeklindedir. (Şekil 8)



Şekil 8 : Renkli kumaşlardan elde edilen ana yıkama, 1. durulama ve 2. durulama atık suları.

Çamaşır makinelerinde oluşan renkli atık suyun yeniden kullanılması noktasında ana yıkama adımıyla elde edilecek suyun, rengi yanı sıra yoğun miktarda deterjan, lif, partiküler kir vs. içermesi nedeniyle geri kazanım için çok uygun olmadığına karar verilmiştir. Durulama için harcanan sular analiz

edildiğinde, ana yıkama suyuna göre daha az renk, daha az deterjan ve daha az kirlilik içerdiği belirlenmiştir. Son durulama adımı ise yumuşatıcı kullanımı olasılığı göz önünde bulundurularak çalışma dışında bırakılmıştır. Sonuç olarak, birinci durulama adımının renk giderimi ve geri kazanım için daha uygun olduğuna karar verilmiştir.

9. ÇAMAŞIR MAKİNESİNDE DURULAMA SUYUNUN GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMESİ HALİNDE SU KAZANIM HESAPLAMALARI

Yıllık su tüketimi bildirgesi, EN 60456 standardına göre Eko 40-60 programı test edilerek verilmektedir. Tüketici alışkanlıklarından elde edilen verilerden yola çıkılarak bildirge için yıllık ortalama yıkama çevrimi sayısı 220 olarak alınmaktadır. Eko 40-60 programında yaklaşık 50 L / çevrim, yıllık olarak 11000 L su tüketimi olmaktadır. Ancak, pamuklu Eko 40-60 programlarının yanı sıra normal pamuklu programlar da sık kullanılan yıkama programları arasında yer almaktadır. Yüksek kapasiteli (8, 9, 10 kg) ürünlerde pamuklu programların su tüketimleri 85 L civarındadır. Avrupa tüketicilerinin yıkama davranışları üzerine yapılan bir araştırmada %62 oranında pamuklu programların kullanıldığı, bunların içinden %17'sinin pamuklu eko programı kullanımı olduğu saptanmıştır [46]. Bu durumda;

- 220 çevrimin %45'ini yani 99 çevrimi pamuklu program,
- 220 çevrimin %17'sini yani yaklaşık 38 çevrimi pamuklu eko program oluşturmaktadır.

Bu veriler dikkate alındığında, çamaşır makinelerinin birinci durulama adımlarına ait suyun tekrar kullanılabilmesi halinde, ürün başına yıllık geri kazanılan su miktarları ve geri kazanma oranları şu şekilde olacaktır:

- Yaklaşık 100 çevrim pamuklu program kullanıldığı takdirde 8500 L (100 x 85 L) su tüketimi olacaktır. Her çevrimde yaklaşık 15 L (1. durulama) su geri kazanılması varsayımından yola çıkılarak, ürün başına yaklaşık 1500 L su geri dönüştürülecek ve yeniden kullanılacaktır.
- Yaklaşık 40 çevrim pamuklu eko program kullanıldığı takdirde 2000 L (40 çevrim x 50 L) su tüketimi olacaktır.

Her çevrimde 15 L (1. durulama) su geri kazanılması varsayımından yola çıkılarak ürün başına yaklaşık 600 L (40 çevrim x 15 L) su geri dönüştürülecek ve yeniden kullanılacaktır. Bir çamaşır makinesinde en yaygın kullanılan pamuklu programlarda geri kazanılan su miktarı hesaplamasına göre, birim ürün başına su tasarrufu potansiyeli yıllık olarak 2100 L civarındadır.

Bu su tasarrufu potansiyelinin önemi, çamaşır makinesi satış adetleri ile birlikte düşünüldüğünde daha da dikkat çekici hale gelmektedir. Şöyle

ki; Türkiye’de ortalama 2,1 milyon adet/yıl çamaşır makinesi satışı [47]; Avrupa’da ise ortalama 27,7 milyon adet/yıl çamaşır makinesi satışı [48] gerçekleşmektedir. Bu ürünlerin sadece %20’sinde suyun bir kısmının geri dönüştürülerek kullanılabilmesinin mümkün olması halinde; Türkiye’de $0,9 \text{ hm}^3$, Avrupa’da ise $11,6 \text{ hm}^3$ civarında su kazanımının sağlanabileceği anlaşılmaktadır.

10.SONUÇ VE ÖNERİLER

Hanelerde, arıtma sistemine gönderilmeden toplam atık suyun bir kısmının kaynağında (çamaşır makinesi içerisinde) geri dönüştürülmesi ve tekrar kullanımının ciddi su tasarrufu potansiyeli bulunmakta olup yeni nesil çamaşır makineleri için de önemli bir fırsattır.

Görüldüğü gibi, gri su tüketiminin %27’sini çamaşır yıkama işlemleri oluşturmaktadır [67]. Ayrıca, çamaşır yıkama sırasında ortaya çıkan atık su görece olarak düşük seviyede kirlilik içermektedir, dolayısıyla geri kazanım için bir potansiyel oluşturmaktadır. Renkli tekstiller yıkandığında, yıkama koşuluna ve tekstil tipine bağlı olarak farklı tür boyarmaddeler suya salınabilmekte ve atık suda kirliliğe neden olmaktadır. Diğer yandan, ozonun organik ve inorganik bileşikler parçaladığı ve renk gideriminde oldukça etkin bir yöntem olduğu bilinmektedir. Deterjan, renkli çamaşırların yıkanması sırasında atık suya renk salınımını etkileyen önemli bir faktördür. Bu nedenle, atık sudaki konsantrasyonunun bilinmesi önemlidir. İletkenlik ölçümü ile deterjan konsantrasyonu kalibrasyon eğrisi yardımıyla hesaplanabilmektedir. Hesaplanan deterjan konsantrasyonu değerlerinden ve görsel su analizinden yola çıkılarak, yaygın kullanılan pamuklu, renkli ürünlerin yıkanması sırasında birinci durulama adımında oluşan atık suyun, kimyasal ve renk içeriği bakımından yeniden kullanmak için uygun olduğu belirlenmiştir.

Su tasarrufu potansiyelini değerlendirmek amacıyla, bir çamaşır makinesinin çevrim başına su tüketimi incelendiğinde, geri kazanıma uygun olan durulama adımında harcanan su miktarının en az dörtte bir oranında olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, çamaşır makinelerinde birinci durulama suyunun geri dönüştürülmesi (ozon ile renk gideriminin sağlanması) ve tekrar kullanımı halinde yaklaşık dörtte bir oranında su tasarrufu sağlanabilecektir. Çamaşır makinelerinde pamuklu program kullanımı üzerinden yapılan hesaplamalara göre, birim ürün başına yıllık olarak yaklaşık 2100 L suyun yerinde tasarruf edilmesi ve Avrupa’da yaklaşık $11,6 \text{ hm}^3$ civarında su kazanımının sağlanması mümkün olabilecektir. Gri suların evlerde arıtılması ve geri dönüştürülmesi, arıtma amacıyla suyun taşınması sırasında harcanacak enerjiye de engel olacak ve enerji tasarrufu sağlayabilecektir.

Bu çalışmada, çamaşır makinesi renkli atık suyunun ozonlama ile giderilmesi, üründe yıkama için tekrar kullanımı ve bundan elde edilecek su tasarrufu potansiyeli ortaya konulmuştur. Son dönemlerde ise, amaşırhanelerde ve evlerde gerçekleşen evsel yıkama kaynaklı atık suların arıtılması amacıyla özellikle deterjanın tutulması, geri kazanılması ve yeniden kullanımı ile ilgili çalışmaların olduğu göze çarpmaktadır. Hem su hem de deterjan geri kazanımı sağlanabildiği takdirde, çevresel etki açısından su kaynakları daha verimli kullanılmış olacak, toplam atık su miktarı ve çevreye atılan deterjan miktarı azaltılabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] **Drinking water fact sheet.** Erişim: 27 Ekim 2020, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- [2] **Kocaer, F. ve Alkan, U.** (2002). Boyarmadde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 7, Sayı 1.*
- [3] **Dünya Doğayı Koruma Vakfı (WWF), Birleşmiş Milletler (BM) Araştırması.** Erişim: 6 Haziran 2022, <https://www.aa.com.tr/tr/info/infografik/19665>
- [4] **Lade, O. ve Gbagba, Z.** (2018). Sustainable water supply: Potential of recycling laundry wastewater for domestic use, *Journal Of Civil Engineering and Environmental Sciences, 4 (2),* 56–60.
- [5] **Christie, R. M.** (2007). *Environmental Aspects of Textile Dyeing*, The Textile Institute, Woodhead Publishing Limited.
- [6] **Bilad, M. R., Nawi, N. I. M., Subramaniam, D. D., Shamsuddin, N., Khan, A. L., Jaafar, J. ve Nandiyanto, A. B. D.** (2020). Low-pressure submerged membrane filtration for potential reuse of detergent and water from laundry wastewater, *Journal of Water Process Engineering, 36,* 1–7. Erişim: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101264>
- [7] **Bilinska, L., Gmurek, M. ve Ledakowicz, S.** (2015). Application of Advanced Oxidation Technologies for Decolorization and Mineralization of Textile Wastewaters, *J. Adv. Oxid. Technol., 18 (2),* 185–194.
- [8] **Bilinska, L., Blus, K., Gmurek, M. ve Ledakowicz, S.** (2019). Coupling of electrocoagulation and ozone treatment for textile wastewater reuse, *Chemical Engineering Journal, 358,* 992–1001.
- [9] **Wijannarong, S., Aroonsrimorakot, S., Thavipoke, P., Kumsopa, A. ve Sangjan, S.** (2013). Removal of Reactive Dyes from Textile Dyeing Industrial Effluent by Ozonation Process, *APCBEE Procedia, 5,* 279–282.
- [10] **Bilinska, L., Gmurek, M. ve Ledakowicz, S.** (2016). Comparison between industrial and simulated textile wastewater treatment by AOPs – Biodegradability, toxicity and cost assessment, *Chemical Engineering Journal, 306,* 550–559.
- [11] **Polat, D., Balcı, I. ve Özbelge, T.A.** (2015). Catalytic ozonation of an industrial textile wastewater in a heterogeneous continuous reactor, *Journal of Environmental Chemical Engineering, 3,* 1860–1871.
- [12] **Soares, O. S. G. P., Orfao, J. J. M., Portela, D., Vieira, A. ve Pereira, M. F. R.** (2006). Ozonation of textile effluents and dye solutions under continuous operation: Influence of operating parameters, *Journal of Hazardous Materials, 137 (3),* 1664–1673.
- [13] **Sevimli, M. F. ve Sarıkaya, H. Z.** (2002). Ozone treatment of textile effluents and dyes: effect of applied ozone dose, pH and dye concentration, *Journal of*

Chemical Technology and Biotechnology, 77, 842-850.

- [14] **Constapel, M., Schellentra"ger, M., Marzinkowski, J. M. ve Ga"b, S.** (2009). Degradation of reactive dyes in wastewater from the textile industry by ozone: Analysis of the products by accurate masses, *Water Research*, 43, 733–743.
- [15] **Patil, V. V., Gogate, P. R., Bhat, A. P. ve Ghosh, P. K.** (2020). Treatment of laundry wastewater containing residual surfactants using combined approaches based on ozone, catalyst and cavitation, *Separation and Purification Technology*, 239, 1–9. Erişim: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.116594>
- [16] **Giagnorio, M., Amelio, A., Gr"uttner, H. ve Tiraferria, A.** (2017). Environmental impacts of detergents and benefits of their recovery in the laundering industry, *Journal of Cleaner Production*, 154, 593–601.
- [17] **Huang, A. K., Veit, M. T., Juchen, P. T., Goncalves, G. C., Palacio, S. M. ve Cardoso, C. O.** (2019). Sequential process of coagulation/flocculation/ sedimentation- adsorption -microfiltration for laundry effluent treatment, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7, 1–7. Erişim: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103226>
- [18] **Gomez-Llanos, E., Duran-Barroso, P. ve Robina-Ramirez, R.** (2020). Analysis of consumer awareness of sustainable water consumption by the water footprint concept, *Science of the Total Environment*, 721, 1–11. Erişim: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137743>
- [19] **Roshan, A. ve Kumar, M.** (2020). Water end-use estimation can support the urban water crisis management: A critical review, *Journal of Environmental Management*, 268, 1–13. Erişim: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110663>
- [20] **Bressanelli, G., Perona, M. ve Saccani, N.** (2017). Reshaping the washing machine industry through circular economy and product-service system business models, *Procedia CIRP*, 64, 43–48.
- [21] **Wu, Z., Abramova, A. Nikonov, R. ve Cravotto, G.** (2020). Sonozonation (sonication/ozonation) for the degradation of organic contaminants – A review, *Ultrasonics – Sonochemistry*, 68, 1–12. Erişim: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105195>
- [22] **Rekhate, C. V. ve Srivastava J. K.** (2020). Recent advances in ozone-based advanced oxidation processes for treatment of wastewater – A review, *Chemical Engineering Journal Advances*, 3, 1–18. Erişim: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.100031>
- [23] **Malik, S. N., Ghosh, P. C., Vaidya, A. N. ve Mudliar, S. N.** (2020). Hybrid ozonation process for industrial wastewater treatment: Principles and applications: A review, *Journal of Water Process Engineering*, 35, 1–21. Erişim: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101193>
- [24] **Asghar, A., Raman, A. A. A. ve Daud, W. M. A. W.** (2015). Advanced oxidation processes for in-situ production of hydrogen peroxide/hydroxyl radical

- for textile wastewater treatment: a review, *Journal of Cleaner Production*, 87, 826–838.
- [25] **Paździor, K., Bilińska, L. ve Ledakowicz, S.** (2019). A review of the existing and emerging technologies in the combination of AOPs and biological processes in industrial textile wastewater treatment, *Chemical Engineering Journal*, 376, 1–25. Erişim: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.12.057>
- [26] **Christova-Boal, D., Evans, R. E. ve McFarlane, S.** (1996). An investigation into greywater reuse for urban residential properties, *Desalination*, 106, 391–397.
- [27] **Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M. ve Ledin, A.** (2002). Characteristics of grey wastewater, *Urban Water*, 4, 85–104.
- [28] **Jenssen, P. J. ve Vrale, L.** (2003). Greywater treatment in combined bio-filter/constructed wetlands in cold climate, *The 2nd International Conference on Ecological Sanitation*, Lübeck, Germany: April 6–11.
- [29] **Li, F., Wichmann, K. ve Otterpohl, R.** (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses, *Science of the Total Environment*, 407, 3439–3449.
- [30] **Edwin, G. A., Gopalsamy, P. ve Muthu, N.** (2014). Characterization of domestic gray water from point source to determine the potential for urban residential reuse: a short review, *Appl Water Sci*, 4, 39–49.
- [31] **Friedler, E.** (2004). Quality of individual domestic gray water streams and its implication for on-site treatment and reuse possibilities, *Environ Technol*, 25(9), 997–1008.
- [32] **Manouchehri, M. ve Kargari, Ali.** (2017). Water recovery from laundry wastewater by the cross flow microfiltration process: A strategy for water recycling in residential buildings, *Journal of Cleaner Production*, 168, 227 – 238.
- [33] **Pakula, C. ve Stamminger, R.** (2010). Electricity and water consumption for laundry washing by washing machine worldwide, *Energy Efficiency*, 3, 365–382.
- [34] **Pakula, C. ve Stamminger, R.** (2015). Energy and water savings potential in automatic laundry washing processes, *Energy Efficiency*, 8, 205–222.
- [35] **Ev tipi çamaşır makinesi AB enerji etiketi.** Erişim: 1 Haziran 2022, https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/energy-efficient-products/washing-machines_en
- [36] **Al-Hamaiedeh, H. ve Bino, M.** (2010). Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants. *Desalination*, 256 (1-3), 115–119.
- [37] **Güneş, Y., Atav, R. Ve Namırtı, O.** (2012). Effectiveness of ozone in decolorization of reactive dye effluents depending on the dye chromophore, *Textile Research Journal*, 82 (10), 994–1000.
- [38] **Moussavi, G. ve Mahmoudi, M.** (2009). Degradation and biodegradability

improvement of the reactive red 198 azo dye using catalytic ozonation with MgO nanocrystals, *Chemical Engineering Journal*, 152, 1–7.

- [39] **Somayajula, A., Asaithambi, P., Susree, M. ve Matheswaran, M.** (2012). Sonoelectrochemical oxidation for decolorization of Reactive Red 195, *Ultrasonics Sonochemistry*, 19, 803–811.
- [40] **Strickland, A. F. ve Perkins, W. S.** (1995). Decolorization of continuous dyeing wastewater by ozonation, *Textile Chemist and Colorist*, 27 (5), 11-15.
- [41] **Tehrani-Bagha, A. R., Mahmoodi, N. M. ve Menger, F. M.** (2010). Degradation of a persistent organic dye from colored textile wastewater by ozonation, *Desalination*, 260, 34–38.
- [42] **Bahar, G.** (2007). *Reaktif Kırmızı 195 (RR195) Azo Boyar Maddesinin Katalitik Ozonlanması*. (YL tezi). ukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [43] **Gürses, M.** (2014). *amaşır Makinelerinde Durulama Performansı Ölçüm Metodu Oluşturma Yöntemleri*. (YL tezi). İTÜ, FBE, İstanbul.
- [44] **Olsson, J., Ivarsson, P. ve Winqvist, F.** (2008). Determination of detergents in washing machine wastewater with a voltammetric electronic tongue, *Talanta*, 76, 91-95.
- [45] **Bratov, A., Abramova, N., Ipatov, A. ve Merlos, A.** (2013). An impedimetric chemical sensor for determination of detergent residues, *Talanta*, 106, 286-292. [38] **Alborzi, F., Schmitz, A. ve Stamminger, R.** (2017). Laundry washing behaviour of European consumers, Shaker Verlag Aachen.
- [46] **Alborzi, F., Schmitz, A. ve Stamminger, R.** (2017). *Laundry washing behaviour of European consumers*, Shaker Verlag Aachen.
- [47] **By the Numbers: The Home Appliance Industry in Europe, 2018-2019.** *Applia*. Erişim: 8 Haziran 2022, <https://applia-europe.eu/statistical-report-2018-2019/files/applia-statistical-report-2019.pdf>
- [48] **Beyaz Eşya Sektörü Geleceği Bugün Şekillendirmek.** *TürkBESD*. Erişim: 8 Haziran 2022, <http://www.turkbesd.org/userfiles/files/T%C3%9CRK-BESD%20Beyaz%20E%C5%9Fya%20Sekt%C3%B6r%20Raporu%20.pdf>



BÖLÜM 6

METALİK İMPLANTLAR İÇİN ELEKTROFORETİK BİRİKTİRME YÖNTEMİ (EPD) İLE ÜRETİLEN BİYOAKTİF CAM KAPLAMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Lale CİVAN¹

Semra KURAMA²

1 Dr., Lale CİVAN, Eskisehir Technical University, Department of Materials Science and Engineering, Eskisehir, Turkey, lalecivan@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6749-7398

2 Prof. Dr., Semra KURAMA, Eskisehir Technical University, Department of Materials Science and Engineering, Eskisehir, Turkey, skurama@eskisehir.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-7554-3419

GİRİŞ

Son yıllarda, Titanyum (Ti) alaşımları, paslanmaz çelik veya kobalt-krom (Co-Cr) alaşımları gibi metalik alaşımlar iyi mekanik özellikler ve yük taşıma kabiliyeti gereken kemik implant uygulamalarında tercih edilen başlıca malzemeler arasında yer almaktadır (Miola, Verné, Ciraldo, Cordeiro-Arias, & Boccaccini, 2015). Bu alanda kullanılan, implant biyomalzemeler, travmatize veya yıpranmış doku veya organların değiştirilmesi ve onarımı yoluyla hastaların yaşam kalitesini artırmayı amaçlamaktadır (Joy-anne et al., 2019). Ortopedik implantlar için kullanılan alaşımların başlıca özelliği yüksek mekanik dayanım olmakla beraber, kullanım ortamında gerekli olan biyoaktivite özelliğinin yanında canlı vücudunda değişen özelliklerdeki fizyolojik sıvıların korozif etkisine de dayanımları halen iyileştirmeye açık bir çalışma alanıdır (Fathi & Mohammadi, 2008). Bu malzemelerin biyolojik yanıtla kemiğe bağlanma ve korozyon sorununun ortadan kaldırılmasında kullanılan biyoaktif cam (BG) kaplamaların yapımında sol-jel, plazma sprey, elektroforetik biriktirme (EPD) ve elektrokimyasal biriktirme gibi çeşitli kaplama teknikleri kullanılır. Bu teknikler arasında EPD, altlık şeklinde önemli ölçüde kısıtlama gerektirmeyen, basit aparat ve düşük maliyet gibi avantajlar sunan çok yönlü bir tekniktir (Singh, Singh, & Bala, 2018). Bu derleme, farklı metalik implantlar üzerinde biyoaktif cam kaplamaların elektroforetik birikiminin değerlendirilmesi ve gelecekte bu yöntemle yapılabilecek çalışmalara ışık tutmayı hedeflemektedir.

Metalik Alaşımlar ve İmplant Uygulama Alanında Kullanımlarında Karşılaşılan Sorunlar

Ti alaşımları, Co-Cr alaşımları, Magnezyum (Mg) alaşımları ve paslanmaz çelikler gibi metalik implantlar biyo uygulamalarda en çok ilgi gören malzemeler olarak, küresel implant pazarında mükemmel mekanik özellikleri nedeniyle önemli bir yer tutmaktadır. Bu metalik implantlar arasında, 316 L paslanmaz çelik (316 L SS), bulunabilirliği, düşük maliyeti ve basit üretim yöntemi nedeniyle; yapay diz ve kalça eklemleri, ortopedi, ortodonti ve kalp kapakçığı üretimi alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, malzemenin üretimdeki avantajları ve özelliklerinin yanı sıra kullanım alanının temel gerekliliklerinden olan biyoaktivite ve biyouyum özelliklerinin yetersiz olması implant uygulamalarında başarı oranını düşürmektedir. 316 L paslanmaz çeliğinin temelini oluşturan Cr, Ni, V ve Mo elementlerinin vücut sıvısının aşındırıcı etkisi ile vücutta salınmaları halinde ciddi sağlık sorunlarına neden olduğu bilinmektedir (Mohandesnezhad, Etminanfar, Mahdavi, & Safavi, 2021). Öte yandan, Ti ve Ti alaşımları yüksek mekanik dayanım özelliklerine rağmen canlı dokularda biyolojik yanıt göstermemeleri nedeniyle kemiğe bağlanamadıkları için kullanım zorluğu oluşturmaktadırlar (Stojanovic et al., 2007). Bu nedenle, doğrudan kemik-implant bağlantısı ve uzun süreli stabilizasyon açısından Ti bazlı implantlar için halen klinik zor-

luklar yaşanmaktadır. Ti-bazlı implantlar bir yandan, biyoinert yapıları nedeniyle çevredeki kemikle pasif olarak bütünleşip, osseointegrasyon için uzun bir süre gerektiren, öte yandan, lokal tahriş ve enflamatuvar reaksiyonlara neden olabilen iyonların vücuda salınımının eşlik ettiği yavaş hızlarda da olsa korozyona neden olan elektrokimyasal reaksiyonlar oluşturabilmektedirler (Rastegari & Salahinejad, 2019). Ti bazlı implantlar kemiğe kimyasal veya biyolojik etkileşimle bağlanamadıklarından morfolojik olarak kemiğe tutunurlar ve canlı dokularla biyolojik reaksiyon eksikliği nedeniyle implant çevresinde yavaş yavaş yapışmayan fibröz kabuk oluştururlar. Bu oluşum bazı durumlarda arayüzey yer değiştirmelerine ve hatta klinik başarısızlığa neden olabilmektedir (Sanyal, Shukla, Dandapat, & Ghosh, 2018).

Biyomedikal uygulamalar için Mg bazlı malzemelerin kullanımı, fizyolojik vücut sıvılarında yüksek reaktiviteleri ve düşük korozyon direnci sebebiyle sınırlı olup, vücutta aşırı Mg^{2+} iyonları veya H_2 salınımı riskini artırır. Ek olarak, yüksek korozyon hızı, kemik kusurlarının tamamen iyileşmesinden önce implantın işlevsel başarısızlığına neden olduğundan kemik implant uygulaması için Mg esaslı malzemelerin korozyon direncinin iyileştirilmesi gerekmektedir (Huang et al., 2014). Bu nedenle, implantın fizyolojik koşullarda korozyona karşı oldukça hassas olması uzun süreli kullanımında ani başarısızlığa da yol açabilmektedir (Huang et al., 2013). Klinik kullanımda Mg ile ilgili en önemli endişe fizyolojik ortamdaki korozyon sürecinden dolayı hidrojen oluşumudur (Witte, 2010). Ayrıca, Mg çözünmesi ortam pH'ını arttırarak çevredeki dokuları olumsuz etkileyebilmektedir (Rahim, Eifler, Rais, & Mueller, 2015). Son yıllarda yapılan araştırmalar, çevre dokularda veya kan dolaşımında olası metal iyonları salınımını önlemek, implantların biyoaktivitesini ve osseointegrasyonunu iyileştirmek, implantları kaplamak için biyolojik olarak aktif inorganik malzeme kullanımını yaygın hale getirmiştir. Böylece, biyoaktif kaplamalar istenmeyen interfasiyal fibröz doku oluşumunu önleyerek metalik protezlerin kemik boşluğuna uyum sağlamasına izin verirken, ters tepkileri veya daha fazla hasarı da önler.

İmplant üretiminde kaplama uygulamalarının, kaplanmamış metalik implantlara göre daha yüksek entegrasyon oranları ve kemiğe daha etkili tutunma ile sonuçlandığı görülmektedir (Müller, Jobbagy, & Djurado, 2021). Diş hekimliğinde ve ortopedik uygulamalarda, bakteriyel enfeksiyonlar sonucunda biyofilm oluşumu da kritik endişe kaynağıdır. Çünkü ortaya çıkan enfeksiyon implant yetmezliği, antibiyotik uygulaması ile uzun süreli hastanede yatış, çeşitli cerrahi müdahaleler, tekrarlayan cerrahi operasyonlar, implant fonksiyon kaybı ve amputasyon gibi ciddi sonuçlara yol açar (Coelho, Araújo, Quadros, Sousa, & Monteiro, 2019). İmplant yüzeyi konak dokularla iyi bir şekilde bütünleşemediğinde, arayüzde fibröz doku gelişmesi gevşemeye ve sonunda implantın başarısızlığına yol açmaktadır (Joy-anne et al., 2019). Yapılan araştırmalar, ortopedik ameliyatların postoperatif dö-

neminde sık görülen komplikasyonların metalik implantlarla ilişkili enfeksiyonlar olduğunu göstermektedir. Bu enfeksiyonlar sıklıkla implantın çıkarılması ve/veya ölümlerle sonuçlanmaktadır (Marques et al., 2020).

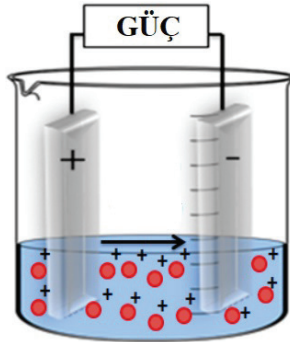
Biyoaktif Cam (BG) Kaplamalarla İmplantların Biyoaktivitesini Geliştirme

Ti6Al4V alaşımı, düşük elastik modülü ve yüksek mukavemeti nedeniyle popüler metalik biyomalzeme olarak dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, implantların uzun süreli klinik başarısı için implant-kemik arayüzünde osseointegrasyon hayati önem taşıdığından, biyoseramikler ve camlar gibi biyoaktif kaplamalar kullanılarak yüzey modifikasyonu yapılması önerilmektedir. Bunların arasında, BG partikülleri, iyonik ürünlerinin salınmasının kemik oluşumunu arttırdığı ve kemik benzeri apatit yapısı oluşumu ile doku-malzeme arayüzünde daha iyi fiksasyona olanak sağladığından büyük ilgi görmüştür (Hoomehr, Raeissi, Ashrafizadeh, Labbaf, & Kharaziha, 2021). BG'nin biyoaktivite mekanizması, kimyasal bağlanma yoluyla implant yüzeyinde karbonatlı hidroksiapatit oluşumu ile başlar. Bu fazın gelişimi sonucu taşıyıcı kemiğin kolajen lifleri, apatit fazına bağlanarak içeri doğru sıızan biyolojik bağları oluşturur. Böylece kemik/implant ara yüzü arasında kuvvetli bağlanma gerçekleşir (Khanmohammadi, Ilkhchi, & Khalil-Allafi, 2019). Bazı durumlarda, yapısal bileşime bağlı olarak bağlanma yumuşak doku ile de oluşabilir. Kemiğe bağlanma süreci, ilk olarak camın çözünmesi sonucu cam yüzeyinde hidroksikarbonat apatit (HCA) oluşumu ile başlar. Sonraki aşamada, biyolojik apatit uzun süreli implantasyon sonrası kemik ile kısmen yer değiştirir. Bu olay, BG'lerden gelen iyon salınım ürünlerinin, osteoblastik hücrelerin çeşitli genlerinin ekspresyonunu uyarması ve proliferasyonunu teşvik etmesinin sonucudur (B Garrido, Cano, & Dosta, 2021). Mevcut biyomalzemelerin uzun süreli başarısını artırmak ve yapay implantların revizyon riskini azaltmak için biyomekanik ve biyolojik gereksinimleri karşılayabilecek yeni fırsatların araştırılması gerekir. Bu amaçla yapılabileceklerden ilki, mevcut malzemeleri BG kaplamalarla işlevsel hale getirmektir (B Garrido et al., 2021). Yüzey kaplama, biyomalzemelerin yüzey biyouyumluluğunu ve biyoaktivitesini geliştirmek için en geleneksel ve yaygın olarak benimsenen yöntemlerden biridir. Diğer malzemelerle karşılaştırıldığında, BG kaplamaların yüksek düzeyde biyouyumlu ürünler olduğu gözlenmektedir. BG'ler, 316L paslanmaz çelik, Co-Cr alaşımı, Ti ve alaşımı (Ti6Al4V) metal implantlarından daha fazla insan dokusuyla bütünleşme şansına sahiptir. Bu da bu metallerin biyouyumluluğunu ve biyoaktivitesini geliştirmek için BG kaplamaları alternatif bir seçenek haline getirir (Joy-anne et al., 2019). BG kaplı metalik implantlar, düşük gerilme mukavemeti, yorulma direnci, elastik modül düşük korozyon direnci, ve biyoaktivite gibi metalik altlıkta yaşanan sorunların minimuma indirilmesinde önemli gelişme sağlar (Mehdipour, Afshar, & Mohebbi, 2012). BG kaplamaların birincil avantajı, kemiğe güçlü şekilde bağlanma yetenekleri ile karakterize edilen

yüksek biyoaktivite indeksleridir. Bununla birlikte, nispeten zayıf mekanik özellikleri ve kırılgenlılıkları nedeniyle, BG kaplamalar genellikle yük taşıma gerektirmeyen uygulamalarda kullanımları ile sınırlıdır. Bu nedenle, bu kapsamdaki kritik araştırmalar cam/seramik kompozitlerin geliştirilmesi veya BG'lerin tıbbi implantlarda metalik parçalar üzerinde kaplama olarak kullanılması gibi BG'lerin kırılma tokluğunu iyileştirmeye yönelik yöntemlerin araştırılmasına odaklanmıştır (Eckstein et al., 2019).

Biyoaktif Cam (BG) Kaplamalarında EPD Tekniğı Kullanımı

BG kaplı implantların üretilmesinde sol-jel, plazma sprej, EPD ve elektrokimyasal biriktirme gibi çeşitli kaplama teknikleri kullanılır (Singh et al., 2018). Bu teknikler arasında EPD, kısa çalışma süresi, basit aparat kullanımı, ince ayarlanabilen kaplama kalınlığı ve karmaşık geometrilere sahip altlık üzerinde tek tip birikme olasılığı gibi avantajları içerir. Birikmiş kaplamanın kalitesi ve kalınlığı, uygulanan voltaj, biriktirme süresi ve koloidal parçacıkların konsantrasyonu ile kolayca ayarlanabilir (K. Pan et al., 2022). EPD nispeten düşük ekipman maliyeti, oda sıcaklığında uygulama fizibilitesi, gözenekli veya üç boyutlu altlıkları kaplayabilme olasılığı, kaplama morfolojisini kontrol edebilme, hem sulu hem de organik süspansiyonlar kullanarak uygulanabilme gibi özellikleri göstermektedir (Hadzhieva & Boccaccini, 2021). EPD, süspansiyondaki yüklü katı parçacıkların elektrik alanının etkisi altında yönlü hareketleri sonucunda zıt yüklü altlık üzerinde birikmenin meydana geldiğı süspansiyonlarda kaplama işleminde kullanılan bir tekniktir. İki aşamada gerçekleşen EPD'de ilk olarak süspansiyon/kolloidal ortamda parçacıklar üzerinde pozitif veya negatif yükün üretimi, ardından uygulanan akım (elektroforez) ile zıt yüklü elektrota doğru parçacıkların hareketi gerçekleşir. Bu prosesin EPD deneysel sistemi Şekil 1'de gösterildiğı gibi paralel olarak ayarlanmış, yüklü süspansiyona daldırılmış ve bir güç kaynağına bağlı iki elektrottan oluşur. Güç kaynağı, kalın veya ince tabakalar halinde yüklü parçacıkların herhangi bir şekil ve boyuttaki altlıklar üzerinde biriktirilmesini sağlar (Batoool, Wadood, Hussain, Yasir, & Ur Rehman, 2021).



Şekil 1. EPD sistemi gösterimi (Batoool et al., 2021)

EPD, metalik altlıklar üzerinde çok bileşenli kaplamalar geliştirmek için çeşitli malzemelerin eş zamanlı biriktirilmesine imkan sağlar (Moskalewicz et al., 2022). Bu teknik son zamanlarda özellikle organik/inorganik kaplamalar başta olmak üzere biyomalzemelerin kaplanması giderek artan oranda tercih edilmektedir. EPD ile organik/inorganik kaplamalarda kullanılan başlıca doğal kökenli polimerler aljinat (Alg), kitosan (CS) ve hyaluronik asittir. Literatürde bu çalışmalardan farklı olarak lignin veya kollajen kullanımı da görülmektedir. Bu tip kaplamalar için alternatif olarak, kondroitin sülfat, anyonik mukopolisakkarit kullanımı da önerilmektedir (L Cordero-Arias & Boccaccini, 2017). EPD, biyomedikal uygulamaların CS bazlı kaplamalarının üretiminde kullanılan en yaygın yöntemdir (Pan, Weng, & Liu, 2022). CS bazlı kaplamada, EPD uygulamasına yönelik artan ilgi, uygulama kolaylığı, pürüzsüz kaplama üretim kabiliyeti, düşük işlem sıcaklığı, düşük maliyeti ve yüksek üretim hızına bağlanmaktadır (Molaei, Yari, & Afshar, 2015).

EPD Tekniği ile Zein/Biyoaktif Cam Kompozit Biyoaktif Kaplama Uygulamaları

Rivera ve arkadaşlarının çalışmasında kemik iyileşmesini amaçlayan implante edilebilir paslanmaz çelik üzerine antibakteriyel, pro-anjiyojenik ve pro-osteointegratif zein-BG/bakır (Cu) bazlı kaplamalar yapılmıştır. Paslanmaz çelik implantlar, sito-uyumlulukları ve mekanik dirençleri nedeniyle kemik replasmanı için uygun adaylardır. Ancak biyoaktivite eksikliğinden dolayı bakteriyel enfeksiyonlara yatkındırlar. Bu sorunların üstesinden gelmek için, çalışmada EPD yöntemi kullanılarak doğal fibroblast dostu zein polimer maddesi, pro-osteojenik bir inorganik malzeme olan BG ve antibakteriyel, pro-anjiyojenik malzeme olan BG içeren Cu ile üç farklı yenilikçi yüzey kaplaması geliştirilmiştir. Kaplamalar, örneklerle doğrudan temas halinde yetiştirilen insan fibroblastlarının, endotel hücrelerinin ve olgun veya progenitör osteoblastların metabolizma değerlendirmesiyle gösterildiği gibi sito-uyumludur. Ayrıca, 15 günlük doğrudan ekimden sonra osteojenik genleri ifade eden farklılaşmamış progenitör hücrelere karşı pro-osteojenik özelliklerin korunduğunu da gözlemlemişlerdir. Sistemdeki Cu'nun, eklem patojenleri *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* ve *Escherichia coli*'nin biyofilm oluşumuna karşı antibakteriyel özellikler gösterdiğini raporlamışlardır. Zein ve zein/BG veya zein/CuBG kaplamaları, EPD yöntemiyle paslanmaz çelik yüzeylere başarıyla uygulamışlardır. BG ve antibakteriyel Cu'nun varlığı, yığın malzemeye osteokondüktif ve anti-enfektif özellikler kazandırdığından metalin zayıf biyoaktivitesinin üstesinden geldiğini belirtmişlerdir. Özellikle, zein ile birleştirilmiş BG'ye Cu eklenmesi, numunelerin sitouyumluluğunu etkilemeden kaplamaların eklem patojenlerinden enfeksiyonunu önemli ölçüde azaltmada başarılı olmuştur. Cu, pro-anjiyojenik özellikler getirmiş ve in vitro olarak BG pro-osteojenik aktivitesini etkilememiştir. Tüm bu bulgular birlikte ele alındığında, zein/CuBG kaplama,

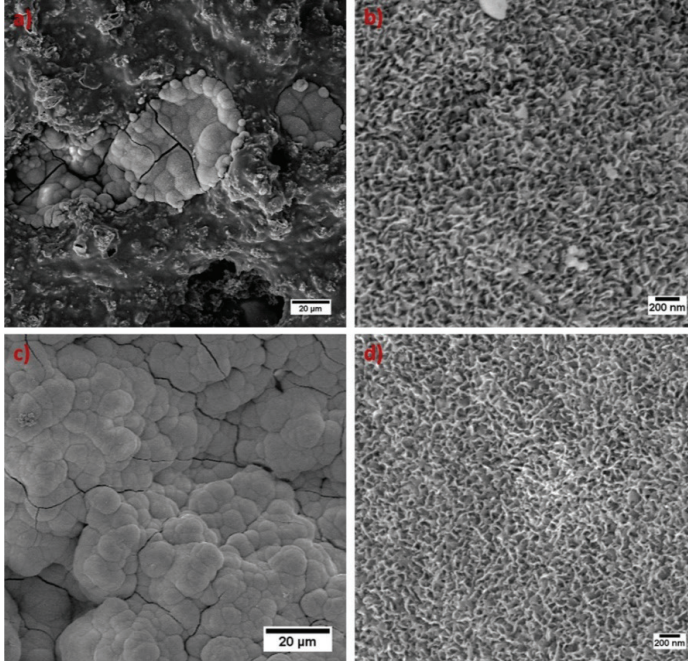
biyoinert implante edilebilir metalik malzemelerin antibakteriyel ve pro-osteointegratif özelliklerini geliştirmek için çok umut verici bir sistem olarak önerilmiştir (Rivera et al., 2021). Rivera ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiş olan diğer bir çalışmada, Zein ve zein/BG kompozit kaplamalar, anodik EPD kullanılarak 316L paslanmaz çelik üzerinde üretilmiştir. Zein ve BG konsantrasyonlarının yanı sıra farklı su/etanol oranlarının kaplama özellikleri üzerindeki etkileri ve uygulanan voltaj, biriktirme süresinin etkisi incelenmiştir. Zeinli kaplamalar, 0,05 V/m'ye eşit veya altında elektrik alan şiddeti kullanıldığında homojen olmuştur. Daha yüksek voltajlar, zeinin konformasyonel değişikliğinden kaynaklanan çözeltinin renginin bozulmasına yol açmıştır. Zein/BG'nin birlikte biriktirilmesi, uygulanan voltaja ve zein konsantrasyonuna duyarlılık sergilemiştir. Yüksek konsantrasyonlarda zein (10 g/L), çözeltinin viskozitesini arttırmış ve BG'nin elektroforetik hareketliliğini azaltmıştır (Rivera, Dippel, & Boccaccini, 2018). Başka bir çalışmada, 45S5 BG ve Cu katkılı BG olmak üzere çeşitli BG bileşimleri ile doğal polimer zeinin EPD'si yapılmış, filmlerin yapay vücut sıvısı (SBF) ile temas halinde hidroksiapatit (HA) oluşumunu güçlendirme yeteneği gözlenmiştir. SBF'de inkübasyonun ardından, EPD filmlerinin fiziksel ve kimyasal yüzey özellikleri, HA oluşumu farklı karakterizasyon teknikleriyle incelenmiştir. Yapılan çalışmalar, ortopedide potansiyel uygulama için iyon salan, biyoaktif ve antibakteriyel kaplamaların üretiminde EPD'nin uygun bir teknik olduğunu doğrulamıştır. Kaplamaların yüzeyinde üretime dayalı kısmen gözenek oluşumu gözlemlendiğinden zeinin bozunmasının SBF'ye 1 gün daldırıldıktan sonra başladığı raporlanmıştır. En yüksek daldırma süresinde neredeyse tüm zein yüzey tabakalarının, paslanmaz çelik alt tabakayı kaplayan gözenekli yapının oluşumunu sağlayacak şekilde bozunduğu vurgulanmıştır. Meyer ve arkadaşları bu çalışmada, özellikle 14 gün boyunca SBF'ye daldırılanlarda, kaplamaların yüzeyindeki parlak alanları, FTIR ve X-Işını Kırınımı (XRD) ile teyit edilen HA oluşumunun göstergesi olarak yorumlamışlardır. Her iki tip kaplamada da gözlemlenen az sayıda BG partikülü, bazı partiküllerin zeinin bozunmasından sonra SBF solüsyonunda salınmış olabileceğini veya HA oluşturmak üzere çözünmüş olabileceğini göstermiştir. Biyoaktif davranış açısından sonuçlar, SBF'ye 7 günlük daldırma sonrasında tüm kompozit kaplamalarda HA oluşumunu doğrulamıştır. FTIR sonuçları, SBF'ye daldırma süresinin artmasıyla 45S5 BG içeren kaplamalarda zeinin bozunma sürecinin arttığını göstermiştir. Cu katkılı 45S5 BG ile üretilen kaplamaların, muhtemelen salınan Cu iyonlarının çapraz bağlama etkisinden dolayı zeinin bozunma sürecini yavaşlatmıştır (Meyer et al., 2018). Ahmed ve arkadaşları çalışmalarında, ön işleme tabi tutulmuş Mg altlığı üzerinde EPD yoluyla biriktirilen Zein protein-BG kompozit kaplamanın, hızlı bozunmayı etkili bir şekilde azalttığını ve Mg implantlarının biyoaktif özelliklerini iyileştirdiğini göstermiştir. Optimal parametreler, deneme yanılmaya dayalı olarak 12 V'luk voltaj, 5 g/L'lik BG konsantrasyonu, 3'lük pH, 5 dakikalık biriktirme

süresi ve 10 mm’lik elektrotlar arası mesafe “en iyi” olarak seçilmiştir. Süspansiyonun, elektroforetik biriktirme süreci boyunca çökme göstermemesi yeterli stabiliteye sahip olduğunu kanıtlamıştır. Uygulanan voltajın (5 veya 10 V) daha düşük değerleri, daha yüksek voltajlardan (15 veya 20 V) iyi sonuçlar vermiştir. Temas açısı ölçümleri, zein/BG kaplamalarının ilk proteini bağlanması için uygun olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, BG’nin eklenmesi daha düzgün ve yoğun bir kaplama oluşturmaya yardımcı olmuştur (Ahmed, Nawaz, Singh Virk, Wadood, & Ur Rehman, 2020).

EPD Tekniği ile Kaplanan Polietereterketon (PEEK)/Biyoaktif Cam Kaplamalar

Ur Rehman ve arkadaşları yapmış oldukları araştırmalarla, PEEK’in biyouyumlu olmasına rağmen biyoaktivitesindeki eksikliğini gidermek amacıyla BG ilavesi ile yapılan kompozit kaplamalar 316 L SS üzerine elektroforetik yöntemle gerçekleştirilmiştir. Sinterleme parametreleri 400°C, 30 dakika olarak optimize edilen kaplamalarda SBF’de bekletildikten sonra apatit kristalleri oluşmuş, homojen mikro yapı ve korozyon direnci gözlenmiştir. PEEK/BG kompozit kaplamalar, osteoblast benzeri hücrelere uygun biyoaktivite, aşınma direnci ve biyouyumluluk sunmuştur (Ur Rehman, Bastan, Nawaz, Nawaz, & Wadood, 2020). Ur Rehman ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, lawson (kınının aktif bileşeni) yüklü BG/CS kompoziti, polietereterketon (PEEK)/BG katmanları üzerine antibakteriyel ve biyoaktif kaplama olarak elektroforetik yöntemle biriktirilmiştir. Kaplanmış numuneler, kaplanmamış 316-L paslanmaz çeliğe kıyasla 10 kat daha yüksek korozyon direnci göstermiştir. En üst tabakada lawsonun bulunması *Staphylococcus carnosus*’a karşı antibakteriyel etki sağlamıştır. Geliştirilen kaplamalar, SBF’ye daldırıldıktan sonra apatit benzeri kristaller oluşturmuş ve bu, kaplama yüzeyi ile kemik arasında etkileşimin artmasında katkı sağlamıştır. Lawson salınımı UV/VIS analizleri ile belirlenirken XRD analizi, SBF’ye daldırıldıktan sonra yeni fazların oluşumunu doğrulamıştır (Ur Rehman et al., 2018). Grubun başka bir çalışmalarında paslanmaz çelik yüzeylere EPD yöntemiyle PEEK/BG kaplamalar yapıldıktan sonra üzerine gümüş nanoküme-silika kaplamaları radyo frekansı (RF) ile püskürtme yapılmıştır. Biriktirme süresi 15 ve 40 dakika olan iki farklı püskürtme koşulu kullanılarak yapılan bu kaplamalarda antibakteriyel ve biyoaktif özellik tespit edilmiştir. PEEK/BG katmanında BG partiküllerinin varlığı, kaplamaların SBF’ye daldırıldığında apatit benzeri kristaller oluşturmasını sağlamıştır. Üst katman olarak silika matrisine gömülü gümüş nanokümeler, *Escherichia coli* ve *Staphylococcus carnosus*’a karşı antibakteriyel etki oluşturmaktadır (Ur Rehman et al., 2017). EPD yöntemiyle biriktirilen PEEK/BG/mezo gözenekli biyoaktif cam nanoparçacık (MBGN) katmanları üzerine iki katmanlı gümüş (Ag) nanoküme-silika kompozit katmanlar RF birlikte püskürtme ile biriktirilmiştir. Önceki çalışmada tartışıldığı gibi 20 dakika ve 40 dakika

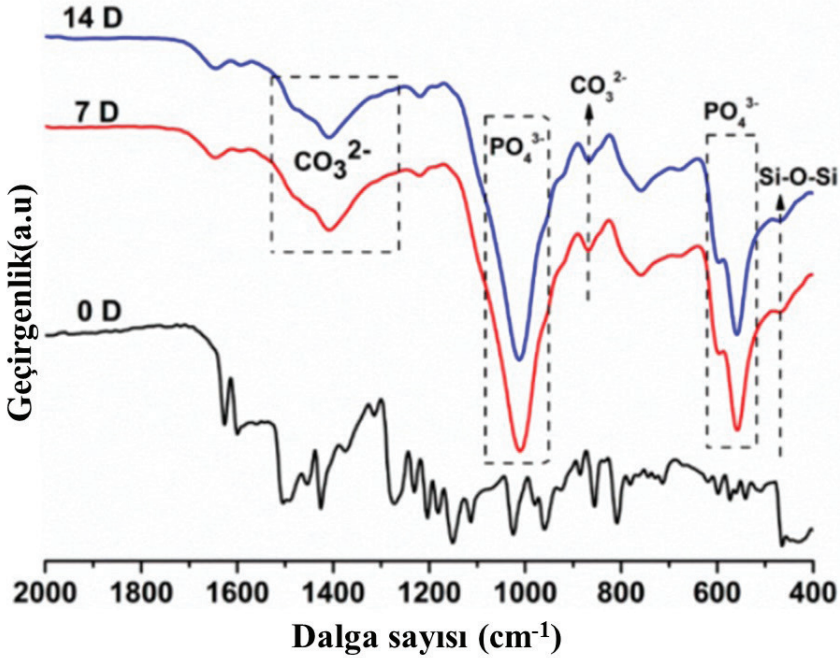
olmak üzere iki farklı süre kullanılarak yapılan püskürtmede daha yüksek püskürtme süresi, kaplamalarda daha fazla kalınlık ve artan gümüş miktarına yol açmıştır. Kaplamanın SEM analizi üst tabakanın alt tabakaya sızmasına izin verecek bazı mikro gözenekler içerdiğini göstermiştir. SEM görüntüleri SBF’de 1 gün bekletilen yapıda HA oluşumunu ve gümüş nanokümlerin çok katmanlı EPD/RF kaplamalarında homojen olarak dağıldığını desteklemektedir. EPD/RF-40 kaplamalarının yüzeyinde kristallerin oluşumunu gösteren “karnabahar benzeri” morfoloji gözlemlenmiştir. 14 günlük inkübasyondan sonra bu yapılar kaplamaların yüzeyine yayılmıştır (Şekil 2). Bu çalışmada, silika matrisine gömülü Ag nanokümlerin varlığı, *E. coli* ve *S. carnosus*’a karşı güçlü antibakteriyel etkiye yol açan gümüş iyonlarının kontrollü salınımını sağlamıştır. Ag iyonlarının bu kontrollü salınımı, Ag-EPD numunesine kıyasla daha iyi hücre canlılığı ile sonuçlanmıştır. EPD/RF20 ve EPD/RF-40 kaplamalarından gümüş iyonlarının yavaş salınımına rağmen, Gram pozitif ve Gram negatif bakterilere karşı güçlü antibakteriyel etki göstermişlerdir. EPD/RF kaplamalar gümüş iyonlarının salınımı, osteoblast benzeri hücrelerin bağlanması ve çoğalması üzerinde olumsuz sonuçlar vermeden antibakteriyel etkilere yol açmıştır. Sonuç olarak, EPD/RF kaplamalar, ortopedik uygulamalar için biyoaktif, antibakteriyel ve sito-uyumlu kaplamaların tasarlanmasında faydalı olabilecek kontrollü gümüş iyonları salınımı göstermiştir (Q. Nawaz et al., 2021).



Şekil 2. (a) 1 gün, (b) 1 gün yüksek büyütmede, (c) 14 gün, (d) 14 gün yüksek büyütmede SBF’ye daldırıldıktan sonra EPD/RF-40 kaplamalarının SEM görüntüleri (Q. Nawaz et al., 2021)

Çalışmada, CS/jelatin/Ag-Mn katkılı mezo gözenekli BG nanoparçacıkların (Ag-Mn MBGN'ler) kompozitinin, 316 L SS üzerine elektroforetik olarak kaplanmış olan PEEK/BG tabakası üzerinde elektroforetik birikimine odaklanılmıştır. Biyolojik olarak aktif metalik iyonların (Mn ve Ag) ve moleküllerin CS eklenmesi, bakterilerin büyümesi üzerinde güçlü etki göstermiştir. Mn ve Ag'nin dahil edilmesi, kaplamaların biyoaktivitesi üzerinde ihmal edilebilir toksik etki yapmıştır. SBF'ye 1 günlük inkübasyon sonrasında çok katmanlı kaplamaların yüzeyinde küçük HA kristallerinin oluştuğu belirtilmiştir. Bekletme süresinin artmasıyla HA kristallerinin boyutu daha da artarak kemiğe bağlanma kabiliyetinin arttığı tespit edilmiştir. Mikroyapı analizleri ile üst katman CS/jelatin/Ag-Mn MBGN'lerin PEEK/BG katmanlarına sızdığı da raporlanmıştır. Çok katmanlı kaplamalar, biyomedikal uygulamalar için ıslanabilirlik, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey kimyası için uygun yüzey özellikleri sunmuştur. Çok katmanlı kaplamalar Ag-Mn MBGN'ler nedeniyle HA kristalinin çekirdeklenmesi ve daha sonra BG parçacıkları nedeniyle HA kristalinin büyümesi gibi ikili faktörlerden dolayı üstün biyoaktivite sergilerken, bu kaplamaların güçlü antibakteriyel etkisi kitosan ve Ag iyonları ile ilişkilendirilmiştir (A. Nawaz & Ur Rehman, 2021). EPD yoluyla 316 L SS üzerine biriktirilen hegzagonal bor nitrid (h-BN) ve BG içeren PEEK esaslı kompozit kaplamalar Virk ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmalarda 375°C'de, 30 dakika sinterlenmiştir. Karakterizasyon işlemleri erimiş PEEK'in BG ve h-BN parçacıklarıyla gömülü tek tip matris oluştuğunu göstermiştir. Üretilen kaplamalar, alt-tabakaya uygun yapışma ve ilk protein bağlanması için uygun hidrofiliklik sergilemiştir. SBF'ye daldırıldıktan sonra apatit kristalleri oluşturmuştur (Virk, Rehman, & Boccacini, 2018). PEEK/BG/h-BN katmanları üzerine CS/kurkumin kaplama EPD ile 316L paslanmaz çelik üzerinde biriktirilmiştir. Üretilen bu kaplamalar, bileşim, mikro yapı, ilaç salma kinetiği, antibakteriyel aktivite ve in vitro biyoaktivite açısından karakterize edilmiştir. FTIR çalışması, Şekil 3'te gösterildiği gibi, çok katmanlı kaplamaların SBF'ye daldırılması sırasında yeni bağların gelişimini göstermiştir. Yeni fosfat pikleri (564, 605, 963 ve 1030 cm^{-1}) ve karbonat pikleri (868 ve 1418 cm^{-1}), karbonatlı hidroksiapatit oluşumunu düşündürmüştür. Kaplamaların kemiğe bağlanma kabiliyetini artıran karbonatlı hidroksiapatit oluşumu, temel kaplamalara BG eklenmesinin temel amacıdır. Çok katmanlı kaplamaların fosfat tamponlu tuzlu su (PBS) içine daldırılması üzerine kurkumin salınımı, ultraviyole/görünür (UV/VIS) spektroskopik analiz ile doğrulanmıştır. *Staphylococcus carnosus* ve *Escherichia coli* büyümesinin inhibisyonu bu çok katmanlı kaplama üzerinde onaylanmıştır. Ek olarak, çok katmanlı kaplama, yapay vücut sıvısına daldırıldığında apatit benzeri bir katman oluşumunu desteklemiştir. Apatit benzeri bu yapıların kristal boyutu, SBF'ye daldırma süresinin artmasıyla artmıştır. Çok katmanlı kaplamaların izoelektrik noktası (IEP) pH 7,4 değerinden daha düşük olduğundan, bu kaplamalar SBF'de negatif olarak yüklenmiş

ve kalsiyum iyonlarını çekerek, kalsiyum ile zenginleştirilmiş plaka benzeri apatitin büyümesine yol açmıştır. Yapılan analizlerde, P ve Ca piklerinin yoğunluğundaki artış ve Si piklerinin yoğunluğundaki azalma, kaplamaların yüzeyinde kalsiyum fosfat tabakasının gelişimini göstermiştir. CS/kurkumin kaplamalar, PEEK/BG/h-BN katmanındaki gözenekleri bir dereceye kadar doldururken kaplamaların genel pürüzlülüğünü azaltmıştır. Çok katmanlı kaplamalar sürekli kurkumin salınımı göstermiş, PEEK ortopedik eklemlerde gereken yağlama etkisini sağladığı için PEEK ve PEEK bazlı kompozitlerin biyomedikal uygulamalar için uygunlukları doğrulanmıştır (Virk et al., 2019).



Şekil 3. 7 ve 14 gün boyunca SBF’de işleminden önce ve sonra çok katmanlı kaplamaların FTIR spektrumları (Virk et al., 2019)

Literatürdeki farklı bir çalışmada 316 L SS altlıklara yapılan PEEK/BG kompozit kaplamalarda EPD parametreleri, Taguchi DoE yaklaşımı kullanılarak optimize edilmiştir. Elektrik alanı ve biriktirme süresinin birbiriyle yüksek oranda ilişkili olduğu ve bunların süreç optimizasyonu için kilit faktörler olduğu gösterilmiştir. Stabil süspansiyon hazırlama yöntemi, zeta potansiyel değerleri açısından sitrik asit konsantrasyonu ve pH arasında denge kurularak geliştirilmiştir. Bu kaplamalar için EPD işlem kinetiği, Hamaker modeli kullanılarak incelenmiştir. Daha uzun biriktirme sürelerinde üretilen kaplamalar, 110V’ta üretilenler dışında hafifçe topaklanma eğilimindedir. Bu davranışın parçacıklar arasındaki düşük kohezyondan kaynaklanabileceği öne sürülmüştür. Mikroyapısal analiz, polimerik matristeki gömülü

BG parçacıklarının biriktirme voltajındaki artışla homojenlik kazandığını niteliksel olarak ortaya koymuştur. Ayrıca mikrograflarda, kaplamalardaki PEEK partikül miktarının voltaj artışıyla orantılı olarak artma eğiliminde olduğu da gözlemlenmiştir. Bu da kompozit kaplamaların mekanik bütünlüğünü iyileştirmede olumlu etki göstermektedir (M Atiq Ur Rehman, Bastan, Haider, & Boccaccini, 2017). Seuss ve arkadaşlarının araştırması sırasında, EPD kullanılarak PEEK, biyoaktif cam ve gümüş nanoparçacıklardan oluşan kompozit kaplamalar üretilmiş, *Escherichia coli* bakterileri ve osteoblast benzeri hücreler (MG-63) üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kemik hücresi bağlanmasını ve büyümesini sağlarken büyüyen bakteri miktarını azaltabilen bir kaplama oluşturmak amaçlanmıştır. PEEK polimer matrisine gömülü BG parçacıklarına dayalı kaplamalarda PEEK kullanımı, biyoaktif cam parçacıklarının eşit şekilde birikmesini kolaylaştırmış, elektroforetik biriktirme sonrasında yüksek sinterleme sıcaklıklarına gerek duyulmamıştır. Araştırmada süspansiyondaki ve dolayısıyla kaplamalardaki gümüş konsantrasyonu değiştirilerek antibakteriyel etkinin ayarlanabileceği gösterilmiştir. Gümüş eklenmesinin hücrelerin tutunması ve canlılığı üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığı gösterilmiştir. Kaplamasız paslanmaz çeliğe kıyasla, mevcut BG içeren PEEK-Ag kaplamaları, antibakteriyel özelliklerin yanı sıra daha iyi hücre tutunması ve yayılma davranışı sergilemiştir (Seuss, Heinloth, & Boccaccini, 2016).

Elektroforetik Biriktirme Tekniği ile Kitosan (CS) Bazlı Biyoaktif Cam Kompozit Kaplama-Uygulamaları

CS, CS/45S5 biyoaktif cam (mBG), CS/nanobiyoacam (nBG) ve CS/mBG/nBG kaplamaları, EPD tekniği kullanılarak, kumlanmış Ti6Al4V alaşımlı altlıklar üzerinde biriktirilmiştir. Çalışma, yüzey özelliklerinin kum püskürtme ile ayarlanmasına odaklanırken, altlıkların yüzey özelliklerinin CS bazlı ince kompozit kaplamaların 3B yüzey topografisini, alansal yüzey pürüzlülüğünü, morfolojisini ve ıslanabilirliğini nasıl etkilediği araştırılmıştır. CS'ın amin grupları ile mBG partikül yüzeylerinin hidroksil grupları arasında hidrojen bağı oluşumu ile CS mBG partikülleri üzerinde adsorbe olmuş, sonuçta pozitif yüklü CS molekülleri ve mBG parçacıkları, uygulanan elektrik alanı altında kum püskürtmeli alt tabakaların yüzeylerinde biriktirilmiştir. SBF'ye 3 gün daldırıldıktan sonra CS/mBG kaplamalar üzerinde apatit kristallerinin ilk oluşumu gözlemlenmiştir. Nano-küresel toplanmış çökeltilerin, 7 gün bekleme süresi sonunda Ca, P ve O'dan oluştuğu analizlerle tespit edilmiştir. Bu kaplamalar, istenen ilaç salım profilini ve etkili antibakteriyel performansı sergilemiştir (Avcu et al., 2018). 316 L SS üzerine EPD ile kaplanmış Ag-stronsiyum (Sr) katkılı MBGN yüklü CS/jelatin kaplamaların yüzey ve biyolojik özelliklerinin araştırıldığı bu çalışmada kaplamalarda CS, jelatin ve Ag-Sr MBGN'lerin varlığı doğrulanmış, mikroyapı analizleri kaplamaların oldukça homojen olduğunu göstermiştir.

Ayrıca, C/G/Ag-Sr MBGN kaplamalarının morfolojisinde değişiklik 7 gün sonra HA kristalinin boyutunda belirgin artış olarak gözlenirken, SBF'ye 3 ve 7 günlük daldırma sonrasında gözenekli ve plaka benzeri yapının, daldırma süresinin artmasıyla birlikte geliştiği ve büyüdüğü raporlanmıştır. CS/jelatin/Ag-Sr MBGN kompozit kaplamalar, protein bağlanması ve osteoblast hücrelerinin proliferasyonu için uygun ıslanabilirlik sergilemiştir. Kaplamalar, SBF'ye daldırıldıktan sonra HA kristalleri gelişmiştir. Çalışmada, Ag ve Sr'nin MBGN'lere dahil edilmesi in vitro biyoaktivite ve antibakteriyel aktiviteyi desteklemektedir. C/G/Ag-Sr MBGN kompozit kaplamalarda ilk 4 numune $<5\%$ delaminasyon gösterdiği için alt tabakaya yapışma gücü 4B olarak derecelendirilmektedir. Beşinci numune $5\%-15\%$ 'inin delamine olduğu anlamına gelen 3B olarak sınıflandırılmış önceki numuneye kıyasla, kesiklerin kesişme noktalarında ve kenarlarında daha düşük yapışma göstermiştir (Aqib, Kiani, Bano, Wadood, & Ur Rehman, 2021).

Korozyon koruması için Mg-Si-Sr alaşımı üzerine CS-jelatin-BG'nin alternatif akım elektroforetik biriktirilmesi üzerine çalışma Akram ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Hibrit biyopolimer CS-jelatin (G)-BG kaplamalar uygulanarak deneysel Mg-Si-Sr alaşımının bozunma hızının kontrol edilmesi araştırılmıştır. Bu çalışmada, yüzey kaplaması için alternatif akım alanları (AC-EPD) kullanılarak elektroforetik biriktirme yapılmıştır. Biriktirme verimini iyileştirmek ve AC-EPD sırasında Mg alaşım alt tabakasının anotlanması önlemek için, yüksek genlikli pik yönünde DC kayması uygulanmıştır. Ringer çözeltisinde gerçekleştirilen potansiyodinamik polarizasyon çalışmalarına dayanarak, AC-EPD kaplamalarının koruma verimliliği, sırasıyla süspansiyon bileşimi ve voltaj tarafından belirlenen kaplama kalitesine güçlü şekilde bağlı olduğu ortaya konulmuştur. Biyopolimer tipi ve konsantrasyonu, BG partikül boyutu süspansiyon parametrelerinin ve ayrıca voltaj genliği, frekans ve zaman temel AC-EPD parametrelerinin yüzey üzerindeki etkisi de aynı çalışmada incelenmiştir. Pozitif yüklü biyopolimer/BG parçacıklarının kararlı süspansiyonları, yüksek genlik piki sırasında katot olarak birleştirilerek Mg alaşımı üzerinde biriktirilmiştir. Korozyon çalışmaları, CS-G-BG AC-EPD kaplama içeren Mg-Si-Sr alaşımı için korozyon hızının önemli ölçüde azaldığını ortaya koymuştur (Akram, Arshad, Aktan, & Braem, 2020).

Ti implantların üzerine iki katmanlı kaplama olarak Aydemir ve arkadaşlarının çalışmalarında uygulanmıştır. İlk olarak, altlıkların üzerine BG partikülleri olan sol-jel baz tabakası püskürtmüşlerdir. Daha sonra, jelatin biyopolimeri ve CS ile silika-gentamisin nanoparçacıklarından oluşan üst tabakanın kemiğe geçici tutunmasını sağlamak ve olası bakteriyel adezyonla mücadele etmek amacıyla EPD ile kaplama işlemini yapmışlardır. Her iki altlık üzerindeki kaplamaların yüzeyi, bir dizi mikroskopi, spektroskopi ve dijital görüntü işleme teknikleri kullanılarak karakterize edilmiştir (Aydemir

et al., 2021). Rehman ve arkadaşlarının çalışmasında ise 316 L SS altlık üzerine CS, jelatin ve Cu ilavesi yapılmış BG'nin EPD'siyle üretilen kompozit kaplamaların hidrofilik özelliklerinin uygunluğunu gözlemlemişlerdir. Kaplama işlemi sürecinde, biriktirme süresi ve voltajın artmasıyla biriktirme hızının da arttığını tespit etmişlerdir. Yapılan mikroyapısal analizler ile jelatin konsantrasyonundaki artışın Cu-BG partiküllerinin dağılımını iyileştirdiğini ve kaplamaların daha homojen olduğunu göstermişlerdir. Üretilen kaplamalarda CS, jelatin ve Cu-BG varlığı doğrulanmış, kaplamalarda suyun elektrolizi nedeniyle bazı mikro gözenekler belirlenmiştir. Kemik dokusu rejenerasyonu üzerine yapılan bazı araştırmalar, biyomalzemelerin yüzeyinin 35°-80° arasında bir temas açısına sahip olması gerektiğini göstermektedir (Muhammad Atiq Ur Rehman, Munawar, Schubert, & Boccaccini, 2019). Başka bir çalışmada, basit ve uygun maliyetli çevre dostu EPD yöntemini kullanarak CS ve yeni cam bileşimlerine dayalı 316L SS için kompozit kaplamaların hazırlanması amaçlanmıştır. Biyocama bor ilavesiyle modifiye edilmiş iki cam bileşimi, bu tür kompozit tabakaları hazırlamak için kullanılmıştır. Çatlaksız ve iyi yapışkan kaplamalar elde etmek için voltaj, zaman, cam tozu ve CS konsantrasyonları gibi farklı EPD kaplama faktörleri incelenmiştir. En iyi kompozit kaplamaların 20 V, 5 dakikalık çökeltme süresi, 0,5 g/l polimer konsantrasyonu ve 6 g/l cam konsantrasyonunda elde edildiği raporlanmıştır. Hazırlanan cam numunelerinin faz analizlerinde (XRD) camların amorf yapısını ortaya konulurken, sonuçların elde edilen kaplamaların homojen ve istenen kalınlıkta çatlaksız olduğunu gösterdiği vurgulanmıştır (Al-Rashidy, Farag, Ghany, Ibrahim, & Abdel-Fattah, 2018). Heise ve arkadaşlarının çalışmasında Mg alaşımı (WE43) üzerinde EPD ile silika içeren ve içermeyen iyi yapışkan CS-BG kompozit kaplama hazırlanmıştır. BG'nin silika partikülleri ile kısmen değiştirilmesinin, kaplamaların SBF ile temas halinde olduğunda HA oluşumu için uygun topografi sağladığı belirtilmiştir. Her iki kaplama bileşim, korozyon direnci, çizilme direnci ve biyoaktivite açısından karşılaştırılmıştır. Biyoaktif camın silika partikülleri ile kısmen değiştirilmesi, kaplamalar SBF ile temas halinde olduğunda hidroksiapatit oluşumu için uygun bir topografi sağlamıştır. Yapısal destek olarak silika parçacıklarının eklenmesinin, heterojen çekirdeklenmeyi teşvik ettiği ve oluşan yüzey (CaP) ürünlerinin ayrılmasını önlediği belirtilmiştir. Sisteme yapılan silika ilavesi, kaplamanın çelik altlığa yapışmasını azaltsa da, Mg alaşımı üzerindeki kaplama yapışması üzerinde hiçbir etkisi olmadığı da vurgulanmıştır. Sonuçlarda, organik CS konsantrasyonunu sabit tutarken silika parçacıkları eklemenin (kaplama biyoaktivitesini ve sertliğini artırarak) avantajlı etkisi gözlenmiştir (Heise, Wirth, et al., 2018). Grubun, başka bir çalışmasında BG/CS kompozit kaplamalar, EPD ile bir Mg alaşımı (WE43) üzerinde başarılı bir şekilde biriktirilmiştir. Kaplamanın son morfolojisini etkileyen zaman, voltaj biriktirme parametrelerini ve numunenin pürüzlülüğünü optimize etmek için Taguchi Deney Tasarımı yaklaşımı kullanılmıştır. Mg altlı-

ğın aşındırıcı yapısından dolayı tüm gözenekleri kapatarak hatasız bir kaplama yüzeyi elde etmek için ikinci bir kaplama tabakasına ihtiyaç olduğu belirlenmiştir (Heise, Virtanen, & Boccaccini, 2018). Mg alaşımlı (WE43) altlıklar üzerinde CS/45S5 bileşimli BG kompozit kaplamalar elektroforetik olarak biriktirilerek karakterizasyonu yapılmıştır. Biri ön işleme tabi tutulmamış alt tabaka, diğeri ise hücre kültürü ortamı olarak Dulbecco'nun Modifiye Kartal Ortamında (DMEM) işlem görmüş iki tip alt tabaka planlanmıştır. Ön işlem uygulanmayan kaplama için homojen ve çatlaksız tek katmanlı kaplama elde edilememiştir. Ön işleme tabi tutulmuş alt tabakanın üstündeki kaplama, işlenmemiş alt tabaka üzerindeki kaplamadan daha homojen görünmüştür. 1 gün süreyle SBF'ye daldırılan kaplamalara ilişkin FTIR ve EDX sonuçları, kaplamaların inorganik biyoaktivitesinin belirteci olan ve bunların ortopedik implantlardaki potansiyel uygulamalarıyla ilgili olan hidroksikarbonatapatit oluşumunu göstermiştir. Sonuçlar, WE43 alaşımı üzerindeki korozyona karşı koruyucu CS-BG kaplamalar için altlığın ön işleme tabi tutulmasının önemini doğrulamıştır (Heise et al., 2017). Höhlinger ve arkadaşları yaptıkları çalışma kapsamında, proteinlerin CS-BG kaplı Mg alaşımının korozyon davranışı üzerindeki etkisini incelemiştir. Daldırma testi sırasında korozyon davranışı, DMEM'de protein ilaveli ve ilavesiz fetal sıgır serumu (FBS) kaplamasız alaşımlı yüzey, ön işleme tabi tutulmuş WE43 ve Ch-BG kaplı numuneler için karşılaştırılmıştır. Korozyon hızı kütle kaybı ölçümleri ile belirlenmiştir. Daldırma testleri, proteinlerin bozunma süreci üzerindeki etkisini incelemek için serum eklenerek ve eklenmeden gerçekleştirilmiştir. Kütle kaybı, 3d ve 7d daldırma sonrasında korozyon oranını belirlemek için ölçülmüştür. Kütle kaybı deneyleri, serumsuz DMEM'de 3 günlük daldırma süresinden sonra kaplamasız WE43 alaşımı için sadece çok az kütle kaybı göstermiştir. Ön işleme tabi tutulmuş numuneler en yüksek kütle kaybı sergilemiş, bunu CS/BG kaplı numuneler takip etmiştir. Ön işleme tabi tutulmuş numunelerin DMEM'e 7 gün daldırılmasından sonra, yüzeyi üzerinde dağılmış büyük korozyon ürünleri bulunduğu, Ch-BG kaplı numunelerin ise, yüzey morfolojisi, yeni kaplanmış numuneye kıyasla 7 günlük daldırma sırasında önemli ölçüde değiştiği belirtilmiştir. Bu çalışmada, BG'nin önemli oranda çözündüğü ve dönüşüm kaplamasının öncekinden daha fazla çatlağa sahip olduğu görülmüştür. Bu da, CS'nin artık yüzeyde bulunmadığı olarak yorumlanmıştır. Ek olarak, 7 günlük daldırmanın ardından benzersiz ipliksi korozyon ürünleri görülmüştür. Çalışılan malzemelerin korozyon davranışı üzerinde serum ilavesinin yalnızca zamana bağlı önemli bir etkisini göstermekle kalmadığı, aynı zamanda numune tipine bağlı olarak da çözeltideki proteinlerin korozyonu hızlandırdığı veya engellediği raporlanmıştır (Höhlinger et al., 2019). Biyouyumlu CS-BG kaplamaların EPD ile daha fazla yüzey modifikasyonu için korozyon koruması ve astar olarak yüzey ön işlemlerinin geliştirilmesi konusunda yapılan bir çalışmada, elde edilen kaplamalar, yüzey morfolojisi, bileşimi ve elektrokimya

ile kısa vadeli korozyon koruma yetenekleri açısından analiz edilmiştir. İşlenmemiş numunelerin, EPD süspansiyonunda ciddi korozyon saldırısına uğradığı ve homojen olmayan CS/BG tabakası oluşumunun gözlemlendiği belirtilmiştir. Höhlinger ve arkadaşları tarafından gözlemlendiği gibi inter-metalik fazlar, üstlerinde gelişmiş tabaka büyümesine yol açma eğiliminde olup tabakayı homojen olmayan hale getirmiştir. D MEM ve hidroflorik asitin (HF) üstün korozyon direnci elde etmek için en iyi çözümler olduğu bildirilmiştir (Höhlinger, Heise, Wagener, Boccaccini, & Virtanen, 2017). Yüksek moleküler ağırlıklı CS/BG kompozit kaplamalar korozyonu bastırmak ve biyoaktivite sağlamak amacıyla EPD yöntemle WE43 Mg alaşımı üzerine uygulanmıştır. Kompozit kaplamada BG partiküllerinin MBGN (oran 3:1) ile kısmen değiştirilmesinin su temas açısını, yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı ve pozitif hücre tepkisini indüklediği bulunmuştur. Ön işleme tabi tutulmuş WE43 altlığı üzerindeki kompozit kaplamaların varlığı, yüzey topografyasını, ıslatma özelliklerini, korozyon direncini ve hücre tepkisini etkileyerek, CS+MIX kaplamanın hücre yanıtı çoğalma ve işlevsellik açısından CS+BG'den daha faydalı olduğunu göstermiştir (Witecka, Valet, Basis-ta, & Boccaccini, 2021).

Radda'a ve arkadaşlarının AISI 316L (SS) paslanmaz çelik üzerine antibakteriyel maddeler içeren biyoaktif çok işlevli kompozit kaplamaları uygulamak için EPD kullandığı bir çalışma incelendiğinde; tetrasiklin hidroklorür (TCN) yüklü halloysit nanotüpler, CS ve BG parçacıkları ile birlikte biriktirilerek kompozit kaplamalar üretildiği görülmektedir. Kaplamaların bakteri üremesini önleme yeteneği, gram negatif bakteri olarak E. coli ve gram pozitif bakteri olarak S. aureus kullanılarak test edilmiştir. SBF'ye daldırıldıktan 3 gün sonra HA oluşumu rapor edilmiş ve BG'nin biyoaktiviteyi arttırmadaki etkisini doğrulamıştır. PBS içinde TCN salınımı UV spektrometrisi ile araştırılmış ve ölçümler, PBS'ye daldırıldıktan sonraki 14 gün içinde ilacın yaklaşık %54'ünün salındığını göstermiştir. Kaplamaların kemikle temas eden malzemeler olarak potansiyel uygunluğunu değerlendirmek ve biyoaktivitesinin olumsuz etkilenmediğini belirlemek için SBF biyoaktivite testleri yapılmıştır. Kaplamaların yüzeyinde HA oluşumu 3 gün sonra gözlenmiştir. Üretilen kaplamalarda MG-63 osteoblast benzeri hücrelerin bağlanması, çoğalması ve sitotoksitesi incelenmiştir. Hücre canlılığı sonuçlarına göre, kaplamalara yüklenen TCN miktarı, 3 günlük kültürden sonra C-BG ve C-BG-HNTs filmlerinde hücre canlılığını ve osteoblastların çoğalmasını desteklemiştir. MG-63 hücrelerinin floresan görüntüleri, kaplanmış yüzeydeki adalarda hücre büyümesinin kanıtlarını göstermiştir. Halloysit nanotüplerle yüklenen kaplamanın yüzey pürüzlülüğü, hücre yapışmasını ve çoğalmasını desteklemiştir. Kaplamasız 316L SS alt tabakaya kıyasla gelişmiş korozyon direnci doğrulanmış, bu da C-BG-HNTs-TCN kaplamanın korozyon koruması sağladığını göstermiştir. Kaplamaların ıslanabilirlik

değeri, kemik rejeneratif uygulamalar için uygun olan orta derecede hidrofilik yüzeyi doğrulamıştır. TCN, süspansiyon stabilitesi, biriktirme koşulları veya kaplama homojenliği bozulmadan kaplamalara başarıyla entegre edilmiştir (Radda'a et al., 2017). CS ve Ce katkılı nanobiyoaktif cam (NBG) bazlı biyoaktif kompozit kaplamalar, EPD tekniği kullanılarak 316L SS için sentezlenmiştir. Kaplanmış altlıkların elektrokimyasal korozyon davranışı incelenerek, kaplamaların mikro yapısı, ıslanma, yapışma gücü ve in vitro biyoaktivitesi değerlendirilmiştir. Kaplamalar gentamisin ilacı ile fonksiyonel hale getirilmiş, ilaç salım profili ve kinetik incelenmiştir. Normal deri hücrelerine karşı hücre canlılığı araştırılmıştır. Fonksiyonelleştirilmiş kaplamaların antibakteriyel aktivitesi de belirlenmiştir. Kompozit ile kaplanmış alt tabaka, korozyon direncinde önemli gelişme sağlamıştır. Kaplamalar sitotoksik etkiye neden olmamış ve SBF'ye daldırıldığında apatit benzeri kristaller oluşturulmuştur. NBG içeren ilaç/kaplama, CS kaplamaya göre daha yüksek antibakteriyel etki göstermiştir (İbrahim et al., 2021). Alaei ve arkadaşları tarafından AZ91 Mg alaşımı üzerinde CS-BG'nin elektroforetik birikimi yoluyla yapılan kaplamaların apatit oluşumunu, biyoaktiviteyi, korozyonu ve hücresel performansı arttırdığı benzer sonuçları bildirilmiştir. Kontrollü biyolojik özelliklere sahip implanta önemli ölçüde korozyon koruması sağlayabilen HA-BG kompozit kaplama üretilmiştir. Mg alaşımları çabuk bozunduğundan oluşan korozyonun hızla yayılmasını önlemek ve yüzeyde biyoaktivite sağlamak amacıyla EPD yöntemiyle CS-BG kaplamalar oluşturulmuştur. 63S BG nanoparçacıkları sentezlendikten sonra bu camların en iyi korozyon direncini ve biyoaktivite gösteren konsantrasyonu belirlenmiştir. Tüm kompozit kaplamalarda BG parçacıklarının polimerik matris içinde dağıldığı belirlenmiştir. EPD sırasında CS-BG partiküllerinin birlikte biriktirme hızı, BG konsantrasyonunun artmasıyla önemli ölçüde artmıştır. Bu grup ayrıca CS-BG nanokompozit kaplamaların Mg substratına büyük bir yapışma ve SBF'de 7 gün sonra apatit oluşturma kabiliyetine sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır (Alaei, Atapour, & Labbaf, 2020). Elektroforetik birikim yöntemiyle üretilen 1 g/l ferulik asit yüklü CS-BG kaplamalar ferulik asit salınımı sonucu *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli*'ye karşı antibakteriyel özellik göstermiştir. Geliştirilen kaplamalar SBF'de bekletildikten 3 gün sonra HA oluşturmuş, 7 gün sonra ise tüm yüzey apatit tabakası ile kaplanmıştır. MG-63 hücrelerinin kaplama yüzeyine 24 saatlik inkübasyonu sonucu hücre canlılığı değerlendirilmiş sırasıyla üç farklı 0,3, 0,5 ve 1 g/l şeklinde artan ferulik asit konsantrasyonuna bağlı olarak hücre canlılığının (%) arttığı belirlenmiştir (Akhtar, Mariotti, Conti, & Boccaccini, 2021). Stevanovic ve arkadaşları gerçekleştirmiş oldukları çalışmada, antibiyotik gentamisin yüklü CS ve HA kompozit kaplama koşulları optimize ederek Ti altlık üzerine elektroforetik yöntemle biriktirilmiştir. *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* bakteri türleri kullanılarak antibakteriyel aktivitesi değerlendirilen bu kaplamalar antibakteriyel özellik sergilemiştir. CS/HA kap-

lamalarına gentamisin eklenmesi, hücre canlılığında hafif bir düşüşe neden olmuştur (Stevanovic et al., 2018). Mahlooji ve arkadaşlarının çalışmasında BG sol-jel yöntemiyle oluşturulduktan sonra CS'le birlikte elektroforetik yöntemle Ti-6Al-4V alaşımı üzerine biriktirilerek nanokompozit kaplamalar yapılmıştır. Morfoloji analizi, Ti-6Al-4V alaşımı üzerinde düzgün ve çatlaksız CS-BG nanokompozit kaplamaların oluştuğunu ortaya çıkarmıştır. Elde ettikleri sonuçlar, BG'nin kaplanmasıyla apatit oluşturma yeteneğinin arttığını göstermiştir. BG içeriği artıkça ıslanabilirlik, pürüzlülük artmış ve kaplama kalınlığının da artması sonucu korozyon direnci artmıştır. 1,5g/L BG içeren CS-BG kaplama, BG nanoparçacıklarının daha düzgün dağılımı ve daha yüksek kalınlığı sayesinde en iyi korozyon performansını göstermiştir. 0,5, 1 ve 1,5 g/L olmak üzere üç farklı konsantrasyonda hazırlanan BG'lerde en yüksek konsantrasyon seçildiğinde apatit oluşumu arttığından biyoaktiflik artmıştır. BG partikülleri, küresel morfoloji sergilerken CS ilavesiyle partiküller topaklaşmıştır. Nanokompozit kaplamalardaki BG konsantrasyonu yükseltildiğinde korozyon işlemi için itici güç azalmıştır (Mahlooji, Atapour, & Labbaf, 2019). Molaei ve arkadaşlarının çalışmasında ortopedik uygulamalar için CS-BG-HA nanokompozit kaplamaların elektroforetik birikiminin voltaj ve biriktirme süresini değiştirerek modifikasyonu yapılmıştır. Etanol-su içinde hacimce %70 etanol süspansiyonunun uygun stabilite elde ettiği bulunmuştur. BG partiküllerinin artması nedeniyle pH miktarı düşürülerek daha fazla çökeltme ağırlığı ve kalınlığı elde edildiği görülmüştür. Elektrotlara izolasyon işlemi uygulanarak biriktirme iyileştirilmiştir. Voltaj ve biriktirme süresi değiştirilerek CS matrisinde BG mikropartiküllerinin (<37 µm) ve HA nanopartiküllerinin (<150 nm) modifiye birikimine ulaşılmıştır. XRD sonuçları, pH 4,5, V=20 V ve t=15 dakikada yüksek HA içeriğine sahip kompozitin üretildiğini ortaya çıkarmıştır. CS matrisinde ideal BG ve HA varlığına sahip pürüzsüz kaplama elde edilmiştir (Molaei et al., 2015).

Elektroforetik Biriktirme Tekniği ile Çinko (Zn)/Aljinat (Alg) /Biyo-aktif Cam (BG) Kompozit Kaplama Uygulamaları

Miola ve arkadaşlarının çalışmasında elektroforetik birikimi yapılan bor (B), çinko (Zn) veya Sr ile katkılı Alg matris/45S5 BG parçacıklarına dayalı kompozit kaplamalar karakterize edilmiştir. Sonuç olarak oluşturulan kaplamalar alt tabakaya karşı koruyucu davranış ve iyi homojenlik sergilemiştir. En iyi kararlılığı 45S5-Zn içeren süspansiyon ve en iyi biyoaktif davranışı Zn içeren kaplamada gözlenmiştir. Katkılı kaplamaların biyoaktivitesi ve sito-uyumluluğu üzerindeki etkisi, kemik implant uygulamaları için potansiyellerini araştırmak amacıyla değerlendirilmiştir. Numune ağırlığının sıcaklığın fonksiyonu olarak değişiminin değerlendirildiği termogravimetrik analizde (TGA) tüm numuneler için 100°C civarında gözlenen ağırlık kaybı adsorbe edilen H₂O'un uzaklaşması ile ilişkilendirmiş, 250°C'nin üzerindeki

pikin Alg'nin termal bozunması olduğu belirtilmiştir. 550°C'nin üzerindeki piklerde ise, Alg'nin tamamen ayrışması ve kalan cam miktarı ile ilgili olabileceği vurgulanmıştır. Her bir kaplama türü için, özellikle 45S5-Zr içeren kaplama için, kaplamanın hidrofilik doğasıyla bağlantılı olarak temas açısında önemli azalma ve kaplanmamış alt tabakaya kıyasla geliştirilmiş ıslanabilirlik gözlemlenmiştir. Özellikle 45S5-Sr/ Alg ile yapılan kaplamalarda, SBF'de 1 ve 3 gün sonra herhangi HA çökmesi gözlemlenmemişken 7 gün daldırıldıktan sonra yüzey morfolojisinin değiştiği gün sonunda HA'nın çekirdeklenmesine bağlı olarak P ve Ca artmıştır. 21 ve 28 gün SBF'ye daldırıldıktan sonra tipik karnabahar morfolojisine sahip HA tabakası tüm yüzeyde açıkça görülmüş, 45S5-Zn cam içeren kaplamalar, en hızlı biyoaktivite mekanizmasını ortaya koymuştur. 45S5-Zn/Alg kaplamaların biyouyumluluk testi, hücre canlılığında başlangıçta azalma olduğunu göstermiştir. Ancak 48-72 saat sonra hücreler numunelerin yüzeylerinde çoğalabilmiş ve ECM'den kolajen üretebilmiştir. Korozyon testi, her tür kompozit kaplama için koruyucu davranış ortaya çıkarmıştır (Miola et al., 2021). Luis Cordero-Arias ve arkadaşları tarafından, antimikrobiyal uygulamalar için Çinko Oksit (ZnO)/Alg ve ZnO-BG/Alg kompozit kaplamaların elektroforetik birikimi yapılmıştır. n-ZnO'nun varlığı kaplamalara gram-negatif bakteri Escherichia coli'ye karşı antibakteriyel özellikler göstermiş, BG kaplama yüzeylerinde HA oluşumunu indükleyerek biyoaktivite kazandırılmıştır. Beklendiği gibi ZnO/Alg kaplama yüzeylerinde HA oluşmamış ve biyoaktif çıkmamıştır. BG ile kaplama, üzerinde HA tabakası oluşturabilmiş, çinko oksit nanoparçacıklar (n-ZnO)'nun varlığının HA fazının gelişimini etkilemediği de kanıtlanmıştır. Süspansiyona anyonik biyopolimer Alg'nin eklenmesi zeta potansiyelini negatif değerlere kaydırmıştır. 37°C'de hücre kültürü ortamında yapılan kaplanmış altlıkların polarizasyon eğrileri, yeni organik/inorganik kompozit kaplamaların korozyon koruma işlevini doğrulamıştır. Her iki kaplama için optimize edilmiş biriktirme koşulları, biriktirme voltajı ve süresi 30 V, 5s olarak belirlenmiştir. 30 V biriktirme potansiyeli ve 5 s biriktirme süresi kullanılarak homojen, çatlaksız kaplamalar elde edilmiştir. Daha yüksek voltajlar veya süreler, biriktirme sırasında hidrojen oluşumu nedeniyle kaplamanın çatlamasına neden olurken, daha düşük voltajlar veya süreler, homojen olmayan kaplamalara yol açmıştır. Katı içeriği 1 ile 10 g/L arasında değişen süspansiyonlar kullanılarak homojen, çatlaksız ZnO/Alg kaplamalar elde edilmiştir. Kaplamada BG'nin varlığı, SBF'ye 7 gün daldırıldıktan sonra kaplama üzerinde HA tabakasının büyümesini indüklemiştir (Luis Cordero-Arias et al., 2015).

Elektroforetik Biriktirme Tekniği ile Selüloz Nanokristaller (CNC) ve Biyoaktif Cam (BG) İçeren Kaplama Uygulamaları

Kemik implantları için biyoaktif yüzey olarak tasarlanan, fibröz selüloz nanokristaller ve 45S5 BG'den oluşan organik-inorganik nanokompozit

kaplama, tek aşamalı EPD ile biriktirilmiştir. Çalışmada, EPD tekniğinin ayarlanabilir bileşime sahip CNC'ler-BG kompozit kaplamaları üretme kabiliyeti, çeşitli konsantrasyonlarda selüloz nanokristalleri (CNC'ler) ve BG parçacıkları içeren iki fazlı süspansiyonlar kullanılarak geliştirilmiştir. BG partiküller, gözenekli selüloz tabakaları ile tek tek sarılarak tek tip kalınlıkta gözenekli kaplama oluşturulmuştur. SBF'deki biyoaktivite testi, biriken nanokompozit kaplama üzerinde hızlı HA oluşumunu ortaya çıkarmıştır. Mikro yapısında BG partiküllerinin sıkıca bir arada paketlendiği ve BG partikülleri arasında boşluklar şeklinde çok sayıda mikro boyutlu gözenekler görülmüştür. Kaplama, BG parçacıklarının varlığının hakim olduğu görülen homojen mikro yapı sergilemiştir. BG partiküllerinin ayrı ayrı kaplandığı ve CNCs fazına atanan ağ benzeri polimer tabakalar tarafından birbirine köprülendiği gözlemlenmiştir. BG parçacıkları üzerinde CNC ağlarının oluşumu, EPD sırasında elektrik alanının etkisi altında CNC'lerle sarılmış BG parçacıklarının çökeltilmesinin ardından süspansiyonda CNC'lerin ön adsorpsiyonundan kaynaklanmıştır. Birikmiş CNCs-BG kaplamalarının SBF'de inkübasyonu, yarım günde hızlı HA oluşumuna ve 14 gün sonra kaplamanın tam yoğunlaşmasını sağlamıştır. Kaplamanın gözenekli yapısının bir başka kanıtı su temas açısı ölçümü olmuştur. Bu kaplamaların yüzey pürüzlülüğü ve ıslanabilirliğindeki artışın büyük ölçüde BG konsantrasyonuna bağlı olduğu bulunmuştur. Kaplanmış alt tabakanın azaltılmış korozyon davranışı, muhtemelen gözenekli kaplama yapısının ve ortamdaki hızlı iyon değişiminin, matris ve elektrolit ortamı arasında büyük yük transferine yol açmasının sonucudur. EPD, oda sıcaklığında sulu süspansiyondan yeni bir CNCs-BG nanokompozit kaplama üretmek için başarıyla geliştirilmiştir (Chen et al., 2016). Ayrı ayrı sarılmış ve lifli CNC'ler ile birbirine bağlanmış 45S5 BG'den oluşan hibrit kaplama, tek aşamalı EPD işlemi ile sulu süspansiyondan 316 L SS üzerine biriktirilmiştir. SBF'de biriken CNCs-BG kaplamasının in vitro karakterizasyonu, kaplama üzerinde BG partiküllerinin son derece hızlı mineralizasyonunu ortaya çıkarmıştır. Hücre kültürü çalışmaları (MC3T3-E1 kullanılarak) CNCs-BG kaplamanın varlığının hücre yapışmasını, yayılmasını, çoğalmasını, farklılaşmasını ve hücre dışı matrisin mineralleşmesini önemli ölçüde hızlandığını göstermiştir. Çalışma, CNC'lerin, gelişmiş kemik implant kaplamaları için mineralize CNC'ler-BG hibritlerine yol açan BG partiküllerinin biyoaktivitesini artırma ve düzenleme kabiliyetini doğrulamıştır (Chen et al., 2015).

BG İçeren Kaplamaların Metalik Altlıklar Üzerine Elektroforetik Birikimi

316 L SS üzerine elektroforetik yöntemle biriktirilen polivinil alkol (PVA) ilaveli CS/BG kompozit kaplamaların %15, 20 ve %25 şeklinde artan konsantrasyonları korozyon direncini artırmıştır. En iyi biyoaktivite, HA oluşturma yeteneği, homojen ve düzgün kaplama yüzeyi gösteren konsant-

rasyon %20'dir. Korozyon direnci, polarizasyon testi ile PBS solüsyonunda incelenmiştir. Tüm numunelerin benzer olduğunu ortaya koyulan çalışmada EPD sırasında uygulanan akım nedeniyle %15 PVA içeren numunelerin korozyon direnci, 316 L SS bazından daha düşük çıkmıştır. Mikroyapı karakterizasyonları PVA25'in yapısının diğerlerine kıyasla daha homojen olduğunu göstermiştir. Diğerlerinde çukur korozyonu oluşurken PVA15'teki çukurlar daha derin ve boşluklar yüzeyde düzensiz yapı oluşturmuştur. PVA25'te yüzeyde oyuk korozyonunun ön yüzüne yol açan makro çatlaklar görülmüştür. PVA20'de HA oluşumunun diğerlerine göre daha fazla homojenliği ve dağılımı nedeniyle, kemik hücrelerinin daha etkili oluşumu ile sonuçlanmıştır (Vafa, Bazargan-Lari, & Bahrololoom, 2021). Biyomedikal uygulamalara yönelik elektroforetik biriktirme yoluyla anodize Ti üzerinde biyoaktif nano hibrit ince filmler oluşturulmuştur. Araştırmada, EPD yöntemiyle anodize edilmiş TiO_2 nanotüpler üzerinde BG ve indirgenmiş grafen oksit (rGO) - biyocam nano hibrit (G BG) ince filmlerin gelişimi rapor edilmiştir. Partikül yükleme konsantrasyonu (BG ve G-BG), sodyum aljinat (Na Al) - anyonik yük verici ve polivinilpirolidon (PVP) - bağlayıcı konsantrasyonu, voltaj, biriktirme süresi ve tavlama sıcaklığı gibi farklı parametreler analiz edilmiştir. XRD çalışmaları, anodize edilmiş altlıklarda anatazın fazlarını ortaya çıkarırken, BG ince filmlerinde anataz ile birlikte BG'lerin kombeit fazı da bulunmuştur. G-BG ince filmlerinde anataz ve kombeit fazlarına ek olarak kalsinat fazı da gözlenmiştir. BG ince filmlerden sodyum iyonlarının ayrışması nedeniyle, hemouyumluluk, antibakteriyel aktivite ve hücre proliferasyon analizinde hücre lizisinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, G-BG ince filmlerindeki kalsit fazı bu aktiviteyi baskılamış ve MG-63 hücre hatlarının hemo-uyumluluğunu ve hücre proliferasyonunu daha iyi göstermiştir. Bu çalışmada, rGO'nun BG ince filmlerine dahil edilmesi HCA oluşumunu, hemouyumluluğu ve MG-63 hücre proliferasyonunu arttırmıştır. Tüm biyoaktivite çalışmaları, BG ve G-BG ince filmlerinin kaplanmamış Ti ve TiO_2 ile karşılaştırıldığında üstün ve geliştirilmiş özellikler sergilediğini ortaya koymuştur (Balakumar, Anandkumar, & George, 2020). Yeni kondroitin sülfat bazlı kaplamalar, EPD ile üretilmiştir. Kondroitin sülfat matris olarak kullanılmış ve ortopedik, dental uygulamalar için potansiyele sahip bir dizi biyoaktif kompozit kaplama üretmek için BG partikülleri ile birleştirilmiştir. Kondroitin sülfat içeren çok katmanlı sistemler, kaplama bileşimini, biyoaktiviteyi ve bozunmayı uyarlamak için tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Kondroitin sülfata dayalı solüsyonlar ve süspansiyonlar geliştirilmiş ve kararlılıkları ζ -potansiyel ölçümleri aracılığıyla analiz edilmiştir. EPD koşulları kondroitin sülfat ve BG/ kondroitin sülfat kaplamalarının yanı sıra çeşitli çok katmanlı sistemler için araştırılmış ve belirlenmiştir. Kaplamanın biyoaktivitesi, 2, 5 ve 7 gün boyunca SBF'ye daldırılarak değerlendirilmiştir. HA'nın varlığı, XRD ile doğrulanmıştır ve 2 gün SBF'ye daldırıldıktan sonra kaplamaların, tipik karnabahar benzeri yapı tarafından tanınan HA ile ta-

mamen kaplandığını göstermiştir. “Sandviç tipi” bir yapıya (CS/kondroitin sülfat/CS) sahip olma kavramı ve tüm katmanlarda BG’nin bulunması, üstte biyoaktif bir katman içeren sağlam bir kaplama sisteminin oluşmasıyla sonuçlanmıştır. BG, bir katman tamamen bozunsun bile tüm katmanlarda mevcut olduğundan, yeni maruz kalan yüzeyde fizyolojik ortamla doğrudan temas halinde olan BG parçacıklarının varlığının, yüzey üzerinde sürekli HA oluşumuna yol açacağı bildirilmiştir (L Cordero-Arias & Boccaccini, 2017). Çekirdek-kabuk yapısında küresel BG-zirkonya nanoparçacıklar sol-jel ve sonokimyasal yöntemlerin kombinasyonu ile sentezlendikten sonra Ti6Al4V alaşımı üzerine elektroforetik olarak biriktirilmiştir. Etanol içinde kararlı nanoparçacık süspansiyonu elde etmek için dopamin kullanılırken polietilenimin kullanımı kaplama ve altlık arasındaki yapışmayı iyileştirmiştir. EDS kullanılarak yapılan element analizi çekirdek kabuk nanoparçacıkların bileşimindeki çeşitliliği göstermiştir. EDS çizgi taraması Si ve Zr elementlerinin çeşitlilik eğilimlerinin parçacıklar arasında farklı olduğunu göstermiştir. Si elementinin keskin değişiminin aksine, Zr parçacıklar arasında düzgün şekilde dağılmıştır. Çekirdek kabuk nanoparçacıkların XRD modeli partiküllerin amorf yapısını doğrulayan $2\theta = 20^\circ$ civarında geniş tepe ve amorf faza ek olarak kristal yapının gelişimini göstermiştir. BG ve çekirdek-kabuk kaplamaların biyoaktivitesi değerlendirildiğinde SBF’de 7 gün bekletilen her iki kaplamanın yüzeyi yeni oluşan yapılarla kaplanmıştır. Beklendiği gibi, çekirdek-kabuk numunesinin yüzeyindeki Ca-P tortularının yoğunluğu, BG grubundan daha düşük çıkmıştır. Çekirdek-kabuk nanoparçacıklarından oluşturulan kaplamalar, BG kaplamalardan önemli ölçüde daha az sayıda çatlak içermiştir (Hoomehr et al., 2021). Nanokompozit BG-nanokil, fiziksel karıştırma ile hazırlandıktan sonra EPD ile Ti altlıklar üzerine kaplanmıştır. Nanokompozitlerde kaolinit konsantrasyonu arttıkça film yoğunlaşması gözlemlenmesi kaolinitin nanodolgu maddesi olarak hareket etme kabiliyetine bağlanmıştır. En yüksek nanokil içeriğine sahip nanokompozit bileşim, gelişmiş korozyon direnci göstermiştir. 45s5 BG’nin nanotozları basit sol-jel tekniği ile sentezlenmiştir. Kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin in vitro korozyon davranışı, oda sıcaklığında SBF’de empedans spektroskopisi ve elektrokimyasal polarizasyon yöntemleri ile izlenmiştir. Kaplamasız yüzeyler için yük transfer direnci $9 \times 10^3 \Omega$ ’dan nanokompozit kaplamalar için $2.8 \times 10^5 \Omega$ ’a yükselmiştir. Potansiyometrik polarizasyon çalışmaları da elektrokimyasal analizde tutarlılık gösteren benzer bir eğilim göstermiştir. Tüm durumlarda kaplamaların üniform ve çatlaksız olduğu görülmüştür. Kaplamaların, partiküllerle güçlendirilmiş yüzey tabakası sergilediği, nanokompozitte kaolinit yüzdesi arttıkça kaplamaların daha yoğun hale geldiği SEM mikrograflarından tespit edilmiştir. Daha yoğun kaplamanın, alttaki metal alt tabakalara daha iyi bir korozyon koruması sağladığı bildirilmiştir. TiO_2 ’den oluşan doğal pasivasyon katmanı, doğada yarı iletken ve bu nedenle azalan kalınlık, pasif katmanın elektrik iletkenliğini arttırmıştır. Böylece Ti

iyonlarının filmlerden difüzyonunu hızlandırmış ve bu da korozyon sürecini geliştirmiştir (Usmaniya, Thampi, & Subramanian, 2019). Çalışma titanyum altlık üzerinde BG kaplamanın uygun biyoaktivite, biyouyumluluk ve antibakteriyel etkisini göstermiştir. Süspansiyon ortamının Ti altlık üzerinde elektroforetik olarak biriktirilmiş BG kaplamaların özellikleri üzerindeki etkisinin değerlendirildiği çalışmada süspansiyonlar arasında optimum trietanolamin (TEA) miktarına sahip izopropanol bazlı olan en yüksek stabiliteye sahip bulunmuştur. İzopropanol bazlı süspansiyondan elde edilen kaplamalar uygun mikroyapı, nispeten yüksek sinterlenebilirlik ve pürüzlülük sergilemiştir. Bu nedenle, izopropanol bazlı kaplama optimum olarak seçilmiştir. Optimum TEA konsantrasyonu, izopropanol bazlı süspansiyon için %0,2 hacimde bulunmuştur. En yüksek zeta potansiyeli ve dolayısıyla en yüksek partikül hareketliliği, optimum TEA konsantrasyonunda elde edilmiştir. Optimum TEA miktarında zeta potansiyeli maksimum değere kadar yükselmiş ve daha sonra aşırı ilavesiyle azalmıştır. Optimum numune, SBF çözeltisinde Ti altlık korozyon hızını azalttığı için iyi biyoaktivite, fibroblast hücre yapışması ve antibakteriyel aktivite göstermiştir. Optimum BG kaplamanın amorf yapısı, 800°C'de sinterlemeden sonra bile korunmuştur. Optimum kaplama, *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* bakterilerine karşı iyi fibroblast hücre yapışması ve antibakteriyel aktivite göstermiştir. Düşük viskoziteli daha küçük moleküler boyutlu ortamlar, yüksek pürüzlülüğe sahip daha kaba mikro yapılar oluşturmıştır (Khanmohammadi & Ilkhchi, 2019).

Biyoaktif Camlarda Gelecek Beklentileri

Gelecekteki çalışmalar, doku iyileşmesini ve yenilenmesini teşvik eden, uzun vadeli kararlılık süresini garanti eden optimize edilmiş çok işlevli kaplamalara dayanmalıdır. Belirli genleri uyarmak, kemik büyümesini düzenlemek ve implantların antibakteriyel özelliklerini sağlamak için çok işlevli kaplamalar oluşturabilmelidir. Bu amaçla kullanılabilecek biriktirme teknikleri, püskürtme parametreleri ve biyocam bileşimlerinin en uygun kombinasyonunun araştırılmasına odaklanmalıdır (Henao, Poblano-Salas, Monsalve, Corona-Castuera, & Barceinas-Sanchez, 2019; Sergi, Bellucci, & Cannillo, 2020). BG'lerin tıbbın geleceğinde umut verici bir rolü olduğu açıktır. Son yıllarda bu malzemelerle yapılan araştırmaların çoğu yapı iskelelerine doğru gitmektedir. Ancak kaplama olarak gelecek cesaret vericidir ve ihmal edilmemelidir. Kaplamalı implantların uygulanabilirliğini belirlemek için daha fazla araştırma yapılmalıdır (Beatriz Garrido, Dosta, & Cano, 2021). Gelecekteki perspektifler, hayvan modellerinde biyolojik sistemler ve osseointegrasyon davranışı ile ilgili mekanizmalarda BG kaplamanın rolünü araştırmayı içermelidir (Costa et al., 2020). Özellikle, biyomedikal alanlardaki yaygınlıkları göz önüne alındığında, hem biyoaktif kaplamalar hem de implant olarak uyarlanabilir gözenekli yapı iskeleleri üretmek için

3D baskı teknolojileri kullanılabilir (Kravanja & Finšgar, 2022). Yayınlar, in vitro bakterilerle temas halinde kaplamaların umut verici antibakteriyel performansını rapor etse de, klinik uygunluğun insan hücreleriyle birlikte kültür modeli deneyleri kullanılarak doğrulanmalıdır. Son olarak, standartlaştırılmış doğrulama ile tekrarlanabilir uzun vadeli deneysel veriler elde etmek için, çip üzerinde laboratuvar teknolojisi gibi dinamik mikro-ortamdaki alternatif testler, geleneksel in vitro ve hayvan deneylerinin yanında daha fazla araştırılmalıdır (Hadzhieva & Boccaccini, 2021).

KAYNAKLAR

- Ahmed, Y., Nawaz, A., Singh Virk, R., Wadood, A., & Ur Rehman, M. A. (2020). Fabrication and characterization of zein/bioactive glass deposited on pretreated magnesium via electrophoretic deposition. *International Journal of Ceramic Engineering & Science*, 2(5), 254-263.
- Akhtar, M. A., Mariotti, C. E., Conti, B., & Boccaccini, A. R. (2021). Electrophoretic deposition of ferulic acid loaded bioactive glass/chitosan as antibacterial and bioactive composite coatings. *Surface and Coatings Technology*, 405, 126657.
- Akram, M., Arshad, N., Aktan, M. K. b., & Braem, A. (2020). Alternating Current Electrophoretic Deposition of Chitosan–Gelatin–Bioactive Glass on Mg–Si–Sr Alloy for Corrosion Protection. *ACS Applied Bio Materials*, 3(10), 7052-7060.
- Al-Rashidy, Z. M., Farag, M., Ghany, N. A., Ibrahim, A., & Abdel-Fattah, W. I. (2018). Orthopaedic bioactive glass/chitosan composites coated 316L stainless steel by green electrophoretic co-deposition. *Surface and Coatings Technology*, 334, 479-490.
- Alaei, M., Atapour, M., & Labbaf, S. (2020). Electrophoretic deposition of chitosan-bioactive glass nanocomposite coatings on AZ91 Mg alloy for biomedical applications. *Progress in Organic Coatings*, 147, 105803.
- Aqib, R., Kiani, S., Bano, S., Wadood, A., & Ur Rehman, M. A. (2021). Ag–Sr doped mesoporous bioactive glass nanoparticles loaded chitosan/gelatin coating for orthopedic implants. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 18(3), 544-562.
- Avcu, E., Avcu, Y. Y., Baştan, F. E., Rehman, M. A. U., Üstel, F., & Boccaccini, A. R. (2018). Tailoring the surface characteristics of electrophoretically deposited chitosan-based bioactive glass composite coatings on titanium implants via grit blasting. *Progress in Organic Coatings*, 123, 362-373.
- Aydemir, T., Pastore, J. I., Jimenez-Pique, E., Roa, J. J., Boccaccini, A. R., & Ballarre, J. (2021). Morphological and mechanical characterization of chitosan/gelatin/silica-gentamicin/bioactive glass coatings on orthopaedic metallic implant materials. *Thin Solid Films*, 138780.
- Balakumar, S., Anandkumar, B., & George, R. (2020). Formation of bioactive nano hybrid thin films on anodized titanium via electrophoretic deposition intended for biomedical applications. *Materials Today Communications*, 25, 101666.
- Batool, S. A., Wadood, A., Hussain, S. W., Yasir, M., & Ur Rehman, M. A. (2021). A Brief Insight to the Electrophoretic Deposition of PEEK-, Chitosan-, Gelatin-, and Zein-Based Composite Coatings for Biomedical Applications: Recent Developments and Challenges. *Surfaces*, 4(3), 205-239.
- Chen, Q., Garcia, R. P., Munoz, J., Pérez de Larraya, U., Garmendia, N., Yao, Q., &

- Boccaccini, A. R. (2015). Cellulose Nanocrystals□ Bioactive Glass Hybrid Coating as Bone Substitutes by Electrophoretic Co-deposition: In Situ Control of Mineralization of Bioactive Glass and Enhancement of Osteoblastic Performance. *ACS applied materials & interfaces*, 7(44), 24715-24725.
- Chen, Q., Yang, Y., de Larraya, U. P., Garmendia, N., Virtanen, S., & Boccaccini, A. R. (2016). Electrophoretic co-deposition of cellulose nanocrystals-45S5 bioactive glass nanocomposite coatings on stainless steel. *Applied Surface Science*, 362, 323-328.
- Coelho, C. C., Araújo, R., Quadros, P. A., Sousa, S. R., & Monteiro, F. J. (2019). Antibacterial bone substitute of hydroxyapatite and magnesium oxide to prevent dental and orthopaedic infections. *Materials Science and Engineering: C*, 97, 529-538.
- Cordero-Arias, L., & Boccaccini, A. (2017). Electrophoretic deposition of chondroitin sulfate-chitosan/bioactive glass composite coatings with multilayer design. *Surface and Coatings Technology*, 315, 417-425.
- Cordero-Arias, L., Cabanas-Polo, S., Goudouri, O., Misra, S. K., Gilabert, J., Valsami-Jones, E., Boccaccini, A. R. (2015). Electrophoretic deposition of ZnO/alginate and ZnO-bioactive glass/alginate composite coatings for antimicrobial applications. *Materials Science and Engineering: C*, 55, 137-144.
- Costa, R. C., Souza, J. G., Cordeiro, J. M., Bertolini, M., de Avila, E. D., Landers, R., da Cruz, N. C. (2020). Synthesis of bioactive glass-based coating by plasma electrolytic oxidation: Untangling a new deposition pathway toward titanium implant surfaces. *Journal of colloid and interface science*, 579, 680-698.
- Eckstein, U. R., Detsch, R., Khansur, N. H., Brehl, M., Deisinger, U., de Ligny, D., Webber, K. G. (2019). Bioactive glass coating using aerosol deposition. *Ceramics International*, 45(12), 14728-14732.
- Fathi, M., & Mohammadi, A. D. (2008). Preparation and characterization of sol-gel bioactive glass coating for improvement of biocompatibility of human body implant. *Materials Science and Engineering: A*, 474(1-2), 128-133.
- Garrido, B., Cano, I., & Dosta, S. (2021). Adhesion improvement and in vitro characterisation of 45S5 bioactive glass coatings obtained by atmospheric plasma spraying. *Surface and Coatings Technology*, 405, 126560.
- Garrido, B., Dosta, S., & Cano, I. G. (2021). Bioactive glass coatings obtained by thermal spray: Current status and future challenges. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*.
- Hadzhieva, Z., & Boccaccini, A. R. (2021). Recent developments in electrophoretic deposition (EPD) of antibacterial coatings for biomedical applications-A review. *Current Opinion in Biomedical Engineering*, 100367.
- Heise, S., Höhlinger, M., Hernández, Y. T., Palacio, J. J. P., Ortiz, J. A. R., Wagerer, V., Boccaccini, A. R. (2017). Electrophoretic deposition and characterization of chitosan/bioactive glass composite coatings on Mg alloy substrates. *Electrochimica Acta*, 232, 456-464.

- Heise, S., Virtanen, S., & Boccaccini, A. R. (2018). Taguchi Design of Experiments approach to determine process parameter for the electrophoretic deposition of chitosan/bioactive glass on Mg alloy substrates. *ECS Transactions*, 82(1), 81.
- Heise, S., Wirth, T., Höhlner, M., Hernández, Y. T., Ortiz, J. A. R., Wager, V., Boccaccini, A. R. (2018). Electrophoretic deposition of chitosan/bioactive glass/silica coatings on stainless steel and WE43 Mg alloy substrates. *Surface and Coatings Technology*, 344, 553-563.
- Henao, J., Poblano-Salas, C., Monsalve, M., Corona-Castuera, J., & Barceinas-Sanchez, O. (2019). Bio-active glass coatings manufactured by thermal spray: A status report. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(5), 4965-4984.
- Hoomehr, B., Raeissi, K., Ashrafizadeh, F., Labbaf, S., & Kharaziha, M. (2021). Electrophoretic deposition of bioactive glass/zirconia core-shell nanoparticles on Ti6Al4V substrate. *Ceramics International*, 47(24), 34959-34969.
- Höhlner, M., Christa, D., Zimmermann, V., Heise, S., Boccaccini, A. R., & Virtanen, S. (2019). Influence of proteins on the corrosion behavior of a chitosan-bioactive glass coated magnesium alloy. *Materials Science and Engineering: C*, 100, 706-714.
- Höhlner, M., Heise, S., Wager, V., Boccaccini, A. R., & Virtanen, S. (2017). Developing surface pre-treatments for electrophoretic deposition of biofunctional chitosan-bioactive glass coatings on a WE43 magnesium alloy. *Applied Surface Science*, 405, 441-448.
- Huang, K., Cai, S., Xu, G., Ren, M., Wang, X., Zhang, R., Zhao, H. (2014). Sol-gel derived mesoporous 58S bioactive glass coatings on AZ31 magnesium alloy and in vitro degradation behavior. *Surface and Coatings Technology*, 240, 137-144.
- Huang, K., Cai, S., Xu, G., Ye, X., Dou, Y., Ren, M., & Wang, X. (2013). Preparation and characterization of mesoporous 45S5 bioactive glass-ceramic coatings on magnesium alloy for corrosion protection. *Journal of alloys and compounds*, 580, 290-297.
- Ibrahim, A. M., Al-Rashidy, Z. M., Ghany, N. A. A., Ahmed, H. Y., Omar, A. E., & Farag, M. M. (2021). Bioactive and antibacterial metal implant composite coating based on Ce-doped nanobioactive glass and chitosan by electrophoretic deposition method. *Journal of Materials Research*, 1-15.
- Joy-anne, N. O., Su, Y., Lu, X., Kuo, P.-H., Du, J., & Zhu, D. (2019). Bioactive glass coatings on metallic implants for biomedical applications. *Bioactive materials*, 4, 261-270.
- Khanmohammadi, S., & Ilkhchi, M. O. (2019). Effect of suspension medium on the characteristics of electrophoretically deposited bioactive glass coatings on titanium substrate. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 503, 232-242.
- Khanmohammadi, S., Ilkhchi, M. O., & Khalil-Allafi, J. (2019). Electrophoretic

deposition and characterization of bioglass-whisker hydroxyapatite nanocomposite coatings on titanium substrate. *Surface and Coatings Technology*, 378, 124949.

- Kravanja, K. A., & Finšgar, M. (2022). A review of techniques for the application of bioactive coatings on metal-based implants to achieve controlled release of active ingredients. *Materials & Design*, 110653.
- Mahlooji, E., Atapour, M., & Labbaf, S. (2019). Electrophoretic deposition of Bioactive glass–Chitosan nanocomposite coatings on Ti-6Al-4V for orthopedic applications. *Carbohydrate polymers*, 226, 115299.
- Marques, D. M., Oliveira, V. d. C., Souza, M. T., Zanotto, E. D., Issa, J. P. M., & Watanabe, E. (2020). Biomaterials for orthopedics: anti-biofilm activity of a new bioactive glass coating on titanium implants. *Biofouling*, 36(2), 234-244.
- Mehdipour, M., Afshar, A., & Mohebbali, M. (2012). Electrophoretic deposition of bioactive glass coating on 316L stainless steel and electrochemical behavior study. *Applied Surface Science*, 258(24), 9832-9839.
- Meyer, N., Rivera, L. R., Ellis, T., Qi, J., Ryan, M. P., & Boccaccini, A. R. (2018). Bioactive and antibacterial coatings based on zein/bioactive glass composites by electrophoretic deposition. *Coatings*, 8(1), 27.
- Miola, M., Cordero-Arias, L., Ferlenda, G., Cochis, A., Virtanen, S., Rimondini, L., Boccaccini, A. R. (2021). Electrophoretic deposition of composite coatings based on alginate matrix/45S5 bioactive glass particles doped with B, Zn or Sr. *Surface and Coatings Technology*, 418, 127183.
- Miola, M., Verné, E., Ciraldo, F. E., Cordero-Arias, L., & Boccaccini, A. R. (2015). Electrophoretic deposition of chitosan/45S5 bioactive glass composite coatings doped with Zn and Sr. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 3, 159.
- Mohandesnezhad, S., Etminanfar, M., Mahdavi, S., & Safavi, M. S. (2021). Enhanced bioactivity of 316L stainless steel with deposition of polypyrrole/hydroxyapatite layered hybrid coating: Orthopedic applications. *Surfaces and Interfaces*, 101604.
- Molaei, A., Yari, M., & Afshar, M. R. (2015). Modification of electrophoretic deposition of chitosan–bioactive glass–hydroxyapatite nanocomposite coatings for orthopedic applications by changing voltage and deposition time. *Ceramics International*, 41(10), 14537-14544.
- Moskalewicz, T., Warcaba, M., Łukaszczyk, A., Kot, M., Kopia, A., Hadzhieva, Z., & Boccaccini, A. R. (2022). Electrophoretic deposition, microstructure and properties of multicomponent sodium alginate-based coatings incorporated with graphite oxide and hydroxyapatite on titanium biomaterial substrates. *Applied Surface Science*, 575, 151688.
- Müller, V., Jobbagy, M., & Djurado, E. (2021). Coupling sol-gel with electrospray deposition: Towards nanotextured bioactive glass coatings. *Journal of the*

European Ceramic Society, 41(14), 7288-7300.

- Nawaz, A., & Ur Rehman, M. A. (2021). Chitosan/gelatin-based bioactive and anti-bacterial coatings deposited via electrophoretic deposition. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(15), 50220.
- Nawaz, Q., Fastner, S., Rehman, M. A. U., Ferraris, S., Perero, S., di Confiengo, G. G., Boccaccini, A. R. (2021). Multifunctional stratified composite coatings by electrophoretic deposition and RF co-sputtering for orthopaedic implants. *Journal of Materials Science*, 56(13), 7920-7935.
- Pan, K., Li, X., Shi, H., Dai, M., Yang, Z., Chen, M., . . . Zheng, Y. (2022). Preparation of photo-crosslinked aliphatic polycarbonate coatings with predictable degradation behavior on magnesium-alloy stents by electrophoretic deposition. *Chemical Engineering Journal*, 427, 131596.
- Pan, M., Weng, Z., & Liu, J. (2022). Effect of positive bias on properties of chitosan coating prepared on micro-arc oxidation surface of Ti-6Al-4V alloy by electrophoretic deposition. *Materials Chemistry and Physics*, 275, 125257.
- Radda'a, N. S., Goldmann, W. H., Detsch, R., Roether, J. A., Cordero-Arias, L., Virtanen, S., Boccaccini, A. R. (2017). Electrophoretic deposition of tetracycline hydrochloride loaded halloysite nanotubes chitosan/bioactive glass composite coatings for orthopedic implants. *Surface and Coatings Technology*, 327, 146-157.
- Rahim, M. I., Eifler, R., Rais, B., & Mueller, P. P. (2015). Alkalization is responsible for antibacterial effects of corroding magnesium. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 103(11), 3526-3532.
- Rastegari, S., & Salahinejad, E. (2019). Surface modification of Ti-6Al-4V alloy for osseointegration by alkaline treatment and chitosan-matrix glass-reinforced nanocomposite coating. *Carbohydrate polymers*, 205, 302-311.
- Rehman, M. A. U., Bastan, F. E., Haider, B., & Boccaccini, A. R. (2017). Electrophoretic deposition of PEEK/bioactive glass composite coatings for orthopedic implants: A design of experiments (DoE) study. *Materials & Design*, 130, 223-230.
- Rehman, M. A. U., Munawar, M. A., Schubert, D. W., & Boccaccini, A. R. (2019). Electrophoretic deposition of chitosan/gelatin/bioactive glass composite coatings on 316L stainless steel: A design of experiment study. *Surface and Coatings Technology*, 358, 976-986.
- Rivera, L. R., Cochis, A., Biser, S., Canciani, E., Ferraris, S., Rimondini, L., & Boccaccini, A. R. (2021). Antibacterial, pro-angiogenic and pro-osteointegrative zein-bioactive glass/copper based coatings for implantable stainless steel aimed at bone healing. *Bioactive materials*, 6(5), 1479-1490.
- Rivera, L. R., Dippel, J., & Boccaccini, A. R. (2018). Formation of zein/bioactive glass layers using electrophoretic deposition technique. *ECS Transactions*, 82(1), 73.

- Sanyal, S., Shukla, M., Dandapat, N., & Ghosh, S. (2018). In vitro evaluation of bioactive glass ceramic coating for application on Ti6Al4V based biomedical implants. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 500, 22-29.
- Sergi, R., Bellucci, D., & Cannillo, V. (2020). A comprehensive review of bioactive glass coatings: State of the art, challenges and future perspectives. *Coatings*, 10(8), 757.
- Seuss, S., Heinloth, M., & Boccaccini, A. R. (2016). Development of bioactive composite coatings based on combination of PEEK, bioactive glass and Ag nanoparticles with antibacterial properties. *Surface and Coatings Technology*, 301, 100-105.
- Singh, S., Singh, G., & Bala, N. (2018). Electrophoretic deposition of bioactive glass composite coating on biomaterials and electrochemical behavior study: A review. *Materials Today: Proceedings*, 5(9), 20160-20169.
- Stevanovic, M., Došić, M., Jankovic, A., Kojic, V., Vukasinovic-Sekulic, M., Stojanovic, J., Miskovic-Stankovic, V. (2018). Gentamicin-loaded bioactive hydroxyapatite/chitosan composite coating electrodeposited on titanium. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 4(12), 3994-4007.
- Stojanovic, D., Jokic, B., Veljovic, D., Petrovic, R., Uskokovic, P., & Janackovic, D. (2007). Bioactive glass-apatite composite coating for titanium implant synthesized by electrophoretic deposition. *Journal of the European Ceramic Society*, 27(2-3), 1595-1599.
- Ur Rehman, M. A., Bastan, F. E., Nawaz, A., Nawaz, Q., & Wadood, A. (2020). Electrophoretic deposition of PEEK/bioactive glass composite coatings on stainless steel for orthopedic applications: an optimization for in vitro bioactivity and adhesion strength. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 108, 1849-1862.
- Ur Rehman, M. A., Bastan, F. E., Nawaz, Q., Goldmann, W. H., Maqbool, M., Virtanen, S., & Boccaccini, A. R. (2018). Electrophoretic deposition of lawsonite loaded bioactive glass (BG)/chitosan composite on polyetheretherketone (PEEK)/BG layers as antibacterial and bioactive coating. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 106(12), 3111-3122.
- Ur Rehman, M. A., Ferraris, S., Goldmann, W. H., Perero, S., Bastan, F. E., Nawaz, Q., Boccaccini, A. R. (2017). Antibacterial and bioactive coatings based on radio frequency co-sputtering of silver nanocluster-silica coatings on PEEK/bioactive glass layers obtained by electrophoretic deposition. *ACS applied materials & interfaces*, 9(38), 32489-32497.
- Usmaniya, U. M., Thampi, V. A., & Subramanian, B. (2019). Electrophoretic deposition of bioactive glass-nanoclay nanocomposites on titanium. *Applied Clay Science*, 167, 1-8.
- Vafa, E., Bazargan-Lari, R., & Bahrololoom, M. E. (2021). Electrophoretic deposition of polyvinyl alcohol/natural chitosan/bioactive glass composite coatings on 316L stainless steel for biomedical application. *Progress in Organic Co-*

atings, 151, 106059.

- Virk, R. S., Rehman, M. A. U., & Boccaccini, A. R. (2018). PEEK based biocompatible coatings incorporating h-BN and bioactive glass by electrophoretic deposition. *ECS Transactions*, 82(1), 89.
- Virk, R. S., Rehman, M. A. U., Munawar, M. A., Schubert, D. W., Goldmann, W. H., Dusza, J., & Boccaccini, A. R. (2019). Curcumin-containing orthopedic implant coatings deposited on poly-ether-ether-ketone/bioactive glass/hexagonal boron nitride layers by electrophoretic deposition. *Coatings*, 9(9), 572.
- Witecka, A., Valet, S., Basista, M., & Boccaccini, A. R. (2021). Electrophoretically deposited high molecular weight chitosan/bioactive glass composite coatings on WE43 magnesium alloy. *Surface and Coatings Technology*, 418, 127232.
- Witte, F. (2010). The history of biodegradable magnesium implants: a review. *Acta biomaterialia*, 6(5), 1680-1692.



BÖLÜM 7

BAZI GIDALARDAN İZOLE EDİLEN LAKTİK ASİT BAKTERİLERİNİN TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ¹

Burhan TEKDEMİR²

Özlem ERTEKİN³

¹ Bu çalışma, ikinci yazarın danışmanlığındaki birinci yazarın yüksek lisans tezi-
nin bir bölümünden üretilmiştir.

² Munzur Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Programı, Tunceli, Türkiye; b.tekdemir@hotmail.com

³ Dr. Öğr. Üyesi Munzur Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve
Diyetetik Bölümü, Tunceli, Türkiye. Sorumlu Yazar, E-mail: oertekin@munzur.
edu.tr, ORCID: 0000-0002-2548-2478

1. Giriş

Laktik asit bakterileri, çok çeşitli gıdalarda doğal fermentasyonu sağlayan mikroorganizmalardır. Bu mikroorganizmalar gıdaların teknolojik özelliklerini olumlu yönde etkileyen ve doğal katkı olarak kullanılan en önemli mikroorganizma grubudur. Günümüzde tüketiciler kimyasal katkı maddelerinin kullanılmadığı, sağlık üstünde olumlu etkileri bulunan gıdaları tercih etmektedir. Bu sebeplerle endüstriyel ürünlerin elde edilmesinde doğal fermentasyon için katılacak laktik asit bakterilerinin teknolojik özelliklerinin ve etki mekanizmalarının yeteri kadar bilinmesi önem taşımaktadır. Laktik asit bakterilerinin gıdalar için önem taşıyan bazı cinslerine *Lactobacillus* spp., *Pediococcus* spp., *Enterococcus* spp., *Lactococcus* spp. örnek verilebilir.

Lactobacillus spp.: Gram pozitif, çubuk şeklinde ve karbonhidratlı maddeleri kullanan bakterilerdir (Merk ve ark., 2005). *Lactobacillus* spp. sebze, et ve süt ürünleri gibi fermente gıdaların üretiminde çok önemlidir. Süt endüstrisinde probiyotik ve starter kültür olarak kullanımı gittikçe artmaktadır (Chamba ve Irlinger, 2004). 5-53°C’de gelişebilirler, genellikle hareketsizdirler ve gıdalarda yaygın türler arasındadırlar. Ayrıca normal et florasında kendiliğinden bulunurlar. Peptidleri aminoasitlere kadar parçalama özelliklerinden dolayı süt ürünlerinin yapımında starter kültür olarak kullanılırlar (Kılıç, 2001).

Pediococcus spp.: Kok şeklinde bakterilerdir. Bu bakteriler homofermantatif özelliktedir. Bazı türler ekstrem sıcaklıklara, pH ve NaCl’ye tolerans gösterirler. Genellikle diğer türlere göre daha anaerobik şartlara ihtiyaç duyarlar. Peynirin tadı ve lezzetine etkilerine yönelik bazı çalışmalar (Peterson ve Marshall, 1990) bulunmaktadır. Bazı bölgelerde fermente sosislerde starter kültür olarak da kullanılmaktadır (Stiles ve Holzapfel, 1997).

Enterococcus spp.: Gram pozitif, katalaz negatif, sporsuz, anaerobik homofermantatif laktik asit bakterileridir (Robinson ve ark.,2000). İnsan ve hayvanların doğal mikroflorasının büyük bölümünü oluşturmakla birlikte doğal olarak bulundukları ortam gastrointestinal sistemdir. Enterokokların pastörizasyon sıcaklıklarına dirençli olmaları nedeniyle ısıtma işlemi uygulanan gıdalarda, çiğ süt ve etten üretilen gıda ürünlerinden çoğunlukla izole edilirler. Bu bakteriler birincil patojen değildirler ancak genellikle bazı türleri ikincil patojen olarak bilinirler (Hummel ve ark., 2007). Bazı çalışmalar enterokokların starter ve probiyotik kültür olarak kullanımlarının yaygınlaştığını göstermektedir (De Vuyst ve ark., 2003).

Lactococcus spp.: Starter kültürler olarak süt endüstrisinde kullanılan laktokoklar süt şekeri olan laktozu fermente ederek fermentasyon sırasında laktik asit oluştururlar (Maeda ve Gasson, 1986). Gram pozitif kok şeklindedir. Sütte, peynirde ve diğer süt ürünlerinde *Lc. lactis* starter kültür olarak kullanılmaktadır (Casalta ve Montel, 2008). *Lactococcus* spp. genel olarak

10°C’de gelişir, fakat 45°C’de gelişemez (Frank ve Hassan, 1998).

1.1. Laktik Asit Bakterilerinin Teknolojik Özellikleri

Laktik asit bakterileri *Lactobacillaceae* familyası içerisinde sınıflandırılmışlardır (Sharpe ve ark., 1966). Laktik asit bakterileri, fermente süt ürünleri ve et ürünleri gibi ürünlerde endüstriyel üretimde önemlidir. Starter kültür olarak fermente gıdaların tat, koku, tekstür ve görünüşü için kullanımında oldukça etkilidir (Çon ve Gökalep, 2001). Diğer bir deyişle Laktik asit bakterileri lipolitik ve proteolitik aktivite; asitlik, aroma gelişimini sağlamak gibi çok önemli teknolojik özelliklere sahiptir.

Diğer yandan probiyotik karakteristiklere sahip laktik asit bakterileri midenin asidik koşullarına ve safra tuzlarına dayanıklılık göstermekte ve bu nedenle bağırsak sistemine kolonize olabilmektedir (Gürsoy ve Kınık, 2006). Bu özellikteki probiyotik mikroorganizmalar patojen olmamalı, patojenlere antagonistik aktivite göstermeli, bağışıklık sistemini iyileştirmeli ve gıdalarda güvenle kullanılabilir (Budak Bağdatlı ve Kundakçı, 2013; Evren ve ark., 2011).

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çeşitli yerlerden toplanan pastırma, sucuk, süt, peynir, turşu örneklerinden izole edilen ve seçilen 40 bakteri izolatu kullanılmıştır. Örnekler +4°C’de buzdolabında analizler yapılabilmek kadar muhafaza edilmiştir.

2.2. Metot

2.2.1. Laktik Asit Bakterilerinin İzolasyonu

Gıda örneklerinden hijyenik koşullarda 10 g örnek alınarak 90 ml seyreltme sıvısı (%0.85 NaCl) içerisinde 10^{-6} ’ya kadar dilüsyonlar hazırlanmış ve spesifik besiyerlerine ekimler yapılmıştır. 24-48 saat 37°C’de inkübyona bırakılmıştır. Gelişen tüm koloniler değerlendirilmiştir (Klein, 2003; Zamfir ve ark., 2006; Rosaria ve ark., 2007).

2.2.2. Gram Boyama

Boyama işlemi için daha önce saflaştırma işlemleri tamamlanmış olan izolatlar aktifleştirilmiş ve çalışma için 24-48 saatlik taze kültürler kullanılmıştır (Benson, 1983).

2.2.3. Biyokimyasal Testler

Katalaz testi (Koneman ve ark., 1992), glukozdan gaz oluşturma (Pa-

pamanoli ve ark., 2003; Kostinek ve ark., 2007), 10°C, 15°C, 45°C farklı sıcaklıklarda gelişebilme yeteneği (Hebert ve ark., 2000; Kostinek ve ark., 2007), % 4.0, % 6.0, %7.5 ve %10 oranında farklı tuz konsantrasyonlarında gelişebilme yeteneği (Holt ve ark., 2000), pH; 3,0, pH; 3,9 ve pH; 9.6'da gelişebilme yeteneği (Holt ve ark., 2000), %3.0, %5.0, %9.0 safra tuzu içeren besiyerinde gelişebilme yeteneği (Papamanoli ve ark., 2003), arjininden NH₃ oluşumu (Papamanoli ve ark., 2003; Sanchez ve ark., 2005)'e göre yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Araştırmada toplanan örneklerden (pastırma, sucuk, süt, peynir ve turşu) izole edilerek seçilen 40 adet laktik asit bakteri izolatı kullanılmıştır. İzolatların bazı analizlere göre starter ve probiyotik olabilme durumları değerlendirilmiştir.

Yapılan çalışmada sucuktan 4 adet izolat *P. pentosaceus* olarak tanımlanmıştır. Bu izolatlar için Gram boyama pozitif, glukozdan gaz üretimi ve arjinin testi negatif olarak tespit edilmiştir. Bakterilerin morfolojileri kok görünümündedir. Tamang ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada 7 adet *P. pentosaceus* izolatının tamamının glukozdan gaz üretiminin negatif, arjinin hidrolizinin pozitif olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma sonucu, glukozdan gaz üretimi için araştırmacıların sonuçlarıyla benzerdir. Şimşek (2003) çalışmasında *Pediococcus* ssp. E5'in morfolojisinin kok, Gram boyamasının ve arjinin hidrolizinin pozitif, glukozdan gaz üretiminin negatif olduğunu belirtmiştir. Ertekin (2007) çalışmasında *P. pentosaceus*'larda morfolojiyi kok, glukozdan gaz üretimi ve arjinin hidrolizini negatif ve Gram boyamayı pozitif olarak bulmuştur. Çalışma sonuçları Ertekin (2007) ile tam uyumlu, Şimşek (2003) ve Tamang ve ark. (2005) ile arjinin hidrolizi açısından farklıdır.

Çalışma sonuçlarına göre pastırmadan 3 adet izolat; sucuktan 6 adet izolat; süttten 3 adet izolat; peynirden 7 adet izolat; turşudan 10 adet izolat *L. plantarum* olarak tanımlanmıştır. Tamang ve ark. (2005) çalışmalarında fermente sebzelerden izole ettikleri 13 adet *L. plantarum* izolatının tamamında glukozdan gaz üretiminin olmadığını ve arginin hidrolizinin yalnızca 3 izolatta pozitif olduğunu belirtmişlerdir. Garcia Fontan ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada 18 adet *L. plantarum* suşunun glukozdan gaz üretiminin olmadığını tespit etmişlerdir. Papamanoli ve ark. (2003) izole ettiği 7 adet *L. plantarum*'un glukozdan gaz üretiminin ve arjinin hidrolizinin hiçbirinin pozitif olmadığını belirtmişlerdir. Ertekin (2007) yaptığı çalışmada *L. plantarum*'larda glukozdan gaz üretiminin olmadığını belirtmiştir. Şimşek (2003) yaptığı çalışmasında *L. plantarum* 431, C5, 113 izolatlarının morfolojik görünümünün basil, Gram boyamasının pozitif, katalaz, arjinin hidrolizi ve glukozdan gaz üretiminin negatif olduğunu bildirmiştir. Karasu (2006) turşu ve zeytinden izole etmiş olduğu *L. plantarum*'ların Gram boyamasının

pozitif, katalaz, arjinin hidrolizi ve glukozdan gaz üretiminin negatif, morfolojilerinin basil olduğunu bildirmiştir. Çalışma sonuçları Papamanoli ve ark. (2003), Tamang ve ark. (2005), Garcia Fontan ve ark. (2007), Karasu (2006), Ertekin (2007) tarafından izole edilen *L. plantarum* izolatlarıyla temel özellikler açısından uyum göstermektedir. Sanchez ve ark. (2000) tarafından yapılan çalışmada izole edilen *L. plantarum* suşlarının %4.0, 6.5 ve 8.0 NaCl konsantrasyonlarında tamamının geliştiği, Badis ve ark. (2004) tarafından keçi sütünden izole edilen *L. plantarum* izolatlarının %2.0, 3.0, 4.0'lük NaCl konsantrasyonunda %90'ından fazlasının pozitif gelişme gösterdiği, %6.5 konsantrasyonlarında gelişme göstermediği tespit edilmiştir. Papamanoli ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışma sonucunda kuru fermente sucuktan izole edilen 7 adet *L. plantarum*'un %6.5, 8.0 ve 10 NaCl konsantrasyonunda %100 gelişebildiğini bildirmiştir. Karasu (2006) yapmış olduğu çalışmada turşu ve zeytinden izole ettiği laktik asit bakterilerinin %6-8 NaCl oranında 16 izolatın 3'ü hariç diğerlerinin gelişebileceğini bildirmiştir. Çalışma sonuçları, Sanchez ve ark. (2000) ile tam uyumlu, Badis ve ark. (2004) ile uyumlu, Papamanoli ve ark. (2003) ve Karasu (2006) ile %6.0-%8 tuz oranları açısından benzerdir. Santos ve ark. (2003) *L. plantarum* suşlarının %0.3 safra tuzunda canlılıklarını sürdürdüğünü belirtmiştir, Papamanoli ve ark. (2003) yaptığı çalışmada 7 adet *L. plantarum* izolatının tümünün %0.1, 0.3, 0.8, 1.0 ve 2.0 safra tuzu içerikli besiyerinde geliştiğini belirtmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar %3.0, %5.0, %9.0 safra tuzu katkılı besiyerlerinde pozitif bulunmuştur. Santos ve ark. (2003) ve Papamanoli ve ark. (2003) tarafından bildirilenlerle tam uyumludur. Bu durum izolatların probiyotik olarak kullanılma potansiyeli açısından önem sağlamaktadır. Hebert ve ark. (2000) çalışmada Arjantin ve İtalya peynirlerinden izole ettiği *Lactobacilli*'lerin 37°C ve 45°C'de geliştiğini, 15°C'de gelişemediğini tespit etmiştir. Şimşek (2003) *Lactobacillus* sp. izolatları ile yaptığı çalışmada 7 adet izolatın 15°C'de tamamının gelişme gösterdiğini, 45°C'de ise 2 adedinin gelişme gösterdiğini bildirmiştir. Çalışma sonuçları Hebert ve ark. (2000) ile 15°C'de gelişme açısından uyumsuz, Şimşek (2003) ile uyumludur. McDonald ve ark. (1990) *L. plantarum*'un 4.5-7.0 pH arasında geliştiğini bildirmiştir. Papamanoli ve ark. (2003) çalışmalarında kuru fermente sucuktan izole ettikleri 7 adet *L. plantarum* izolatının pH 4.0 ve pH 5.0'de geliştiğini, pH 3.0'da gelişemediğini tespit etmiştir. Çalışma sonuçlarının literatür verileriyle benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Çalışma sonuçlarına göre süttten 2 izolat; peynirden 1 izolat *L. lactis* olarak tanımlanmıştır. Özkalp (2006) çalışmada 50 adet *L. lactis* izolatıyla çalışmış ve bunların hepsinin morfolojilerinin kok, Gram boyamalarının pozitif, katalazın negatif olduğunu belirlemiştir. Kelly ve ark. (1998) sebze ve meyvelerden izole edilen laktokokların bütün suşlarının Gram pozitif, katalaz negatif, kok şekilli olduğunu ve glukozdan gaz üretimlerinin olmadığını

nı belirtmişlerdir. Çalışma sonucu *L. lactis* için belirlenen değerlerle uyum göstermiştir. Özkalp (2006) ayrıca 50 adet *L. lactis* izolatıyla yapmış olduğu çalışmada 30°C de izolatların tamamının gelişme gösterdiğini, 40°C de 3 izolatın, 45°C’de ise hiçbirisinin gelişme göstermediğini belirtmiştir. Çalışma sonucu 45°C’de gelişmeme açısından karşılaştırıldığında Özkalp (2006) ile kısmen benzerlik göstermektedir. Çalışma sonuçlarına göre peynirden izole edilmiş 1 adet izolat *L. paracasei* olarak tanımlanmıştır. Kask ve ark. (2003) izole edilen 6 adet *L. paracasei* izolatının %6.5 tuzlu ortamda %18-42 arasında gelişebildiğini açıklamıştır. Çalışma sonuçları literatür verileriyle benzeşmektedir.

Çalışma sonuçlarına göre peynirden izole edilmiş sadece 1 izolat *L. curvatus* olarak tanımlanmıştır. Papamanoli ve ark. (2003) yapmış oldukları çalışmada izole ettikleri 24 adet *L. curvatus*’un glukozdan gaz üretmediğini ve arjinin hidrolizinin yarıdan fazla örnekte pozitif olduğunu belirtmişlerdir. Kask ve ark. (2003) Estonya yarı sert peynirlerinden izole ettiği 2 adet *L. curvatus*’un, Garcia Fontan ve ark. (2007) çalışmalarında 23 adet *L. curvatus* izolatının glukozdan gaz üretmediğini belirtmişlerdir. Yapılan çalışma sonunda elde edilen değerler glukozdan gaz üretimi açısından 3 literatür verisiyle tam bir uyum gösterirken, arjinin hidrolizi açısından Papamanoli ve ark. (2003) verisiyle benzerlik göstermemektedir. Papamanoli ve ark. (2003) yapmış oldukları çalışmada ayrıca Yunan kuru fermente sucuğundan izole ettikleri 24 adet *L. curvatus*’un 15°C’de %100, 45°C’de %21 geliştiğini tespit etmiştir. Kask ve ark. (2003) Estonya yarı sert peynirlerinden izole ettikleri *L. curvatus* için yaptıkları çalışmada 30°C’de iyi gelişme tespit etmişlerdir. Garcia Fontan ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada da 23 adet *L. curvatus*’un 15°C’de tamamının (%100) ve 45°C’de 3 adedinin (%13) geliştiği saptanmıştır. Sonuçlar 15°C’de gelişme açısından Papamanoli ve ark. (2003) ve Garcia Fontan ve ark. (2007) literatür verileri ile tam uyumludur. Papamanoli ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmada kuru fermente sucuktan izole edilen 24 adet *L. curvatus*’un pH 3.0’de gelişme göstermediği, pH 4.0’de %42, pH 5.0’de %58 gelişme gösterdiği bildirilmiştir. Çalışmada izole edilen izolatların birbirini doğrular nitelikte olduğu ifade edilebilir. Papamanoli ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmada kuru fermente sucuktan izole edilen 24 adet *L. curvatus*’un %6.5 NaCl’de %100, %8.0 NaCl’de %71 oranında çoğaldığı bildirilmiştir. Kask ve ark. (2003) Estonya yarı sert peynirlerinden izole ettikleri 2 adet *L. curvatus*’un %6.5 NaCl içeren ortamda spesifik gelişme oranının %55-59 arasında olduğunu bildirmiştir. Çalışma sonuçları *L. curvatus* açısından literatür verileriyle oldukça benzerdir. Papamanoli ve ark. (2003) ayrıca yapmış oldukları çalışmada izole ettikleri 24 adet *L. curvatus* %0.1 safra tuzunda %100, %0.3’de %58, %0.8’de %21, %1 ve %2 safra tuzunda %0 gelişme tespit ettiklerini belirtmişlerdir. Çalışma sonucuna göre *L. curvatus* izolatu %3 safra tuzu, %5 safra tuzu, %9.0 safra

tuzu için gelişme göstermiş olduğundan daha yüksek oranlarda safra tuzuna dayanıklılık göstermiştir.

Laktik asit bakterileri ile ilgili olarak yapılan araştırmalara göre; sucuk fermentasyonunda laktik asit bakterileri bazı bileşikleri parçalayarak sucuğun tekstürel özelliklerine katkıda bulunur (Karakaya ve Göğüş, 1993). Ayrıca bu bakteriler bozulmaya neden olan mikroorganizmaları engelleyerek raf ömrünü artırırlar (Sameshima ve ark., 1998). Pastırmalarda ise genelde yüksek tuz konsantrasyonuna dirençli laktik asit bakterilerinin faaliyet gösterebildiği bildirilmektedir (Lücke, 1986). Peynirde starter kültür olarak kullanılan laktik asit bakterileri proteolitik aktivitesi sayesinde olgunlaşma süresince asit üretimi ve aroma gelişimini sağlar. Laktik asit bakterilerinin önemli olduğu ürünlerden birisi turşudur. Turşuda iyi bir fermentasyon için özellikle faaliyette bulunması istenilen laktik asit bakterileridir (Türker, 1975). Genellikle gıdalara katkı maddeleri, gıdaların tekstürel, mikrobiyolojik özelliklerinin geliştirilmesi ve raf ömrünün uzatılması için eklenmektedir. Ancak bu katkıların sağlık açısından zararlı olacağı düşünülmektedir. Doğal, güvenilir katkıların elde edilmesi ve kullanımı günümüzde çok önemli hale gelmiştir. Bu sebeple doğal olarak teknolojik açıdan önemli mikroorganizmaların kullanılması büyük önem taşımaktadır (Soomro ve ark., 2002).

Tablo 4.1. Teknolojik olarak önemli bulunan laktik asit bakterilerinin morfolojik görünüm ve bazı biyokimyasal test sonuçları

Gıda	Tür	Morfolojik Görünüm	Katalaz Aktivitesi	Glukozdan Gaz Üretimi	Arjinin Hidrolizi	15°C	pH= 3.9	pH= 9.6	% 7.5 NaCl	% 9.0 Safra Tuzu
Sucuk	<i>P. pentosaceus</i>	Kok	-	-	-	+	+	+	+	+
Sucuk	<i>P. pentosaceus</i>	Kok	-	-	-	+	+	+	+	+
Sucuk	<i>L. plantarum</i>	Basil	-	-	-	+	+	+	+	+
Sucuk	<i>L. plantarum</i>	Basil	-	-	-	+	+	+	+	+
Süt	<i>L. plantarum</i>	Basil	-	-	-	+	+	+	+	+
Süt	<i>L. plantarum</i>	Basil	-	-	-	+	+	+	+	+
Süt	<i>L. plantarum</i>	Basil	-	-	-	+	+	+	+	+
Süt	<i>L. lactis</i>	Kok	-	-	-	+	+	+	+	+
Peynir	<i>L. plantarum</i>	Basil	-	-	-	+	+	+	+	+
Peynir	<i>L. plantarum</i>	Basil	-	-	-	+	+	+	+	+
Peynir	<i>L. plantarum</i>	Basil	-	-	-	+	+	+	+	+
Peynir	<i>L. plantarum</i>	Basil	-	-	-	+	+	+	+	+

Turşu	<i>L. plantarum</i>	Basil	-	-	-	+	+	+	+	+
Turşu	<i>L. plantarum</i>	Basil	-	-	-	+	+	+	+	+
Turşu	<i>L. plantarum</i>	Basil	-	-	-	+	+	+	+	+
Turşu	<i>L. plantarum</i>	Basil	-	-	-	+	+	+	+	+
Turşu	<i>L. plantarum</i>	Basil	-	-	-	+	+	+	+	+
Turşu	<i>L. plantarum</i>	Basil	-	-	-	+	+	+	+	+
Turşu	<i>L. plantarum</i>	Basil	-	-	-	+	+	+	+	+
Turşu	<i>L. plantarum</i>	Basil	-	-	-	+	+	+	+	+

4. Sonuçlar

Analiz sonuçlarına göre bazı izolatların 15°C sıcaklıkta, 3.9 pH'da gelişebilmeleri, % 4.0, 6.0, 7.5 oranlarında NaCl'de gelişebilmeleri asidik fermente gıdalarda starter kültür olarak kullanım açısından bu kültürlerle teknolojik olarak oldukça önem kazandırmaktadır. Bu izolatların 3.9 ile 9.6 pH'da gelişmeleri ve yüksek safra tuzuna dayanıklı oluşu bu izolatların aynı zamanda probiyotik kültür olarak da arzulanan özelliklere sahip bulunduklarını göstermektedir. Tespit edilen izolatların çoğu *L. plantarum* türü olarak tanımlanmakla birlikte bu türü *P. pentosaceus* türü takip etmiştir. Sucukta 2 adet *L. plantarum*, sütte 3 adet *L. plantarum*, peynirde 4 adet *L. plantarum*, turşuda 8 adet *L. plantarum* tespit edilmiştir (Tablo 4.1). Bu suşlar çeşitli antibiyotiklere direnç açısından da test edilmiş ve bunun sonucunda hiçbir antibiyotiğe direnç tespit edilmemiştir. Bu güvenilir suşların teknolojik olarak önemli özelliklere sahip olması önem arz etmektedir.

Ülkemizde pastırma, sucuk, süt, peynir ve turşu gibi önemli yeri olan gıdalarda doğal florada bulunan ya da fermente gıda üretiminde doğal katkı olarak dışarıdan katılacak bakterilerin starter ve probiyotik olarak önemli özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu çalışmada da sucuk, süt, peynir ve turşudan izole edilen laktik asit bakteri izolatlarının 20 adedinin bazı özellikler açısından starter ve probiyotik potansiyeli gösterecek teknolojik niteliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar da endüstriyel olarak olumlu yönde önemli bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- Badis, A., Guetarni, D., Moussa-Boudjemâ, B., Henni, D.E., Tornadijo, M.E., Kihal, M. (2004). Identification of Cultivable Lactic Acid Bacteria Isolated from Algerian Raw Goat's Milk and Evaluation of Their Technological Properties. *Food Microbiology*, 21: 343-349.
- Benson, H.S. (1983). Microbiological applications, a laboratory manual in general microbiology. Wm.C. Brown Company Publishers Dubuque, 397P, Iowa.
- Budak Bağdatlı, A., Kundakçı, A. (2013). Fermente Et Ürünlerinde Probiyotik Mikroorganizmaların Kullanımı. *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 981, 31-37.
- Casalta, E., Montel, M.C. (2008). Safety assessment of dairy microorganisms: The *Lactococcus* genus. *International Journal of Food Microbiology*, **126**: 271–273.
- Chamba, J.F., Irlinger, F. (2004). Secondary and adjunct cultures. In: Fox, P.F., McSweeney, P.L.H., Cogan, T.M., Guinee, T.P. (Eds.), *Cheese, Chemistry, Physics and Microbiology, General Aspects*, vol: 1. Elsevier Academic Press, London, pp.191–206.
- Çon, A.H., Gökalp, H.Y. (2001). Laktik Asit Bakterilerinin Antimikrobiyal Metabolitleri ve Etki Şekilleri. *Türk Mikrobiyoloji Cemiyeti Dergisi*, 30:180-190.
- De Vuyst, L., Foulque Moreno, M.R., Revets, H. (2003). Screening for enterocins and detection of hemolysin and vancomycin resistance in Enterococci of different origins. *International Journal of Food Microbiology*, 84, 299-318.
- Ertekin, Ö. (2007). Farklı Gıdalardan İzole Edilen Laktik Asit Bakterilerinin Nümerik Taksonomisi. Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 176 s.
- Evren, M., Apan, M., Tutkun, E., Evren, S. (2011). Geleneksel Fermente Gıdalarda Bulunan Laktik Asit Bakterileri. *Elektronik mikrobiyoloji dergisi*, TR,9(1):11-17.
- Frank, J.F., Hassan, A.H. (1998). Starter Cultures and Their Use. In Marth, E.H., Steele, J.L. (Eds.) *Applied Dairy Microbiology*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- García Fontán, M.C., Lorenzo, J.M., Martínez, S., Franco, I., Carballo, J. (2007). Microbiological Characteristics of Botillo, a Spanish Traditional Pork Sausage, Article in Press, 40: 1610-1622.
- Gürsoy, O., Kınık, Ö. (2006). Fonksiyonel Starter Kültürlerin Teknolojik Uygulamalarına Bir Bakış. *Türkiye 9.Gıda Kongresi*; 24-26 Mayıs 2006, Bolu.
- Hebert, E. M., Raya, R.R., Tailleux, P., De Giori, G.S. (2000). Characterization of natural isolates of lactobacillus strains to be used as starter cultures in dairy fermentation. *International journal of food microbiology*, 59:19-27.
- Holt, J.G., Krieg, N.R., Sneath, P.H.A., Staley, J.T. ve Williams, S.T. (2000). *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology* 9th ed., Williams & Wilkins, Baltimore, 787pp.

- Hummel, A.S., Hertel, C., Holzapfel, W.H., Charles, Franz, C.M.A.P. (2007). Antibiotic resistances of starter and probiotic strains of Lactic Acid Bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 73, No:3, 730-739s
- Karakaya, M., Göğüş, A.K. (1993). Sucuk Üretiminde Farklı Karbonhidrat Kaynaklarının Kullanılma Olanakları Üzerinde Araştırmalar. *Gıda*, 18(5):319-323.
- Karasu, N. (2006). Tursu ve Zeytinden Antagonistik ve Probiyotik Özellikte Laktik Starter Kültür Eldesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 78 s.
- Kask, S., Adamberg, K., Orlowski, A., Vogensen, F.K., Moller, P.L., Ardö, Y., Paalme, T. (2003). Physiological Properties of *Lactobacillus paracasei*, *L.danicus* and *L.curvatus* Strains Isolated from Estonian Semi-Hard Cheese. *Food Research International*, 36: 1037-1046.
- Kelly, W.J., Davey, G.P., Ward, L.J.H. (1998). Characterization of Lactococci isolated from Minimally Processed Fresh Fruit and Vegetables. *International Journal of Food Microbiology*, 45: 85-92.
- Kılıç, S. (2001). Süt Endüstrisinde Laktik Asit Bakterileri, Ege Üniv.Ziraat Fak. Yayınları, No:542, İzmir. 1-57s.
- Klein, G. (2003). Taxonomy, ecology and antibiotic resistance of Enterococci from food and gastro-intestinal tract. *International Journal of Food Microbiology*, 88, 2-3, 123-131.
- Koneman, E.W., Allen, S.D., Janda, W.M., Schreckenberger, P.C., Winn, W.C. (1992). The Gram-positive cocci part II: Streptococci and Streptococcus-like Bacteria. *Color Atlas and Textbook of Diagnostic Microbiology*, Philadelphia: J.B.Lippincott Company.
- Kostinek, M., Specht, I., Edward, V.A., Pinto, C., Egounlety, M., Sossa, C., Mbugua, S., Dortu, C., Thonart, P., Taljaard, L., Mengü, M., Franz, C.M.A.P., Holzapfel, W.H. (2007). Characterisation and biochemical properties of predominant Lactic acid bacteria from fermenting cassava for selection as starter cultures. *International journal of food microbiology*, 114:342-351.
- Lücke, F.F. (1986). Fermented sausages, In *Microbiology of Fermented Foods*, London, Elsevier Applied Science.
- Maeda, S., Gasson, M. (1986). Cloning Expression And Location of the Streptococcus lactis Gene for Phospho- β Galactosidase. *J. General. Microbiol.*, 132; 331-340.
- McDonald, L.C., Fleming, H.P., Hassan, H.M. (1990). Acid Tolerance of *L.mesenteroides* and *L.plantarum*. *Appl Environ Microbiol.*, 56(7): 2120-2124.
- Merk, K., Borelli, C., Korting, H.C. (2005). Lactobacilli bacteria host interactions with special regard to the urogenital tract. *International Journal of Medical Microbiology*, 295: 9-18.
- Özkalp, B. (2006). Dogal Tip *Lactococcus Lactis* Suslarının Endüstriyel Starter Kültür Potansiyellerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi

Biyoteknoloji Enstitüsü, Ankara, 101 s.

- Papamanoli, E., Tzanetakis, N., Litopoulou-Tzanetaki, E., Kotzekidou, P. (2003). Characterization of lactic acid bacteria isolated from a Greek dry-fermented sausage in respect of their technological and probiotic properties. *Meat science*, 65:859-867.
- Peterson, S.D., Marshall, R.T. (1990). Nonstarter lactobacilli in cheddar cheese: areview. *J. Dairy Sci*, **73**: 1395–1410.
- Robinson, R.K., Batt, C.A., Patel, P.D. (2000). *Encyclopedia of food Microbiology*. In *Brucella*. (ed) Academic pres., London, vol:1, pp: 319-327.
- Rosaria, M., Modesto, M., Biavati, B. (2007). Antibiotic resistance of Lactic Acid Bacteria and Bifidobacterium Spp. Isolated from dairy and pharmaceutical products. *International Journal Of Microbiology*, 115, 35-42.
- Sameshima, T., Magome, C., Takeshita, K., Arihara, K., Itoh, M., Kondo, Y. (1998). Effect of Intestinal Lactobacillus Starter Cultures on the Behaviour of *Staphylococcus aureus* in Fermented Sausage. *International Journal of Food Microbiology*, 41: 1-7.
- Sanchez, I., Sesena, S., Poveda, J.M., Cabezas, L., Palop, L. (2005). Phenotypic and genotypic characterization of lactobacilli isolated from spanish goat cheeses. *International journal of food microbiology*, 102:355-362.
- Sanchez, M.M., Delgado, T., Alonso, L. and Baltasayar, M. (2000). Phenotypic and Genetic Characterization of a Selected Set of *Lactococcus lactis* Strains Isolated from a Starter- Free Farmhouse Cheese. *Food Microbiology*, 17: 449-460.
- Santos, A., San Mauro, M., Sánchez, A., Torres, J.M. , Marquina, D. (2003). The Antimicrobial Properties of Different Strains of *Lactobacillus spp*. Isolated from Kefir. *Systematic and Applied Microbiology*, 26: 434-437.
- Sharpe, M.E., Fryer, T.F., Smith, D.G. (1966). *Identification of the Lactic Acid Bacteria*, ed. Gibbs, B.M. and Skinner, F.A. , Academic Press, New York, 245 s.
- Soomro, A.H., Masud, T., Anwear, K. (2002). Role of lactic acid bacteria in food preservation and human health- a review. *Pakstan journal of nutrition*, 1(1):20-24.
- Stiles, M.E., Holzapfel, W.H. (1997). Lactic acid bacteria of foods and their current taxonomy. *International Journal of Food Microbiology*, 36: 1–29p.
- Şimsek, Ö. (2003). Uşak ve Yöresi Eksi Hamurlarından İzole Edilen Antimikrobiyal Aktiviteye Sahip Laktik Asit Bakterilerinin Tanımlanması ve Bazı Metabolik Özelliklerinin Belirlenmesi., Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 90s.
- Tamang, J.P., Tamang, B., Schillinger, U., Franz, C.M.A.P., Gores, M., Holzapfel, W.H. (2005). Identification of Predominant Lactic Acid Bacteria Isolated from Traditionally Fermented Vegetable Products of the Eastern Himalayas.. *International Journal of Food Microbiology*, 105: 347-356.

Türker, İ. (1975). Fementasyon Teknolojisi. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları.

Zamfir, M., Vancanneyt, M., Makras, L., Vaningelgem, F., Lefebure, K., Pot, B., Swings, J. and De Vuyst, L. (2006) Biodiversity of Lactic Acid Bacteria in Romanian Dairy Products. Systematic and Applied Microbiology, 29: 487-495.

6. Teşekkür

Bu çalışmayı YLMUB017-20 numaralı proje ile destekleyen Munzur Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederiz.

BÖLÜM 8

GELİŞTİRİLMİŞ SOBEL KENAR BULMA OPERATÖRÜNÜN FARKLI RENK UZAYLARINDAKİ PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

*Sinan DOĞAN¹
Funda AKAR²
Ahmet BARAN³*

1 Yapay Zeka ve Robotik ABD, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan, Türkiye, ORCID: 0000-0003-3664-4599

2 Dr. Öğr. Üyesi, Yapay Zeka ve Robotik ABD, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan, Türkiye, ORCID: 0000-0001-9376-8710

3 Prof. Dr. , Yapay Zeka ve Robotik ABD, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan, Türkiye, ORCID: 0000-0003-2017-799X

BÖLÜM I

GİRİŞ

Bir görüntüdeki kenar, farklı nesneleri veya aynı nesne üzerindeki farklı oluşumları ayıran noktalar kümesidir (Noutsou, Argialas, & Michalis, 2007). Kenar, bir görüntünün en temel özellikleri arasında yer alırken kenar detektörü de görüntü işlemenin en önemli araçlarından birisini oluşturur (ji, 2007). Nesne tanıma ve görüntü işleme uygulamalarının neredeyse tamamı kenar bulma işlemi gerektirmektedir. Kenar bulma işlemi için Canny (Canny, 1986), Laplacian (Anand, Tripathy, & Kumar, 2015), Gauss (Zhang, Lian, Dong, Zhao, & Liu, 2010), Prewitt (Prewitt, 1970) gibi kenar algılama yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Günümüzde renkli resimler için kenar bulma işlemi genel olarak gri renk koduna çevrilerek yapılmaktadır. Gri renk koduna çevrilmiş bir görüntüde renkli haline oranla yaklaşık %10 kenar değerlerinde kayıp olduğu bilinmektedir (Novak & Shafer, 1987). Kenar bulma işlemi açısından renkli görüntüler gri renk koduna çevrilmiş görüntülere oranla çok daha iyi sonuç vermektedir (Bellaire, Talmi, Oezguer, & Koschan, 1998). Renkli görüntülerde kenar bulma işlem süresi ve işlem maliyeti açısından gri görüntülere oranla daha yüksektir. Renkli görüntüler için kenar algılama hayati önem taşıyan biyomedikal ve güvenlik gerektiren hassas konularda işlem süresi ve işlem maliyetinin fazlalığı göz ardı edilebilmektedir.

Bu çalışmada kenar bulma işlemi için renkli görüntüler kullanılmış ve kullanılan renk kavramı; elektromanyetik spektrum içerisinde 380nm ve 750nm aralığında bulunan ışık dalgalarının algılanması şeklinde tanımlanmaktadır (Healey & Enns, 1996). Renk, dijital görüntünün sahip olduğu özellikler içerisinde önemli bir belirleyici etkiye sahiptir (Chauhan & Shahabade, 2013). Renkli görüntüleri ifade edebilmek için RGB, YCbCr, HSV gibi farklı renk uzayları kullanılmaktadır. RGB renk uzayı 3 ana renk olan Kırmızı, Yeşil ve Mavi renklerden oluşmaktadır. Kenar bulmada kullanılan RGB renk uzayının birkaç dezavantajı bulunmaktadır, bunlardan birisi renklerin tek düze olmasıdır, bir diğer dezavantajı ise renkler arasındaki farklılıklar görüntü içerisinde herhangi bir mesafe değeri vermemesidir (Bassiou & Kotropoulos, 2007) ir.

HSV renk uzayı 3 ana bileşenden oluşmaktadır, Ton (renk derinliği), Doygunluk (renk saflığı), Yoğunluk (renk parlaklığı) (Koschan, 1995). HSV’de kullanılan Ton, baskın dalga boyu ile ilişkili olduğundan görüntüdeki baskın rengi temsil eder. Doygunluk, beyaz bir referans değere göre tonun ne kadar saf olduğunu gösteren renk saflığını temsil eder (Bassiou & Kotropoulos, 2007).

Görüntü işleme alanında yaygın olarak kullanılan diğer bir renk uzayı ise YCbCr’dir. Burada verilen Y bileşeni parlaklık değerini ifade eder. Cb

ve Cr bileşenlerinde ise renk bilgileri bulunur. Cb bileşeninde mavi renk ile parlaklık arasındaki fark, Cr bileşeninde ise kırmızı renk ile parlaklık arasındaki fark bulunur.

Renkli görüntülerde kenar algılama ile ilgili pek çok yöntem önerilmiştir. R. D. Dony ve S. Wesolkowski tarafından RGB görüntüde komşu 2 piksel arasındaki vektör açısı kullanılarak kenar algılama yöntemi önerilmiştir (Dony & Wesolkowski, 1999). H. X.Sun vd. tarafından HSI renk uzayını kullanarak görüntüye ait ton, yoğunluk ve doygunluk kullanılarak kenarları hesaplayan yöntem önerilmiştir (Sun, Zhang, & Luo, 2009). S. Dutta ve B.B. Chaudhuri tarafından optimum eşik değeri tahmini ve kenar inceltme tekniğine dayanan kenar bulma algoritması önerilmiştir (Dutta & Chaudhuri, 2009). X. W. Li ve X. R. Zhang tarafından Gauss filtresi kullanarak yeni bir yöntem önermiştir (Li & Zhang, 2008), A. N. Evans ve X. U. Liu tarafından vektör farklılıklarına göre kenar tahmin eden kenar algılama yöntemi önerilmiştir (Evans & Liu, 2006).

Sobel kenar bulma operatörü ile kenar bulma işlemine ihtiyaç duyulduğunda kullanılacak renk kodu ve operatör boyutu belirlenirken bu çalışma önemli ölçüde belirleyici olacaktır. Çalışmanın sonuçları değerlendirildiğinde diğer çalışmalara yön vereceği ve yöntemler arası kıyaslamaların deneysel sonuçlarda görüleceği üzere başarımlarını sağladığı ispatlanmıştır.

Bu çalışma 3 ana bölümden oluşmaktadır. II. Bölümde Sobel ve Geliştirilmiş Sobel Operatörleri açıklanmıştır. III. Bölümde RGB, YCbCr ve HSV renk uzaylarında Sobel ve Geliştirilmiş Sobel kenar bulma algoritması kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmış ve IV. Bölümde ise uygulama sonucu değerlendirilmiştir.

BÖLÜM II SOBEL OPERATÖRÜ

Sobel kenar bulma operatörü iki renkli görüntülerde 3x3 komşulukta ve 4 farklı yöndeki gradyan değerlerin vektörel toplamalarını kullanarak kenarları bulmaktadır. Bir görüntüde yoğunluk fonksiyonu düzlemsel ise işlem yapılan noktanın 4 farklı yöndeki komşularında gradyan değerleri aynıdır, bu noktanın 4 farklı yöndeki gradyan değerlerin vektörel toplamı aynı noktanın 8 yönsel gradyan değerlerin vektörel toplamı ile aynı değere sahip olduğu varsayımına dayanmaktadır. Sobel operatörü görüntünün bölgesel yüksek frekans noktalarını işaretlemektedir. 3x3 boyutunda bir matris için a_{22} 'ye ait 8 komşuluk Şekil 1. de gösterilmiştir.

a_{11}	a_{12}	a_{13}
a_{21}	a_{22}	a_{23}
a_{31}	a_{32}	a_{33}

Karşılıklı komşu noktalar ortak bir grup olarak ele alınırsa gradyan değerlerinin vektörel toplamı,

$$\tilde{G} = \frac{(a_{31} - a_{13})}{R} * \frac{[1,1]}{R} + \frac{(a_{11} - a_{33})}{R} * \frac{[-1,1]}{R} + (a_{12} - a_{32}) * [0,1] + (a_{23} - a_{31}) * [1,0] \quad (1)$$

işlemi ile gösterilir (Sobel, 1990). $R = \sqrt{2}$ için gradyan değerleri hesaplanırsa

$$\tilde{G} = \frac{(a_{31} - a_{13} - a_{11} + a_{33})}{2} + a_{23} - a_{21}, \frac{(a_{31} - a_{13} + a_{11} + a_{33})}{2} + a_{12} - a_{32} \quad (2)$$

elde edilir, bu işlem neticesinde Şekil 2. de gösterilen konvolüsyon matrisler elde edilir (Sobel, 1990).

-1	0	+1
-2	0	+2
-1	0	+1

Gx

+1	+2	+1
0	0	0
-1	-2	-1

Gy

Şekil 2. Sobel operatörü yatay ve dikey konvolüsyon matrisleri

Gx ve Gy (yatay ve dikey) Sobel konvolüsyon matrisleri (Şekil 2.) yatayda ve dikeyde kenar arama işlemi yapmak için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Bu matrisler görüntüye birbirinden bağımsız şekilde uygulanabilir. Bu sayede yatayda ve dikeyde olan komşuluklar için değerler birbirinden bağımsız şekilde ölçülmüş olur. İşlem yapılan noktanın (a_{22}) çaprazında duran noktalar için (a_{11} , a_{13} , a_{32} , a_{33}) ise yatay ve dikeyde bulunan değerler ile yön açısı Eşitlik (3) ve Eşitlik (4) ile hesaplanır.

$$|G| = \sqrt{Gx^2 + Gy^2} \quad (3)$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{Gx}{Gy}\right) \quad (4)$$

Açı değerleri saatin tersi yönünde ölçülmektedir ve açı değeri 0 çıktı-

ğında yatayda bulunan çizgiler, 90 derece çıktığında ise dikeyde bulunan çizgiler belirlenmiş olmaktadır. Ara aç ı değerleri ise çaprazda bulunan çizgileri göstermektedir.

Sabit görüntü yoğunluğunun olduğu bölgeler 0 (*kenar değeri bulunmayan noktaları ifade eder, siyah renk kodudur*) değere sahip olur. $|G|^2 > k$ şartını sağlayan (*k, eşik değeri*) tüm noktaları kenar olarak tanımlanır (Duda & Hart, 1973).

Sobel kenar bulma işleci temel hali 3x3 konvolüsyon matrislerinden oluşur, ancak kenar bulma işlemi için Dr. H. B. Kekre ve arkadaşları tarafından kullanılan Şekil 3 te gösterilen 5x5 konvolüsyon matrisleri çok daha iyi sonuç vermektedir (Kerke & Gharge, 2010).

+2	+1	0	-1	-2
+2	+1	0	-1	-2
+4	+2	0	-2	-4
+2	+1	0	-1	-1
+2	+1	0	-1	-2

G_x

+2	+2	+4	+2	+2
+1	+1	+2	+1	+1
0	0	0	0	0
-1	-1	-2	-1	-1
-2	-2	-4	-2	-2

G_y

Şekil 3. 5x5 Sobel operatörü yatay ve dikey konvolüsyon matrisleri

BÖLÜM III

RENKLİ GÖRÜNTÜLERDE GELİŞTİRİLMİŞ SOBEL KENAR ALGILAMA YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

Bu çalışmada Berkeley Segmentasyon Veri Kümesi (BSDS500) (Martin, Fowlkes, Tal, & Malik, 2001) kullanılmıştır.

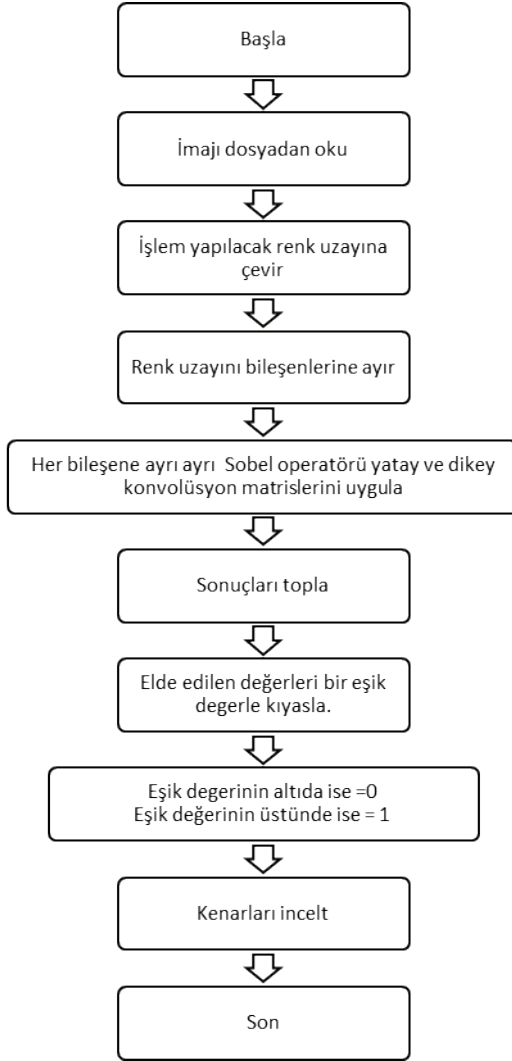
Renkli görüntülerde kenar bulma işlemi 3 adımdan oluşmaktadır.

Adım 1: Renkli görüntü sahip olduğu renk uzayının ana bileşenlerine ayrılır.

Adım 2: Ayrılan her bir bileşen üzerinde Sobel operatörü yatay ve dikey konvolüsyon matrisleri ayrı ayrı çalıştırılır.

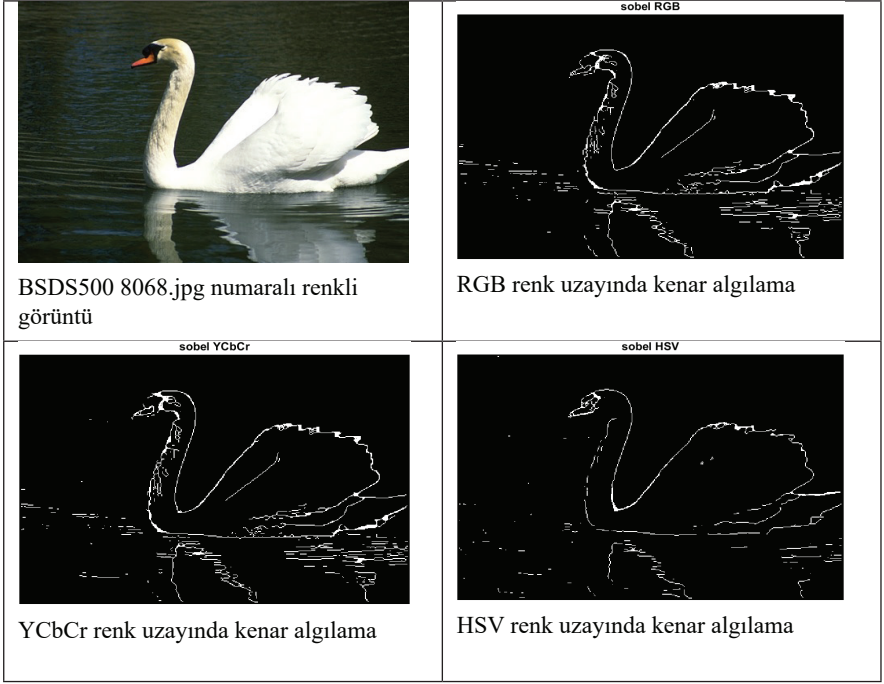
Adım 3: Elde edilen sonuçlar toplanır ve belirlenen eşik değerinin altında kalanlar 0 olarak işaretlenir, üstünde kalanlar ise kenar kabul edilir.

Şekil 4.' te renkli görüntülerde kenar bulma işlemi akış çizelgesi gösterilmiştir.

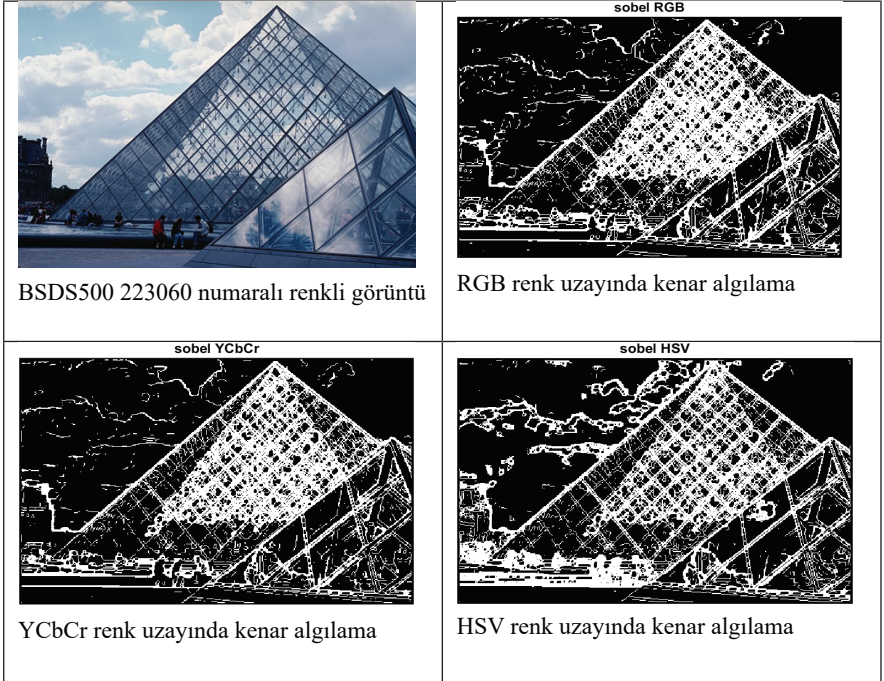


Şekil 4. Renkli görüntülerde kenar bulma işlemi akış çizelgesi

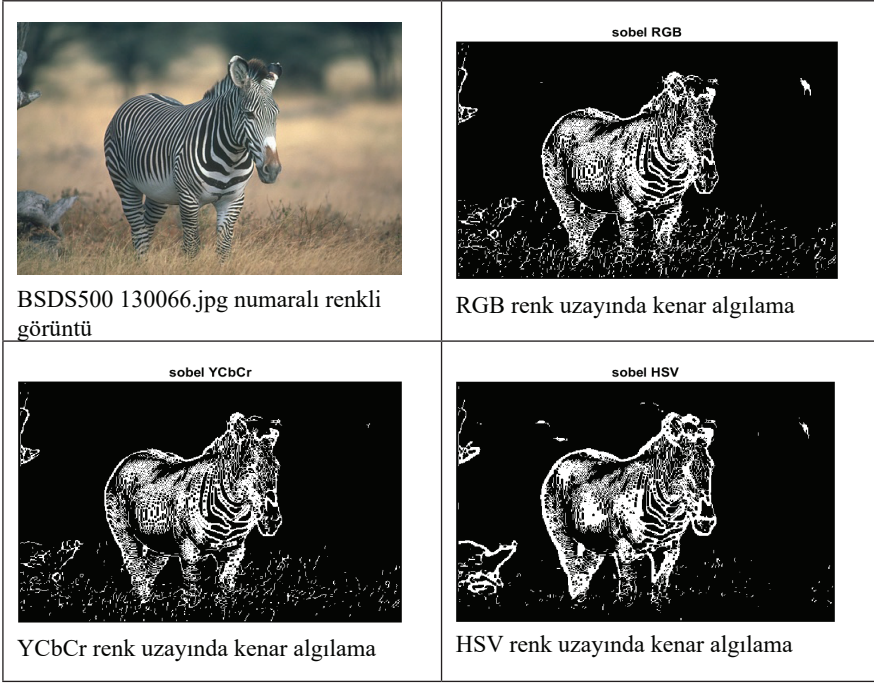
Şekil 5 - 8 de RGB, YCbCr ve HSV renk uzayında 5x5 Geliştirilmiş Sobel operatörü yatay ve dikey konvolüsyon matrisleri ile kenar bulma işleminin farklı resimler için sonuçları gösterilmektedir.



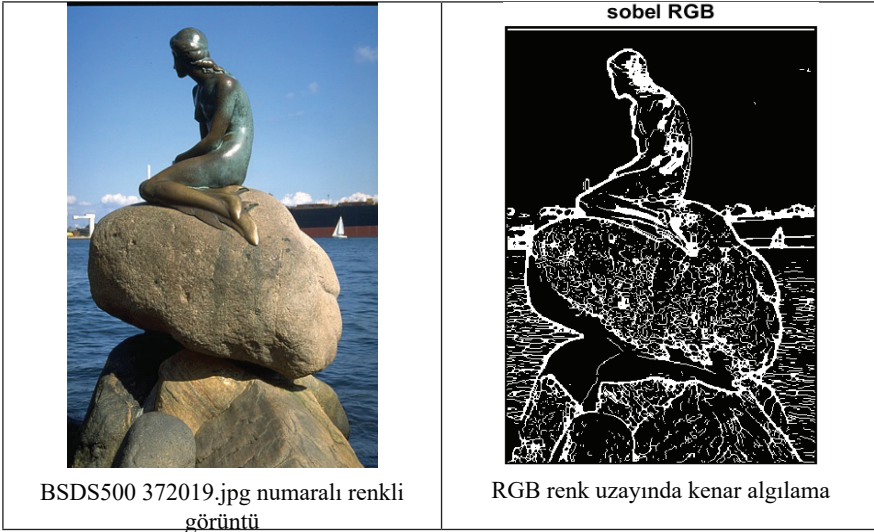
Şekil 5. RGB, YCbCr ve HSV renk uzayında Geliştirilmiş Sobel operatörü ile bulunan kenarlar

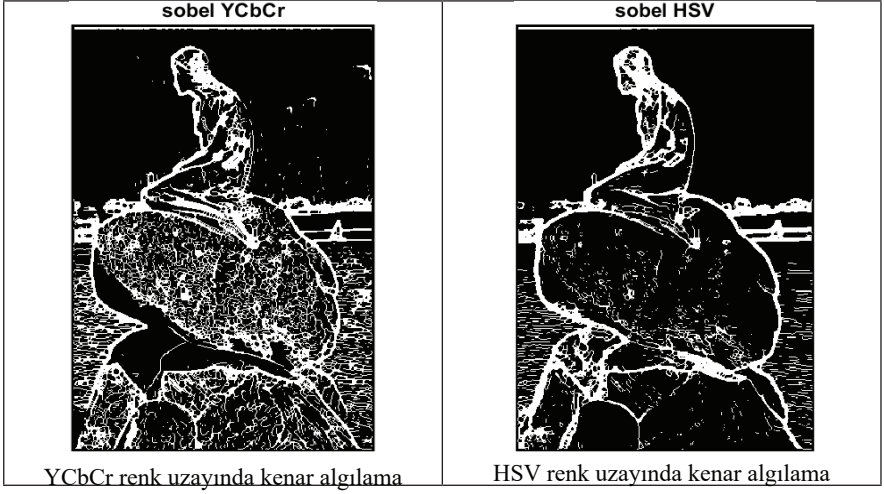


Şekil 5(devamı): RGB, YCbCr ve HSV renk uzayında Geliştirilmiş Sobel operatörü ile bulunan kenarlar

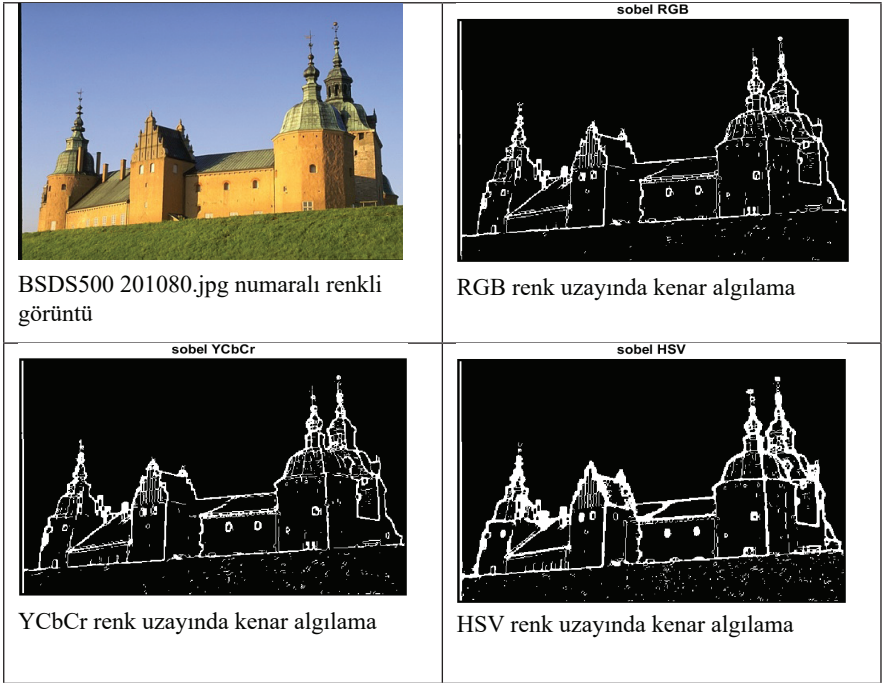


Şekil 5(devamı): RGB, YCbCr ve HSV renk uzayında Geliştirilmiş Sobel operatörü ile bulunan kenarlar



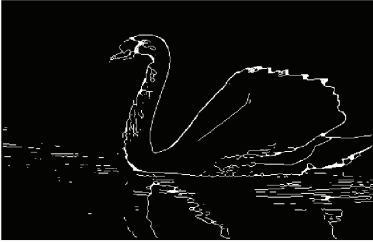
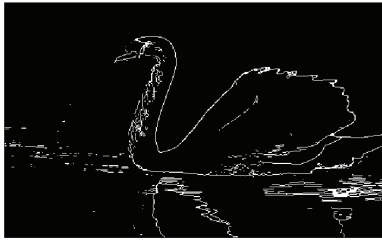
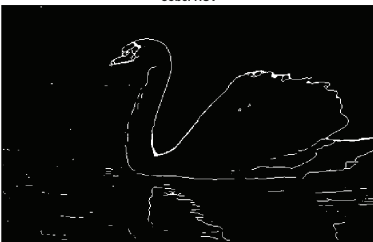
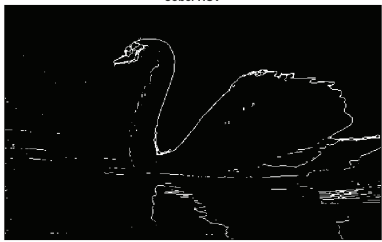


Şekil 5(devamı): RGB, YCbCr ve HSV renk uzayında Geliştirilmiş Sobel operatörü ile bulunan kenarlar



Şekil 5(devamı): RGB, YCbCr ve HSV renk uzayında Geliştirilmiş Sobel operatörü ile bulunan kenarlar

Şekil 6 da 5x5 Geliştirilmiş Sobel operatörü ile aynı yöntem (Şekil 4) kullanılarak BSDS500 8068.jpg numaralı renkli görüntü üzerinde 3x3 Sobel operatörünün elde ettiği sonuçlar gösterilmiştir.

5x5 Geliştirilmiş Sobel operatörü ile bulunan kenarlar	3x3 Sobel operatörü ile bulunan kenarlar
sobel RGB  RGB renk uzayı	sobel RGB  RGB renk uzayı
sobel YCbCr  YCbCr renk uzayı	sobel YCbCr  YCbCr renk uzayı
sobel HSV  HSV renk uzayı	sobel HSV  HSV renk uzayı

Şekil. 5x5 Geliştirilmiş Sobel operatörü ile 3x3 Sobel operatörünün bulduğu kenarlar

Elde edilen sonuçlarda 5x5 operatör kullanıldığında 3x3 operatörüne oranla kenar noktalarında daha az boşluk gözlenmektedir ve daha fazla kenar noktası bulunduğu görülmektedir.

BÖLÜM IV

SONUÇ

Bu çalışmada 5x5 geliştirilmiş Sobel operatörü ile farklı renk uzaylarında kenar bulma işlemi yapılmış ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Ayrıca 3x3 Sobel operatörünün farklı renk uzaylarında elde ettiği sonuçlarda listelenmiştir. Yapılan deney sonucunda 5x5 Geliştirilmiş Sobel operatörünün RGB ve YCbCr renk uzaylarında birbirine yakın sonuçlar verirken HSV renk uzayında ise RGB ve YCbCr renk uzayına kıyasla daha az kenar noktası bulabildiği görülmüştür. Ayrıca renkli görüntülerde 5x5 Geliştirilmiş Sobel operatörünün klasik 3x3 Sobel Operatörüne oranla çok daha fazla kenar noktası bulduğu görülmüştür.

İleriki çalışmalarda klasik kenar bulma yöntemlerinin geliştirilmiş versiyonları ile farklı renk uzaylarında kenar bulma işlemi gerçekleştirilebilir ve sonuçlar karşılaştırılarak analiz edilebilir.

KAYNAKÇA

- Anand, A., Tripathy, S. S., & Kumar, R. S. (2015). An improved edge detection using morphological Laplacian of Gaussian operator. *2015 2nd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)*, 10, s. 532-536. Noida, India.
- Bassiou, N., & Kotropoulos, C. (2007). Color image histogram equalization by absolute discounting back-off. *Elsevier Computer Vision and Image Understanding*(107), 108-122.
- Bassiou, N., & Kotropoulos, C. (2007). Color image histogram equalization by absolute discounting back-off. *Elsevier Computer Vision and Image Understanding*, s. 108 - 122.
- Bellaire, G., Talmi, K., Oezguer, E., & Koschan, A. (1998). Object Recognition: Obtaining 2-D Reconstructions From Color Edges. *IEEE SSIAI'98*. Tuscon, USA.
- Canny, J. (1986). A Computational Approach to Edge Detection. *Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-8*(6), 679-698.
- Chauhan, P., & Shahabade, R. V. (2013). Edge Detection Comparison on Various Color Spaces Using Histogram Equalization. *International Journal of Advanced Computational Engineering and Networking* (s. 7-10). içinde
- Dony, R. D., & Wesolkowski, S. (1999). Edge detection on color images using RGB vector angles. *IEEE Canadian Conferece on Electrical and Computer Engineering*, 2, 687-692.
- Duda, R. O., & Hart, P. E. (1973). Pattern Classification and Scene Analysis. *John Wiley and Sons*, s. 271-273.
- Dutta, S., & Chaudhuri, B. B. (2009). A color edge detection algorithm in RGB color space. *International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing*, s. 337-340.
- Evans, A. N., & Liu, X. U. (2006). A morphological gradient approach to color edge detection. *IS(6)*, 1454-1463.
- Healey, C. G., & Enns, T. J. (1996). A Perceptual Colour Segmentation Algorithm. *The Eurographics Association and Blackwell Publishing*. içinde
- ji, R. S. (2007). Comparison of color image edge detection methods. *Comparison of color image edge detection methods*.
- Kerke, H. B., & Gharage, S. M. (2010). Image Segmentation using Extended Edge Operator for Mammographic Images. *(IJCSE) International Journal on Computer Science and Engineering*, 2(4), 1086-1091.
- Koschan, A. (1995). A Comparative Study On Color Edge Detection. *Proc. 2nd Asian Conference on Computer Vision (ACCV'95)*, 574-578.
- Li, W. X., & Zhang, R. X. (2008). A perceptual color edge detection algorithm.

International Conference on Computer Science and Software Engineering, 1, 297-300.

- Martin, D., Fowlkes, C., Tal, D., & Malik, J. (2001). A database of human segmented natural images and its application to evaluating segmentation algorithms and measuring ecological statistics. *Proc. IEEE Computer Vision, International Conference on (ICCV01)*, (s. 416-423). Vancouver, BC.
- Noutsou, V. D., Argialas, D. P., & Michalis, P. N. (2007). Edge Detection Of Man-made Objects Using Wavelets In High Resolution Satellite Images. *ASPRS Annual Conference*, (s. 482-492). Florida.
- Novak, C. L., & Shafer, S. A. (1987). Color edge detection. *Proceedings DARPA Image Understanding Workshop, 1*, s. 35-37. Los Angeles, USA.
- Prewitt, J. (1970). Object Enhancemet and Extraxction. *Picture Processing and Psychopictorics*. içinde NewYork: Academic Pres.
- Sobel, I. (1990). An Isotropic 3x3 Gradient Operator. *Machine Vision for Three Dimensional Scenes*. içinde NewYork: Academic Pres.
- Sun, X. H., Zhang, H. Y., & Luo, U. F. (2009). Color edge detection based on HIS color space. *Optical Technique*, 35(11), 221-228.
- Zhang, J., Lian, Y., Dong, L., Zhao, X., & Liu, J. (2010). A new method of fuzzy edge detection based on Gauss function. *2010 The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)*, (s. 559-562). Singapore.

BÖLÜM 9

PERDELER ÖZELİNDE EV TEKSTİLLERİNİN AKUSTİK ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

*H. Merve Bulut¹
Merve Küçükali Öztürk²
Banu Uygun Nergis³
Cevza Candan⁴*

1 Arş. Gör. . İstanbul Teknik Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü.ORKID:
0000-0003-2232-6506

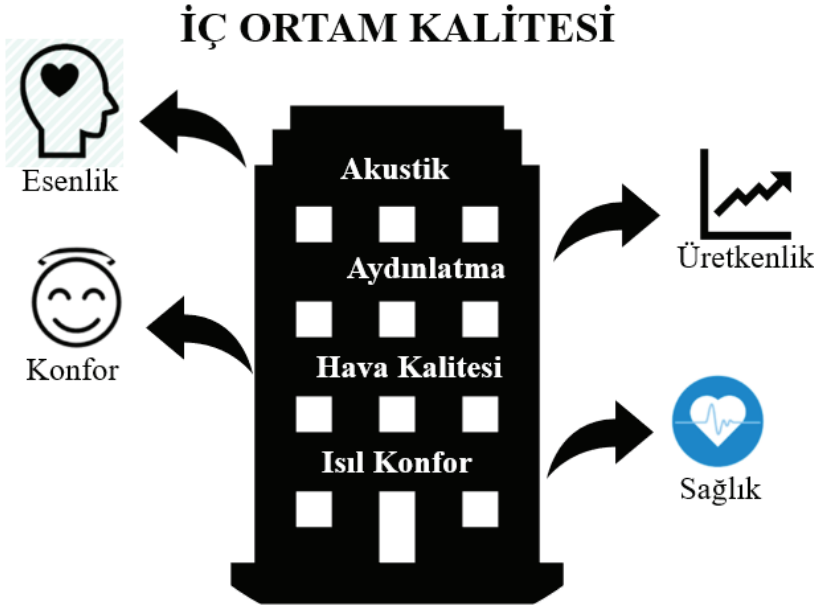
2 Dr. Öğr. Üyesi. İstanbul Bilgi Üniversitesi, Moda Tasarım Bölümü. ORKID:
0000-0002-2493-4532

3 Prof. Dr. . İstanbul Teknik Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü.ORKID:
0000-0001-6010-6497

4 Prof. Dr. . İstanbul Teknik Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü.ORKID :
0000-0003-2007-5758

1. Giriş

İç ortam kalitesi, bir yapı içerisindeki ortam şartları ve bu şartların yapmayı kullananlar veya oturanların sağlık, esenlik ve üretkenlikleri üzerindeki etkileri ile ilişkili bir kavramdır. Ortam koşullarını etkileyen sıcaklık, ses, hava kalitesi, aydınlatma, koku, içme suyu, elektromanyetik radyasyon ve ilişkili pek çok faktör beraberice iç ortam kalitesini oluşturmaktadır. Şekil 1’de iç ortam kalitesini etkileyen temel parametreler yer almaktadır (Angelova, 2016; Aydın ve Mihlayanlar, 2017; Noor vd., 2021; Priniotakis, Stachewicz and ve Hoof, 2022).



Şekil 1. İç Ortam Kalitesini Etkileyen Temel Parametreler

Akustik, iç ortam kalitesinin temel taşlarından birisidir. Ses, katı bir element kendisine yakın olan hava moleküllerine bir titreşim ilettiğinde ve bir basınç dalgası üretildiğinde ve hava partikülleri aracılığıyla iletilindiğinde üretilir. Oda/hacim akustiği, kapalı bir mekanda sesin nasıl yayıldığı ile ilgilenerek, kolay iletişim kurulabilmesi ile seslerin/konuşmaların anlaşılabilir olması üzerine odaklanırken, yapı akustiği duvar, kapı, zemin, vs. üzerinden mekanlar arası istenmeyen sesin yayılımı ile ilgili konuları kapsamaktadır. Kapalı mekânın hacmi ve geometrisi, ses kaynağı, havadan sesin yayılımı, iç mekân yüzeylerinin akustik özellikleri bir odanın akustik konforunu etkileyen önemli parametrelerdir (Mujeebu, 2019).

Uygun yüzeyleri bulunmayan bir odanın sahip olduğu zayıf akustik performansın konuşulanların anlaşılabilirliği ve seslerin ayırt edilebilirliği üzerindeki etkileri; -çınlama süresi, ses basıncı düzeyi, erken düşme süresi,

netlik ile ses iletim endeksi gibi parametrelerin tayin edilmesiyle mümkün olabilmektedir (López, Callens ve Cernak, 2021). Ses yutum performansı yüksek malzemelerin kullanılması akustik açıdan kaliteli bir mekânın sağlanması açısından önemli bir faktördür (Blaurock, Koeppe, Kloeckner ve Gries, 2019; Sala ve Rantala, 2019). İç ortam kalitesini iyileştirmek üzere tekstiller en çok akustik kontrol amacıyla kullanılmaktadır. Perdeler, duvar kaplamaları, koltuklar, halılar, vs. gibi ev tekstillerinin; ses yutumunu artıracak, bir sesin, kaynağın kapanmasından sonra 60 dB’lik bir düşüşü gösterdiği süre olan çınlama süresini azaltacak, yankılanmayı önleyecek şekilde tasarlanmaları mümkündür.

2. Ses Yutucu Malzeme Olarak Ev Tekstilleri

Gürültü, “istenmeyen, rahatsız edici ses” olarak tanımlandığı için, sağlığa zarar verecek düzeyde olmasa bile, rahatsız edici özelliğinden dolayı ortadan kaldırılması ya da azaltılmalıdır. Kişileri gürültüden korumak için alınabilecek önlemlerin tümüne gürültü kontrolü adı verilir (Küçükali, 2010). Gürültü kontrolü, konut, iş yeri, otomotiv sektörü ve endüstriyel bölgelerde özellikle önemli bir husus olup, televizyonlar, ev aletleri, komşular, sokaktan gelen trafik veya iş makinalarının sesleri konutlarda gürültüye sebep olan unsurlardır (Nayak ve Padhye, 2016). Gürültü kaynağının örtülmesiyle, bariyer kurarak, susturucularla, ses yutucu malzeme kullanarak gürültü kontrolü sağlanabilir (Küçükali, 2010). Tekstillerin akustik uygulamalarda önemli bir role sahip olduğu kabul edilmektedir, ayrıca mineral yünü, cam yünü, poliüretan köpük gibi akustik performansı yüksek ancak ekosistem ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olan akustik amaçlı kullanılan ticari malzemelerle kıyasla tekstil ürünleri çevre dostu ürünlerdir (Paul vd., 2021).

Ev tekstilleri, iç mekanlarda hem dekoratif olarak hem de fonksiyonel özellikleri nedeniyle kullanılır. Akustik amaçlarla kullanılan ev tekstilleri perde, halı, döşemelik, duvar kaplaması, astar olarak kullanılan nonwoven yüzeyler, kaplamalı kumaşlar, tekstil kompozitleri ve tekstil panelleri biçimlerinde olabilirler (Memon, Abro, Ahmed ve Khoso, 2015).

Akustik tekstillerin farklı uygulamaları için farklı kısıtlar ve gereksinimler mevcuttur ve bunlar, başka fonksiyonel özellikleri bulunan bir tekstilin akustik performansı iyileştirilmek istendiğinde daha da kritik hale gelmektedir. Örneğin, ışık geçirmez (blackout) perdelerin kolaylıkla katlanabilir veya rulo şeklinde sarılabilir olması beklenirken, gözenekli bir ses yutucu malzemenin hacimli olması beklenmektedir. Tablo 1’de, akustik özellikli bazı ev tekstillerinin sergilemeleri beklenen diğer özelliklere örnekler yer almaktadır (Blaurock vd., 2019).

Tablo 1. Akustik Amaçlarla Kullanılan Ev Tekstillerinden Beklenen Diğer Bazı Özellikler

	Halı	Perde	Mobilya/Koltuk	Lamba	Duvar Paneli
Alev İticilik	√	√	√	√	√
Aşınma Dayanımı	√		√		
Düşük Kalınlık		√			
Esneklik/Dökümlülük		√			
Geçirgenlik		√		√	
UV Dayanım	√	√			

Dış ortamdan gelen sesin kontrolü ve oda akustiğinin iyileştirilmesi için perdelerin kullanılması, nispeten daha düşük maliyet, hafiflik, esneklik ve kullanım kolaylığı gibi bazı avantajlar sunmaktadır. Perdelerin ses yutum performansları, mikro yapıları, sağladıkları hava akış direnci, gramaj ve yoğunluklarıyla beraber dökümlülükleri ve asıldıkları pencere ile aralarındaki mesafeye de bağlıdır (Pieren ve Heutschi, 2015). Bazı durumlarda asıldıklarında her iki yanda kalan açıklık perdelerin ses yutucu malzemeler olarak kullanılmaları önünde bir kısıt olarak görünse de, kanca, kordon, vs benzeri malzemelerin kullanımıyla bu problem giderilebilmektedir (Nayak ve Padhye, 2016).

3. Ses Yutucu Malzeme Olarak Tekstil Perdeleri

Ses yutumu için kullanılan tekstil tabanlı olmayan malzemelerin büyük çoğunluğu sesi yutmaktan ziyade çevreye yansıtmakta, bu da gürültü kirliliğine sebep olmaktadır. Bu malzemelerin bir diğer dezavantajları da ağır ve pahalı olmalarıdır. Bu sebepten uygulamaları da etkin bir biçimde yapılamamaktadır. Kumaş perdeler veya paneller gözenekli yapıları sayesinde yansıyan gürültüyü büyük ölçüde yutarak ya da azaltarak hem etkin bir ses yutumu sağlamaktadır hem de fiyat-performans açısından hafif, ucuz ve daha çevre dostu bir alternatiftir. Geleneksel bir tekstil ürünü olan kumaş perdeler özellikle yaşam alanlarında panellere kıyasla estetik ve fiyat açılarından daha tercih edilebilecek bir alternatiftir. Son yıllarda gürültü kontrolünde tekstil tabanlı malzemelerin uygulanması arttıkça, akustik malzemelerin etkin tasarımı için tekstil bilgisi esas olmuştur. Tekstil perdelerinin ses yutumuna etkisi perdenin kumaş yapısı ve perde tasarımı olarak iki ayrı başlıkta incelenebilir (Singh ve Mukhopadhyay, 2016).

3.1 Perde Yapıları

Akustik tekstil malzemeleri üretiminde farklı yöntemler kullanılmakta olup, bu yöntemlere dair temel bir karşılaştırma Tablo 2’de verilmiştir (Singh ve Mukhopadhyay, 2016).

Tablo 2. Bazı Tekstil Yapılarının Akustik Uygulamalardaki Avantaj ve Dezavantajları

Üretim Yöntemi	Avantaj	Dezavantaj
Dokuma	En basit üretim yöntemi. Diğer işlemlerden daha ucuz.	Ses yalıtımını etkileyen faktörleri optimize edebilecek daha sınırlı modifikasyon alanı. Sınırlı kumaş kalınlığı.
Dokunmamış Yüzey	Gözenek sayısı ve boyutu kolayca modifiye edilebilir. Farklı lifler aynı anda işlenebilir.	Sınırlı kumaş kalınlığı. Sadece düzlemsel ürün üretilmesi.
Polimer Kompozitler	Hammadde olarak tekstil atıklarından faydalanılabilir. Farklı kombinasyonlarla farklı ürünler elde edilebilir. Şekil verilebilirliği kolaydır.	Malzeme gözenekliliğini düşürür. Kumaş yapıların sahip olduğu esnekliğe sahip değildir.
Örme	Üretim parametreleri modifiye edilebilir. Düzlemsel olmayan sade ürünlerin üretimi için uygundur.	Boşluklu örme metodu kumaş esnekliğini azaltır. Boyutsal stabilitesi düşüktür.
Hibrit Yapılar	Hem yüksek hem düşük frekansta ses yutumuna uygundur. Kullanım alanına göre yüksek seviyede modifiye edilebilir.	Ses yalıtımının verimliliği bileşenlerin ayrı özelliklerine ve yerleşim sırasına bağlıdır.

Nonwoven yüzeyler veya keçeler ile kıyaslandığında kalınlıklarının daha az olması nedeniyle dokuma kumaşlar daha düşük ses yutum performansı sergilemektedir (Tang, Zhang, Zhuang, Zhang ve Yan, 2018). Ancak, sağladıkları yapısal tasarım esnekliği ve boyutsal olarak kararlı davranışları nedeniyle ev ve otomotiv tekstilinde kullanımları yaygınlık kazanmıştır. Özellikle ev tekstili uygulamalarında çok yönlü performans beklentileri gün geçtikçe artmaktadır. Örneğin, bir perdeden sadece gelen ışığı keserek gölge oluşturması değil, aynı zamanda güç tutuşur, antimikrobiyel ve ses yutucu etkiler göstermesi de beklenmektedir.

Akustik gereksinimler göz önünde bulundurulduğunda, uzun bir süre boyunca yalnızca kadife perdelerin yeterli ses yutumu sağladıkları için kullanıldıkları görülmektedir. Zira, yumuşak ve kalın bir yapıya sahip kadife veya kadife benzeri dokunmuş kumaşların yutum sağlayarak gürültüyü azaltma performansları yüksektir. Son zamanlarda ise, iyi ses yutum özelliği sergileyen yeni, hafif ve hatta yarı saydam tekstil perdeleri de geliştirilmiştir.

Dokuma kumaş yapısındaki perdelerin mikro-yapısını oluşturan ve akustik performansını etkileyen yapısal faktörler olarak;

- Kullanılan lif ve ipliklerin yapısal özellikleri,
- Kumaş konstrüksiyonu,
- Kumaş yoğunluğu,
- Kumaşın kalınlığı,
- Katman sayısı,
- Kumaşın bitim işleri gibi çeşitli parametreler sıralanabilir (Haikonen, 2016).

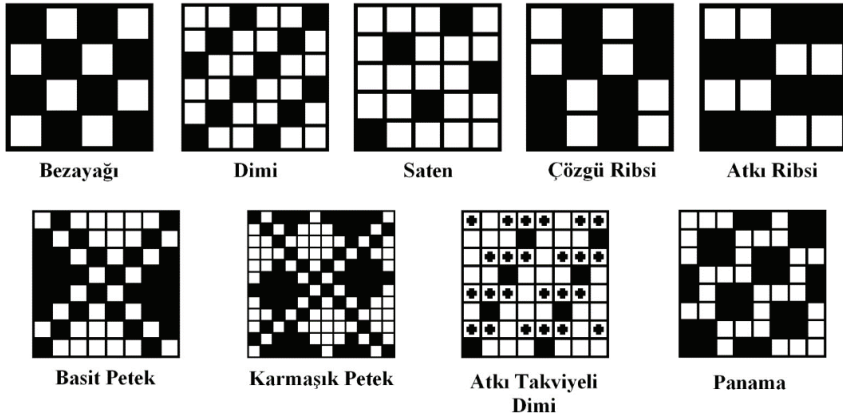
Sıralanan parametreler, kumaşın örtme faktörü ve yüzey alanını oluşturarak ses yutum performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Kumaşın, sesin kolaylıkla geçip gitmesine imkan verecek açıklıkta bir yapısı olmaması gereksinimi yanı sıra, sesin yüzeyden yansımaya sebep olacak biçimde sıkı bir yapıya da sahip olmaması önemlidir. Üç boyutlu kumaş yapılarının oluşturduğu geniş yüzey alanı, kumaşın yutum sağladığı yüzey alanı artışı anlamına gelmekte olup önemli bir husustur.

Perde üretiminde kullanılacak lif tipi seçilirken lif boyutu, geometrisi, fiziksel özellikleri, mekanik özellikleri ve dayanıklılığı gibi parametreler göz önünde bulundurulur (Nayak ve Padhye, 2016). Perdelik kumaşlar genellikle polyester veya daha sıklıkla pamuk/polyester karışımı ipliklerle dokunan kumaşlardır. Bunların yanı sıra keten, ipek, asetat ve naylon lifleri ile hem doğal hem de geri dönüştürülmüş sentetik liflerden sıklıkla yararlanılmaktadır. Tüketici kullanımı sonrasında ya da üretimden toplanmış tekstil atıkları, maliyet avantajları ve iyi seviyedeki akustik özellikleri sayesinde akustik uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir (Patnaik, 2016).

Saf ve melez koyunlardan elde edilmiş yün liflerinin ses yutum potansiyellerinin incelendiği bir çalışmada, farklı koyun cinslerinin melezlenmesinden elde edilmiş yün liflerinden kısa olanları atık elyaf olarak toplanmış ve kısa yün elyafı içerikli iplik üretilerek dokuma kumaş yapısında atkı ipliği olarak kullanılmıştır. Kumaşların ses yutum ve ısı yalıtım özelliklerinin incelendiği çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, melezleme sonucunda elyaf incelmekte ve buna bağlı olarak kumaşların ses yutum davranışı olumlu yönde etkilenmekte, daha kalın liflerden yapılan kumaşlar ise daha iyi ısı yalıtım performansı sergilemektedir. Bu sonuçlar, atık yün elyafı ile üretilmiş dokuma kumaşların halihazırda kullanılan cam elyafı ya da mineral yünleri gibi sentetik temelli akustik malzemeler ile karşılaştırılabilir akustik ve termal özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. Çevre dostu bir yalıtım malzemesi olarak atık yünün, ekolojik, ekonomik, biyolojik olarak parçalanabilir ve kolay ulaşılabilir olma avantajıyla ticarileşebilirliği vurgulanmıştır (Ghermezgoli vd., 2021).

İplik yapısı açısından bakıldığında, rotor iplikleri gibi hacimli yapıya sahip iplikler kullanıldığında, benzer numarada ring veya kompakt ipliklerin kullanıldığı kumaşlardan daha iyi ses yutum performansı sergilediği görülmektedir (Soltani ve Zerrebini, M. 2012).

Kumaş yapısı kumaşın mekanik özelliklerini etkileyen en önemli parametrelerdendir. Gözenekli akustik malzemelerde ses, gözenekler içinde hareket ederken gözenekler arasında dağılır ve ses dalgaları ile gözenek duvarları arasındaki sürtünmeden dolayı ısı enerjisine dönüşür (Tao, Ren, Zhang ve Peijs, 2021). Kumaş örgüsü değiştikçe kumaş gözenekliliği de değişeceğinden ses ile etkileşimi de farklı olacaktır. Aynı zamanda aşınma direnci, hava geçirgenliği, ses yutumu gibi pek çok özellik de kumaşın iç yapısına göre değişkenlik gösterir. Şekil 2’de yer almakta olan temel ve türetilmiş dokuma yapıların akustik özellikleri üzerine yapılmış çalışmalar perde tasarımı açısından yol gösterici niteliktedir.



Şekil 2. Bazı Temel ve Türetilmiş Dokuma Kumaş Yapıları.

Temel örgülerin ses yutum performansına etkisini belirlemek üzere yapılmış bir çalışmada, çözgü ve atkı iplik tipleri ile sıklıkları değiştirilmeksizin bez ayağı, 2/1 dimi, 3/1 dimi, 2/2 dimi, ribs ve saten yapılarında kumaşlar üretilerek ses yutum performansları açısından karşılaştırılmıştır. Diğerlerine kıyasla kumaş yapısında en çok iplik kesişme noktası bulunması ve buna bağlı olarak yüksek kıvrıma sahip olacak şekilde ipliklerin yapıda yer alması nedeniyle bez ayağı numunelerin en iyi ses yutum özelliği sergilediği görülmüştür (Soltani ve Zerrebini, M. 2012).

Çözgü sıklıkları değiştirilmeksizin üretilen bez ayağı, dimi ve petek yapılarına sahip kumaşların ses yutum özelliklerini belirlemek üzere empedans tüpü ile yapılan ölçümler neticesinde Li (2020) ve ark. ses yutum performanslarının farklı yapılarıdaki kumaşların gözenek özelliklerine bağlı olarak değiştiğini ifade etmişlerdir. Gözeneklilik oranı, gözenek şekli ve büyüklüğü kumaşların gözenek karakteristikleri oluşturmakta olup, örgüye bağlı ola-

rak farklı atlama uzunluklarına sahip dokuma tiplerinde aynı iplik kullanılsa dahi bu karakteristikler farklılık gösterebilmektedir. Farklı dokuma kumaşlarının ses yutum performansları değerlendirilirken gözenek özelliklerinin konstrüksiyondan ne şekilde etkilendiğinin dikkate alınması önerilmiştir (Li vd, 2020).

Boşluklu polyester iplikler ile dokunmuş 6x6, 8x8, 12x12 basit petek deseni ile 12x12 karmaşık petek desenli kumaşların akustik özellikleri incelenerek 2x2 bezayağı referans numunesiyle karşılaştırıldığında, petek örgüye sahip kumaşların her iki yüzlerinde de düzgünlük, pürüzlü bir yüzeye sahip olmaları ses yutum performanslarına olumlu biçimde yansımıştır. Ayrıca, desen tekrarı, çözgü sıklığı, kumaş kalınlık ve yoğunluğu, ortalama gözenek çapı ve gözeneklilik oranı gibi ses yutumu üzerinde etkili olan parametreler dikkate alındığında, atkı-çözgü sıklıkları benzer basit petek desene sahip numunelerde;

- Düşük petek deseni tekrar sayısı,
- Birim petek alanının ufak olması,
- Gözeneklilik ve ortalama gözenek çapının düşük olması,
- Yüksek kumaş yoğunluğu, ses yutumunu iyileştirmektedir.

Öte yandan, desen tekrar sayısı değiştirilmeden çözgü sıklığı artırılan numunelerin ses yutumlarının arttığı görülmüştür (X. Liu vd., 2021).

Farklı tür örgülerle üretilmiş 10 farklı dokuma kumaşın ses iletim kayıpları tayin edilerek örgü yapısının kumaşın akustik özelliklerine olan etkisinin incelendiği bir çalışmanın sonucunda petek desenli kumaşlar temel örgüler ile kıyaslandığında ses yutumu açısından daha düşük bir performans sergilemiştir (Barburski, Blaszcak ve Pawliczak, 2019). Bunun sebebi santimere başına düşen iplik miktarının azalmasıyla birlikte kumaş yoğunluğunun da azalmasıdır. Daha sıkı kumaş yapılarında kumaşın ses yutum özellikleri daha iyidir. Çalışmanın sonucunda saten, çift katlı ve atkı ipliği takviyeli kumaşlar en iyi ses yutumuna sahip yapılar olarak öne çıkmıştır.

Fitilli kadife kumaşların iç dekorasyon amaçlı yaygın olarak kullanıldığı dikkate alınarak yürütülen bir çalışmada, hava geçirgenliği ve hava akış direnci ile ilişkilendirilerek benzer kumaş yoğunluğu, farklı fitil genişliklerine sahip beş fitilli kadife numunenin ses yutum özellikleri incelenmiştir (Tang, Zhang, Zhuang, Zhang ve Yan, 2018). Buna göre, fitil genişliği daha fazla olan kumaşların diğerlerine göre daha yüksek hava geçirgenliği, daha düşük hava akış direnci ve daha iyi ses yutumuna sahip oldukları tespit edilmiştir.

Ticari ürünler üzerinden perdelerin akustik performanslarını incelemek üzere 0,89 mm kalınlık ve 1,135 kg/m² yoğunluğa sahip PVC kaplı polyester ve 1,012 mm kalınlık ile 1,216 kg/m² yoğunluklu %100 PVC perde numune-

lerinin empedans tüpü ile gerçekleştirilen ses iletim kaybı ölçümleri neticesinde, %100 PVC perde numunelerinin düzgün, geçirgen olmayan yüzeylerinden ses dalgalarının kolaylıkla yansması nedeniyle kaplı numunelerden bir miktar daha yüksek ses iletim kaybı değerleri sergilediği sonucuna ulaşılmıştır. Polyester kumaş üzerine PVC kaplamanın yapıldığı numunelerde ise PVC kaplamanın viskoelastik özelliğine bağlı olarak titreşimleri söndürdüğü ve ses iletimini azalttığı görülmektedir. Daha büyük numunelerin test edildiği çınlama odası ölçümlerine göre ise her iki numune ses iletim kaybı (dB) açısından benzer performans sergilemiştir. PVC numunelerin daha ağır, daha düşük elastikiyetli ve katlanmalarının zor olması nedeniyle konvansiyonel perdelerin yerine kullanılmalarının zor olabileceği değerlendirilmiştir (Kumar, Aow, Dexuan, Lee, 2021). %95 polipropilen ve %5 polyester içerikli (0,57 mm, 0,224 kg/m²) konvansiyonel perdeler kumaş bir kumaşın iki yüzeyi arasına %PVC ve PVC kaplı perdelerin yerleştirilmesi neticesinde oluşan katmanlı yapı ses iletim kayıplarını artırmıştır.

İç ortama ışığın girişini engelleyen “blackout” veya “blind” perde olarak da adlandırılan ışık geçirmez perdelerin ses yutumu da sağlayarak iç ortam kalitesini iyileştirmesi beklenmektedir. Bu tip perdelerin akustik anlamda performansını değerlendirmek üzere gramajları 109, 171, 140 g/m² olan bezayağı ve gramajı 154 g/m² olan 2/2 Panama yapıda polyester kumaşların arka yüzeyleri farklı oranlarda akrilik içeren (%34,4, %40, %60) reçine ile kaplanmıştır (Demiryürek, Aydemir, 2017). Ses yutum performanslarını tayin etmek üzere perde numunelerinin hem ön yüzleri hem de reçine kaplı olan arka yüzleri ses kaynağının karşısına gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Böylelikle, perdelerin iç ve dış ortam seslerini yutumu açısından değerlendirilebilmeleri mümkün olmuştur. Perdelerin kaplı yüzeylerinden elde edilen sonuçlar;

%34,4-%40 oranlarındaki akrilik reçine kaplı kumaşların en iyi ses yutum performansı sergilediğini, özellikle %40 oran ile kaplanmış numunelerin viyol benzeri yüzey oluşturmaları nedeniyle ışık geçirmez perde üretiminde önerilebilecek bir üretim parametresi olduğunu,

Nispeten daha gevşek ve düşük gramaja sahip perdelerin kaplandığı reçine içerisindeki akrilik oranı artış etkisinin diğerlerine göre daha fazla olduğunu göstermiştir.

İç mekana bakan ön yüzlerin ses kaynağını karşıladığı şekilde yerleştirilmiş numunelerden elde edilen ses yutum ölçümleri ise, arka yüzlerden elde edilenlerden daha düşük çıkmıştır.

3.2 Perde Tasarımı, Dökümlülüğü ve Katlama Geometrisi

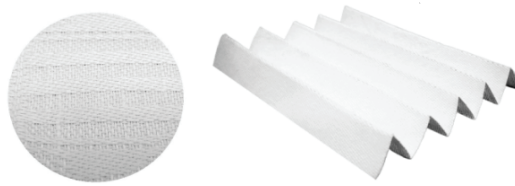
Perde ve duvar kâğıdı gibi dekoratif tekstil ürünlerinden sadece estetik kaygı değil, aynı zamanda dış gürültü rahatsızlığını azaltmak için iyi bir ses

yutum ve ses yalıtımı performansı beklenmektedir. Bu sebeple, perdenin tasarımı, katlanması, pileli gibi özellikleri performansı açısından da önem arz etmektedir. Perdelik bir kumaşın katlanması ve katlanma geometrisi sadece estetik görünümü etkilemekle kalmaz, aynı zamanda toplam ses yutum yüzeyini ve hacimsel yoğunluğu da doğrudan etkiler.

Perdelik kumaş iç mekân uygulamasındaki farklılıklar ses yutum performansını etkilemektedir. Perdelik kumaş arkasında hava boşluğu bırakılmasının ses yutum özelliği üzerine olumlu etkisi gözlenmiştir. Ancak ses dalga boyunun dörtte biri kadar hava boşluğu optimum mesafe seviyesi olarak tanımlanabilir (Haikonen, P. 2016). Farklı tekstil yapılarının akustik özelliklerinin kıyaslandığı bir çalışmada da yine aynı şekilde ses yalıtımı için arkasındaki hava boşluğu ile birlikte bir perde sistemi kullanıldığı durumda maksimum ses yutumunun kumaşın duvara olan mesafesinin ses dalga boyunun dörtte biri olduğu frekansta gerçekleştiği belirtilmiştir. Mesafe arttıkça, yutumun maksimum olduğu frekans azalır (Segura Alcaraz vd., 2021).

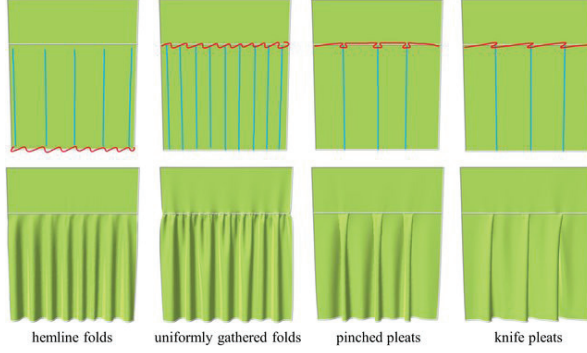
Kumaşı iç mekânda uygularken, arkalarında bırakılan hava boşluğu yanı sıra, kumaşın dökümlülüğü ve oda içerisindeki yerleşimi de akustik özelliği etkileyen diğer faktörlerdir (Haikonen, 2016). Perdenin oda içerisindeki yerleşiminin akustik özellik üzerine etkisini inceleyen bir çalışmada, perdelerin köşe noktalara yakın yerlere yerleşiminin ses yutum özelliği üzerine olumlu etkisi olduğu görülmüştür (Seddeq, 2009).

Bir kumaşın ses yutum performansını etkileyen özellikler arasında kumaşın hava akış direnci, duvara olan mesafesi ve perdeye dolgunluk kazandıran pileler gösterilebilir. Pile, bir kumaşı asmak için kullanılan ekstra kumaş miktarını tanımlayan terim olup, büzgü olarak da ifade edilebilmektedir (Adams, 2016). Pilesiz, düz formda dikilerek düz yerleştirilmiş bir perde 0% dolgunluk oranına sahip olarak ifade edilirken, asılı haldeki genişliğinin iki katı kadar kumaşa sahip olan perdeler %100, üç katına sahip olan perdeler %200 dolgunluk oranına sahiptir. Düz ve dolgunluk kazandırmak üzere katlanmış kumaş örnekleri Şekil 3'te görülebilir (Atiénzar-Navarro, Picó ve Rey, 2021).



Şekil 3. Düz ve Katlanmış (Pile-Büzgü Kazandırılmış) Perde Örnekleri.

Perdelik kumaşa pile, perde duvara asılırken toplanarak ya da dalgalandırılarak ya da dikiş sırasında çeşitli plise ya da büzgü teknikleri kullanılarak verilebilir. Sıkça karşılaşılan bazı temel kumaş katlama geometrileri Şekil 4'te görülebilir (Li, Sheffer, Grinspun ve Vining, 2018).



Şekil 4. Perde Katlama Geometrisi (Büzgü Oluşturma) Örnekleri.

Perdelik bir kumaşa pile verilmesi sadece kumaşın estetik görünümünü etkilemekle kalmaz, aynı zamanda perdenin dolgunluğunu değiştireceğinden sahip olduğu toplam ses yutumu yüzeyini ve hacimsel yoğunluğunu da doğrudan etkiler. Genellikle perdelik kumaştaki pile miktarının artmasıyla birlikte kıvrımlar derinleşir ve kıvrımların derinleşmesi kumaşın ses yutumu performansını iyileştirmektedir. Kumaş kıvrımlandıkça perdenin farklı bölümlerinin arka duvar ile olan mesafesindeki dalgalandırma daha yüksek olacağından ses yutumu da iyileşecektir.

Çift pileli perdeler düz perdelerle kıyasla daha iyi ses yutumu katsayısı sergilemektedir (Sinclair, 2014). %60 pamuk ve %40 ketenden üretilmiş bezayağı bir kumaşın büzgü miktarı, büzgü oluşturma geometrisi ve kumaş uzunluğu gibi geometrik tasarım parametrelerinin ses yutumu özellikleri üzerindeki etkisinin incelendiği bir araştırmanın sonuçlarına göre, kumaşa büzgü kazandırıldığında ses yutumunun iyileştiği görülmüştür. Aynı zamanda büzgü sayısı azaldıkça ve büzgü derinliği arttıkça ses yutumunun arttığı, fakat büzgüler arası mesafenin ses iletimine kayda değer bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Dağınık alan koşullarında, ses dalgaları büzgülü kumaştaki birçok kez geçtiği ve etki arttığı için eğik gelen dalgalar daha yüksek kayıplara maruz kalabilmektedir (Atiénzar-Navarro, Picó, vd., 2021).

Çok katmanlı perdelik kumaş yapılarında katman sayısı, katmanların birleşimi, kumaşların yerleşimi ve aralarındaki boşluk miktarı da önemli parametreler olup, kullanılan kumaş katman sayısı arttıkça ses yutumu performansı iyileşmektedir. Çok katmanlı dokuma kumaşlarda istif yapısının ve katmanlar arası tafting işleminin ses yalıtım performanslarının araştırıldığı bir çalışmada katman sayısı, katmanların yerleştirilme oryantasyonları, taft

yoğunluğu gibi değişkenler incelenmiştir. Diğer çalışmalarla benzer bir sonuç olarak dokuma kumaşların düşük ve orta frekanslarda iyi performans gösterdiği ve katman sayısı arttıkça kumaşın ses yutumunun arttığı görülmüştür. Bunun haricinde katmanların yerleşim yönü ne kadar birbirine paralel olacak şekilde düzenlenirse ses yalıtımının o kadar iyileştiği görülmüştür. Paralel yönelimli bir yerleştirme, her katmandaki mekanik titreşimin aynı yönde olmasına ve bu etkinin sonucu olarak ses enerjisinin katmanlar arasında yutulmasına yol açmaktadır. Tafting yoğunluğu arttıkça katman kalınlığı boyunca uzayan ipliklerin bir köprü vazifesi görerek ses dalgalarını ilettiği ve ses yutumunun düştüğü saptanmıştır. Ancak bağlama noktaları arttırıldıkça kumaş ağırlığının artmasıyla beraber ses yutumunun yeniden iyileştiği görülmüştür (H. Shen vd., 2020). Bir diğer çalışma çok katmanlı ince dokuma kumaşların akış dirençlerinin değişimi durumundaki ses yutum özellikleri, çift katmanlı bir sistem göz önünde bulundurularak incelemiştir. Farklı akış direncine sahip katmanlarda katman sırasının ses geçirgenliğini etkilediği ve optimal sonucun hava akış direnci daha düşük olan katmanın öne koyulması durumunda elde edildiği saptanmıştır (Prasetiyo vd., 2020). Açık tasarımlı ofislerde masalar arası ses iletimini önlemek adına bir perde sistemi tasarımı üzerine yapılmış bir diğer çalışmada ise çok katmanlı tasarımların tek katmanlı bir kumaş perdeye kıyasla daha iyi sonuç verdiği ve katman sayısı arttıkça ses yalıtımının da arttığı görülmüştür (Schira, 2017). Çift katlı perdelerde katmanlar arası hava boşluğunun perdenin ses yutum performansına etkisinin incelendiği bir çalışmada iki katman, optimum etkinlikte bir yapı elde etmek için bir hava boşluğu ile ayrılmıştır. Perde katmanlarının arkasındaki hava boşluğunun ses yutum katsayısı üzerindeki etkisi, belirli bir uygulama için en iyi konstrüksiyonu elde etmek amacıyla incelenmiştir. Sonuçlar, hava boşluğunun ses yutum performansı üzerinde olumlu etkisi olduğunu göstermiştir (Hanna, Y. I., & Kandil, M. M. 1991).

Perde ile duvar arasındaki mesafenin ses yutumuna etkisi incelendiğinde varılan genel sonuç, tekstil malzemesi ile duvar arasındaki boşluğun, düşük frekansta ses yutumu değerini arttırdığı yönündedir. Rijit yapılı duvarlara yakın ses dalgasının parçacık hızı genellikle sıfırdır, bu nedenle perdeyi duvardan daha uzağa yerleştirmek, ses dalgasının sahip olduğu yüksek parçacık hızı nedeniyle kumaş tarafından daha fazla yutulmasını sağlar (Qiu, 2016). Rijit duvar önüne yerleştirilmiş düz ve katlanmış perde akustik özellikleri karşılaştırıldığında; katlanmış perde kullanımıyla maksimum ses yutum katsayısı sağlanan frekansın daha düşük frekans değerlerine çekildiği görülmektedir. Serbest asılı düz ve katlanmış perde akustik özellikleri incelendiğinde de katlanmış perdenin her frekans aralığında çok daha iyi ses yutum performansı sergilediği sonucuna varılmıştır. Bu sonuç, perde dolgunluğunun ses yutum performansı üzerindeki olumlu etkisini ispat etmiştir. Çalışma genelinde, perdenin arada hava boşluğu bırakacak şekilde rijit duvar

önüne yerleştirilmesinin perdenin ses yutum özelliğine olumlu etki yarattığı görülmüştür. Hava boşluğu mesafesinin 10 cm'den 15 cm'e çıkarılması ise; özellikle düşük frekans değerlerinde ses yutum performansını iyileştirmiştir. Perde ile rijit duvar arasındaki mesafe artışı etkisi; malzeme kalınlık artışında oluşan etki gibi olmuştur (Pieren, R., Schäffer, B., Schoenwald, S., & Eggenschwiler, K. 2018). Perdelerin duvarla arasına belirli bir mesafe bırakılarak asılı olmasının perde akustik performansı üzerine etkisinin incelendiği bir diğer çalışmada, mesafenin özellikle düşük frekans değerlerinde perde ses yutum katsayısı üzerinde olumlu etki yarattığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, katlanmış perdelerin ses yutum performansının düz asılı perdelerle kıyasla daha iyi olduğu gözlenmiştir (Heylighen, A., Rychtáriková, M., & Vermeir, G. 2010).

Kalınlıkları 0,02 ile 0,10 cm, yoğunlukları 95 ile 300 g/m² arasında değişen 100% polyester kumaştan üretilmiş perdeler kullanılmıştır. Perdelerin duvar ile arasındaki mesafe üç farklı deneyde 8,5 cm, 14,5 cm ve 20,5 cm olarak ayarlanmıştır. Aynı şekilde kumaş drapesi de 0%, 100%, 150% ve 200% olarak farklı numuneler denenmiştir. %100 perde dolgunluğu ile tüm mesafelerde verimli bir ses yutumu artışı sağlanabileceği sonucuna varılmıştır, ancak kumaş drapesi daha yüksek değerlere çıkarıldığında anlamlı bir sonuca varılamamış, her kumaş birbirinden farklı davranışlar sergilemiştir (del Rey, Alba, Blanes ve Marco, 2013). Bu durum 100 kPa/m²'lik akış özdirinci eşiğinin aşılmasıyla birlikte belirli bir kalınlık ve yoğunluk aralığındaki duvardan uzakta konumlandırılmış kumaşların duvar ile bitişik kumaşlara benzer davranış sergilemeye başlaması olarak gösterilebilir. Perde duvardan uzaklaştırıldıkça, daha düşük frekanslarda ses emiliminin de artmasıyla birlikte daha gözle görülür değişimler incelenebilir.

Sınıf ortamlarında sesin yankılanmasını kontrol edebilmek adına farklı akustik metodların karşılaştırıldığı bir çalışmada, aynı boyutlara sahip odalara yerleştirilmiş iki farklı tip kumaş perde değerlendirilmiştir. İlk perde %60 polyester ve %40 pamuktan, ikinci perde ise bezayağı pamuklu dokuma kumaştır. İki kumaş da pencere uzunluğunun iki katı kadar kumaş uzunluğuna sahiptir, yani katlama miktarı yüksektir, ayrıca ikinci perde uzunluğu ilk perdeye göre daha uzun bırakılmış, süpürgeliğe kadar uzatılmıştır. Sonuçlara göre herhangi bir yalıtım uygulaması olmayan bir odada 4,37 saniye olan ses yansıma süresini pamuk polyester karışimli kumaşın 3,11 saniyeye, bezayağı pamuklu kumaşın ise 2,49 saniyeye düşürdüğü gözlemlenmiştir (Abraham ve Ravishankar, 2021).

4. Ticari Ürün Örnekleri

Türkiye pazarında faaliyet gösteren firmalar, genellikle ses yalıtımına ihtiyaç duyulan mekânlarda tercih edilen **akustik perde** modellerinin kumaşlarını Belçika, Almanya ve Fransa gibi ülkelerden ithal etmektedirler.

Sesin yaklaşık %45'ini yutma özelliği gösteren kumaş seçenekleri ve uygulamalara sahip olan seriler olduğu için pek çok kişinin ihtiyacına en uygun profesyonel çözümler geliştirilebilmektedir. Bu tip ürünler 2-7 katmanlı olarak imal edilebilmektedirler ve ses yalıtımı veya ses yutumu şeklinde tasarlanmaktadır (İmaj Perde, 2016; HOFA-Akustik, 2022) Showtex, uluslararası pazarda faaliyet gösteren firmalar arasında yer almaktadır. Üç veya dört katmanlı olarak tasarladığı akustik perdeleri tüketicileri ile buluşturmaktadır. Ses yalıtımının ara /orta katmanlar yardımı ile gerçekleştirildiği, dış katmanın ise ses yutumu özelliği gösterdiği ifade edilmektedir. Bu katmanları ağırlığı 810 g/m² mertebelerindedir. Kat sayısına bağlı olarak perde sisteminin toplam ağırlığı 2,5 kg/m²' ye kadar çıkabilmektedir. Yerleştirilme şekline bağlı ses yalıtım indeksi (Rw) 14- 19 db aralığında değişmektedir (ShowTex, 2021). QC firmasına ait, 3 katmanlı STC Ses Engelleme perdelerinde ana fonksiyon iç astardadır. Bu astarların, yalnızca Sessiz Perdeler için üretilen özel, tescilli viniller olduğu belirtilmektedir. Perdeleri oluşturmak için kullanılan dış katman kumaşlarının ses engelleme üzerinde ise etkisi sınırlıdır. Bu akustik perdelerin tescilli astar kısımlarının 15-20 dB aralığında ses azaltma kapasitesi olduğu, ses yutum katsayısının ise 1.0 olduğu (sesin %100'ünün perde tarafından emilmesi hali) ifade edilmektedir (QC Quiet Curtains, 2022). ALPHAcoustic-AC. sp Akustik Ses Yalıtım Perdeleri, ses enerjisini yansıtmak ve emmek, gürültüyü azaltmak ve oda akustiğini iyileştirmek için tasarlanmış çok katmanlı bir üründür. Perdeler; ev/otel vb. yanında ofis bölme, ofis/konferans salonu içinde sessiz bölgeler oluşturma vb. için de kullanılabilir. Ses yalıtma İndeksinin (Rw); EN ISO10140-2'ye göre 10 dB'ye kadar ulaştığı ifade edilmektedir (ALPHAcoustic, 2022). Acoustic Blinds and Curtains ürünlerinin, gürültüyü azaltmak ve oda akustiğini iyileştirmek için ses enerjisini yalıtım yolu ile bertaraf ettiğini belirtmektedir. Firma en iyi performans gösteren ürünleri (astarlı, diğer bir deyişle katmanlı uygulamalar) için Ses azaltma indeksini (ΔR_w) 8dB, Ses seviye farkını (ΔD_w) ise 10Db olarak vermektedir (Acoustic Blinds and Curtains, 2022).

5. Sonuç

Sanayi ve ulaşım faaliyetlerinin artmasıyla birlikte gürültü kirliliği artık insanlığı etkileyen en büyük çevre sorunlarından biri haline gelmiştir. Gürültü karşılıklı iletişimi olumsuz etkiler, üretkenliği azaltır ve yorgunluğa ve hatta sağlık üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir. Bu nedenle, kullanımları dikkate alınarak odaların akustik kalitesinin optimize edilmesi gerekmektedir. Ses yutumu veya iletim kaybı uygulamaları için yıllar içerisinde çeşitli malzeme türleri geliştirilmiş ve uygulamaya konulmuştur. İç mekân tasarımında yaygın olarak kullanılan cam ve beton gibi malzemeler akustik olarak “serttir”. Bu malzemeler ses enerjisini çok iyi yansıtarak odada çok yankılanan bir ses alanı yaratır. İnsanların çalıştığı, iletişim kurduğu veya

dinlendiği odalarda akustik ortamın iyileştirilmesi ve mevcut gürültü seviyelerinin azaltılması genellikle ses yutucu malzemeler kullanılarak sağlanabilir. Bunlar yankılanmayı (çınlamayı) azaltarak konuşma anlaşılabilirliğini artırır ve odaları daha sessiz hale getirir. Tekstil perdeleri oda akustiğini ayarlamak amaçlı iyi bir ses yutucu olacak şekilde tasarlanabilir. Perdeler akustik ticari malzemelere kıyasla uygun maliyetlidir, hafiftir, esnektir, kullanımı kolaydır ve değişken oda akustiğine olanak tanır. Perdelerin akustik performansı genellikle ses yutum katsayısı ile tanımlanır. Ses yutum katsayısı, sadece tekstilin kendisine değil, perdelerin duvara montaj mesafesine, hava akımı direncine ve kumaşın yüzey kütle yoğunluğuna ve dökümüne de bağlıdır. Uzun zamanlardır yalnızca kadife gibi ağır malzemeli perdeler, akustik gereksinimleri karşılamak için yeterli ses yutum özelliği sağlamışken, son zamanlarda, sesi çok iyi yutan yeni, hafif ve hatta yarı saydam tekstil perdeler geliştirilmiştir.

REFERANSLAR

- Abraham, A. K. ve Ravishankar, M. S. (2021). A case study of acoustic intervention in classrooms: *Building Acoustics*, 28(4), 293–308. doi:10.1177/1351010X20975765
- Acoustic Blinds and Curtains. (2022). *Acoustic solutions in window furnishings*. <https://www.acousticblindsandcurtains.com.au/acoustic-curtains/>. (Erişim Tarihi: Nisan 2022).
- Adams, T. (2016). *Sound Materials: A Compendium of Sound Absorbing Materials for Architecture and Design*. Amsterdam: Frame Publishers.
- Alphacoustic. (2022). *Architectural Acoustics*. <https://alphacoustic.com/en/architectural-acoustics/acoustic-curtains/> (Erişim Tarihi: Nisan 2022).
- Angelova R.A. (2016). Non-Woven Textiles in the Indoor Environment. In Han-Yong Jeon (Ed.), *Non-woven Fabrics*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/61324>
- Atiénzar-Navarro, R., Picó, R. ve Rey, R. del. (2021). Influence of Fabric Folding Geometry on the Sound Absorption. *Marilés Bonet-Aracil & Eva Bou-Belda*. doi:10.1080/15440478.2021.1921656
- Aydın D. & Mihlayanlar, E. (2017). An investigation for indoor environmental quality in high-rise residential buildings // yüksek konut yapılarında İç ortam kalitesinin incelenmesi. *Megaron*, 12(2), 213-227. doi:<https://doi.org/10.5505/megaron.2017.07830>
- Barburski, M., Blaszcak, J. R. ve Pawliczak, Z. (2019). Influence of designs of weaves on acoustic attenuation of fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, 49(1), 33–45. doi:10.1177/1528083718769945
- Blaurock C., Koeppe G., Kloeckner M. and Gries T. (2019). Textile Noise Reduction – Requirements; Options and Restrictions For Interior Design. *AUTEX2019 – 19th World Textile Conference on Textiles at the Crossroads, 11-15 June 2019, Ghent, Belgium* <https://publications.rwth-aachen.de/record/773342/files/773342.pdf>
- del Rey, R., Alba, J., Blanes, M. ve Marco, B. (2013). The acoustic absorption of textile curtains on the function of the fullness. *Materiales de Construcción*, 63(312), 569–580. doi:10.3989/MC.2013.05512
- Demiryürek O, Aydemir H. (2017). Sound absorbing properties of roller blind curtain fabrics. *Journal of Industrial Textiles*.47(1):3-19. doi:10.1177/1528083716631332
- Ghermezgoli, Z. M., Moezzi, M., Yekrang, J., Rafat, S. A., Soltani, P. ve Barez, F. (2021). Sound absorption and thermal insulation characteristics of fabrics made of pure and crossbred sheep waste wool. *Journal of Building Engineering*. 35, 102060. doi:10.1016/J.JOBE.2020.102060
- Haikonen, P. (2016). *Woven Sounds / Design Exploration and Experimentation of Acoustic Curtain Fabrics*. <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/hand->

le/123456789/23566/master_Haikonen_Petra_2016.pdf?sequence=1

- Hanna, Y. I. ve Kandil, M. M. (1991). Sound absorbing double curtains from local textile materials. *Applied Acoustics*, 34(4), 281–291. doi:10.1016/0003-682X(91)90011-3
- Heylighen, A., Rychtáriková, M. ve Vermeir, G. (2010). Designing spaces for every listener. *Universal Access in the Information Society*, 9(3), 283–292. doi:10.1007/S10209-009-0175-Y
- Hofa-Akustik. (2022) *HOFA Acoustic Curtains* <https://hofa-akustik.de/en/acoustic-curtains/> (Erişim Tarihi: Mayıs 2022)
- İmaj Perde. (2016). *Akustik Perde* <https://www.akustikperde.net/akustik-perde> (Erişim Tarihi: Mayıs 2022)
- Kumar S., Aow J.W., Dexuan, W., Lee H. P. (2021). Investigation of lightweight acoustic curtains for mid-to-high frequency noise insulations. *arXiv:2108.10683*, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2108.10683>
- Küçükali, M. (2010). *Akustik Özellikleri Geliştirilmiş Örme Kumaşlar*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Li H.Q., Zhang N., Fan X.D., Gong J.X., Zhang J.F., Zhao X.M. (2020). Investigation of effective factors of woven structure fabrics for acoustic absorption *Appl Acoust*, 161 (2020), Article 107081, 10.1016/j.apacoust.2019.107081
- Li, M., Sheffer, A., Grinspun, E. ve Vining, N. (2018). FoldSketch: Enriching garments with physically reproducible folds. *ACM Transactions on Graphics*, 37(4). doi:10.1145/3197517.3201310
- Liu, X., Jiang, J., Tang, X., Han, R., Wang, Q. ve Deng, Z. (2021). Sound absorption of hollow polyester woven fabric with honeycomb weave. *Applied Acoustics*, 180, 108148. doi:10.1016/J.APACOUST.2021.108148
- López P. S., Callens P. and Cernak M. (2021). A Universal Deep Room Acoustics Estimator. *IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics (WASPAA)*, pp. 356-360, doi: 10.1109/WASPAA52581.2021.9632738.
- Memon H., Abro Z.A., Ahmed A. and Khoso N.A. (2015). Considerations while designing Acoustic Home Textiles: A Review. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 9(3), 1-29.
- Mujeebu M.A. (2019). Introductory Chapter: Indoor Environmental Quality. In Mujeebu M.A (Ed.), *Indoor Environmental Quality*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.83612>
- Nayak, R. ve Padhye, R. (2016). Acoustic Textiles: An Introduction. R. Nayak ve R. Padhye (Ed.), *Acoustic Textiles içinde* (ss. 1–32). Singapore: Springer Science+Business Media. doi:10.1007/978-981-10-1476-5_1
- Noor S. N. A.M., Ding H.H., Saharuddin S., Yusof N.F.M., Roshdi F. R. M. and Namandadin N. A. (2021). Indoor Environment Quality (IEQ): Lighting and Acoustics Factors toward Occupants Satisfaction. *AIP Conference Proceed-*

dings 2347, 020004. <https://doi.org/10.1063/5.0051620>

- Patnaik, A. (2016). Materials Used for Acoustic Textiles. R. Padhye ve R. Nayak (Ed.), *Acoustic Textiles* içinde (ss. 73–92). Springer Science+Business Media. doi:10.1007/978-981-10-1476-5_4
- Paul, P., Mishra, R., & Behera, B. K. (2021). Acoustic behaviour of textile structures. *Textile Progress*, 53(1), 1-64.
- Pieren R and Heutschi K. (2015). Predicting sound absorption coefficients of lightweight multilayer curtains using the equivalent circuit method. *Appl Acoust*, 92: 27–41
- Pieren, R., Schäffer, B., Schoenwald, S. ve Eggenschwiler, K. (2016). Sound absorption of textile curtains – theoretical models and validations by experiments and simulations: <https://doi.org/10.1177/0040517516673337>, 88(1), 36–48. doi:10.1177/0040517516673337
- Prasetyo, I., Muqowi, E., Putra, A., Novenbrianty, M., Desendra, G. ve Adhika, D. R. (2020). Modelling sound absorption of tunable double layer woven fabrics. *Applied Acoustics*, 157. doi:10.1016/J.APACOUST.2019.107008
- Priniotakis G., Stachewicz U. and van Hoof J. (2022). Smart textiles and the indoor environment of buildings. *Indoor and Built Environment*, 0(0), 1-4. <https://doi.org/10.1177/1420326X211067596>
- QC Quiet Curtains. (2022). Lab Tested Field Proven Commercial Curtains. <https://www.acoustic-curtains.com/curtains/commercial-curtains/> (Erişim Tarihi: Nisan 2022).
- Qiu, X. (2016). Principles of Sound Absorbers. R. Padhye ve R. Nayak (Ed.), *Acoustic Textiles* içinde (ss. 43–72). Singapore: Springer Science+Business Media. doi:10.1007/978-981-10-1476-5_3
- Sala E. and Rantala L. (2019). Noise and Room Acoustics. Leena Rantala (Ed.) and Eeva Sala (Ed.) in *Voice Ergonomics: Occupational and Professional Voice Care* (172-178). Cambridge Scholar Publishing
- Schira, J. (2017). Variable room design In office spaces by the use of sound insulating curtains Variable Room Design in Open Plan Offices by the use of Sound Insulating Curtain Systems. *Article in The Journal of the Acoustical Society of America*. doi:10.1121/1.4987689
- Seddeq, H. S. (2009). Factors Influencing Acoustic Performance of Sound Absorptive Materials. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(4), 4610–4617.
- Segura Alcaraz, M. P., Bonet-Aracil, M., Julià Sanchís, E., Segura Alcaraz, J. G. ve Seguí, I. M. (2021). Textiles in architectural acoustic conditioning: a review. <https://doi.org/10.1080/00405000.2021.1976483>, 113(1), 166–172. doi:10.1080/00405000.2021.1976483
- Shen, H., Yang, Y., Wang, P., Hong, Y., Legrand, X., Yang, X. ve Wu, I. (2020). Effect of tufting technique on sound insulation of multi-layer glass woven

- fabrics. *Materials Research Express*, 7(9), 095510. doi:10.1088/2053-1591/ABB855
- ShowTex. (2021). *Amazing Stage Fabrics in Motion*. <https://www.showtex.com/sites/default/files/attachments/8185-multi-layered-curtain-tds-showtex.pdf>. (Erişim Tarihi: Nisan 2022)
- Sinclair, R. (2014). *Textiles and Fashion: Materials, Design and Technology*. *Textiles and Fashion: Materials, Design and Technology*. Elsevier Inc. doi:10.1016/C2013-0-17410-7
- Singh, V. K. ve Mukhopadhyay, S. (2016). Manufacturing Methods for Acoustic Textiles. R. Padhye ve R. Nayak (Ed.), *Acoustic Textiles* içinde (ss. 93–113). Singapore: Springer Science+Business Media. doi:10.1007/978-981-10-1476-5_5
- Soltani, P. ve Zerrebini, M. (2012). The analysis of acoustical characteristics and sound absorption coefficient of woven fabrics. *Textile Research Journal*, 82(9), 875–882. doi:10.1177/0040517511402121
- Tang X., Zhang X., Zhuang X., Zhang H., Yan X. (2018). Acoustical analysis of corduroy fabric for sound absorption: Experiments and simulations. *Journal of Industrial Textiles*. 48(1):201-220. doi:10.1177/1528083717725912
- Tao, Y., Ren, M., Zhang, H. ve Peijs, T. (2021). Recent progress in acoustic materials and noise control strategies – A review. *Applied Materials Today*, 24, 101141. doi:10.1016/j.apmt.2021.101141
- Temesgen, A. G. ve Sahu, O. (2022). Investigation of Warp and Weft Knitted Fabric Acoustic Structures Derived from Garment Waste. *Journal of Textile Science and Technology*, 8(1), 35–42. doi:10.4236/JTST.2022.81004



BÖLÜM 10

SANAYİ TESİSİ STATÜSÜNDE OLAN BİR ÇELİK YAPININ ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN PERFORMANS ANALİZİ ÜZERİNE ÇALIŞMA

*M. C. Yelgin¹
R. Akbıyıklı²*

1 İnşaat Mühendisliği, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye muratyelgin@gmail.com Orcid: 0000-0002-2645-4540

2 İnşaat Mühendisliği, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye Orcid: 0000-0003-1584-9384

1. GİRİŞ

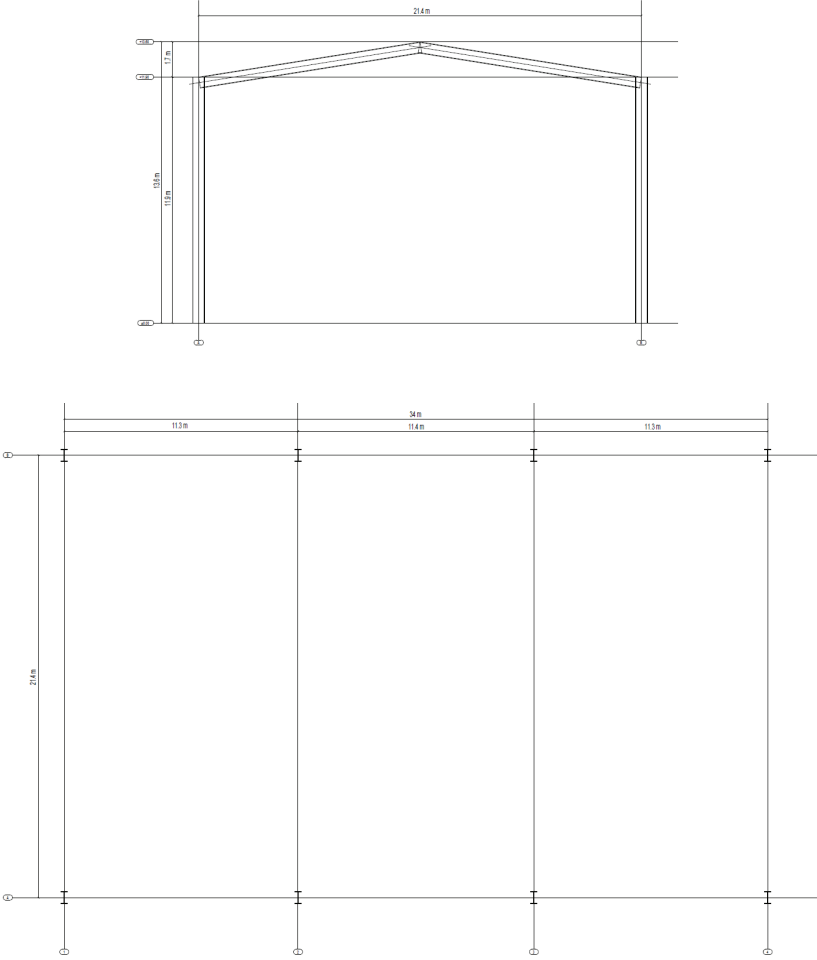
Çağımızda endüstri tesisleri üretim açısından önemli bir konumdadır. Herhangi bir doğal afet sonrasında tesislerde üretimlerin devam etmesi gerekmektedir. Endüstri tesislerinin inşa sürecinde yapısal çelik ürünlerinin kullanımı ve tasarımı günümüzde artmıştır. Ülkemizin bulunduğu coğrafya büyük ölçüde aktif olarak bekleyen fay hatlarının üzerinde bulunmaktadır. Yakın süreçte Marmara bölgesinde iki adet büyük şiddetli deprem meydana gelmiştir. Bunlar 1999 yılında meydana gelen Kocaeli ve Düzce depremleridir. Yaşanan doğal afetlerden sonra deprem yönetmeliklerimizde ciddi revizyonlara gidilmiş ve depreme dayanıklı tasarım konuları güncellenmiştir. Can ve mal kayıplarının engellenmesi için yapıların tasarım sürecinde depremselliğe önem verilmelidir.

Güncel deprem yönetmeliğimiz olan Türk Bina Deprem Yönetmeliğinden (TBDY) önceki yönetmeliklerde yapısal tasarımlar genellikle lineer yöntemler ile yapılmaktaydı. Güncel yönetmelikle birlikte doğrusal olmayan metotlarla bu analizler yapılmaya başlanmıştır (Şahin, 2019). Şekil ve yer değiştirme kabulüne göre analizlerin yapıldığı doğrusal olmayan yöntemler, yapının gerçek davranışının belirlenmesinde fayda sağlamaktadır (Aksoylu, 2020).

Yapılan bu çalışmada TBDY 2018 yönetmeliğinden faydalanılmıştır. TBDY 2018'e ek olarak Federal Acil Durum Yönetim Kurumu (FEMA) ve Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliği (ASCE) yönetmeliklerinden de fayda sağlanmıştır. Sanayi tesisinin doğrusal olmayan analizi, yığılı plastik davranış metodunu benimseyerek zaman tanım alanı hesaplama metodu ile yapılmıştır.

2. PERFORMANS ANALİZİ YAPILAN YAPI HAKKINDA BİLGİLER

Sakarya ilinin Arifiye ilçesinde bulunan performans analizini yaptığımız yapı, sanayi tesisi sınıfına giren bir yapıdır. Sanayi tesisi olmasından dolayı bina kullanım sınıfı değeri 3 ve bina önem katsayısı değeri 1 olarak seçilmiştir. Yapının kesit ve plan görünüşleri Şekil 1' de görülmektedir. Yapının üst taşıyıcı sistemi ele alınmış, zemin ve temel koşullarındaki herhangi bir olumsuzluk hesaba dahil edilmemiştir.



Şekil 1. Binanın Plan ve Kesiti.

Hareket düzeyi olarak DD2, zemin sınıfı olarak ZE seçilmiştir. Türkiye

Deprem Tehlike Haritası uygulaması kullanılarak $S_s=1.725$, $S_1=0.472$ değerleri bulunmuştur. Bulunan bu değerler zemin davranış katsayıları ile çarpılarak $S_{DS}=1,380$ ve $S_{D1}=1,065$ değerleri hesaplanmıştır.

3. KULLANILAN DEPREM KAYITLARI

Deprem kayıtlarının seçiminde yer hareketlilik sınıfları ile uyum sağlamakta olan deprem büyüklükleri seçilmiştir. Kaynak mekanizması, faya olan mesafeler ve zemin koşulları ile birlikte ele alınmıştır. Tasarımda toplamda 11 çift deprem kaydı kullanılmış ve depremler Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) NGA-West 2 veri tabanından elde edilmiştir. Kullanılan depremlere ait kayıt numaraları, ölçeklendirme birimleri ve deprem çifti

verileri Tablo 1’de ve Tablo 2’de verilmiştir. Tablolarda verilen bu depremler asal eksenleri doğrultusunda 90 derece döndürülerek hesaplamalar tekrar yapılmıştır.

Tablo 1. Deprem Kayıt Numara Ve Ölçeklendirme Bilgileri.

No	Peer Kayıt No	Ölçeklendirme Birimi	Deprem
1	20	1.6075	"Northern California"
2	161	1.4398	"Imperial Valley-06"
3	180	0.8284	"Imperial Valley-06"
4	821	0.6724	"Erzincan_ Turkey"
5	900	1.3148	"Landers"
6	1101	0.8962	"Kobe_ Japan"
7	1104	1.3399	"Kobe_ Japan"
8	1176	0.8618	"Kocaeli_ Turkey"
9	1605	0.5981	"Düzce_ Turkey"
10	6911	0.5859	"Darfield_ New Zealand"
11	6953	1.1172	"Darfield_ New Zealand"

Tablo 2. Deprem Kayıt Bilgileri.

No	Peer Kayıt No	Deprem	Büyükklüğü	Fay Mekan- izması	t (sn)	Δt (sn)	En Yakın Uzaklık (km)	Zemin (vs30) (m/s)	İstasyon	Bileşen (H1)	Bileşen (H2)	Düşey (Z)
1	20	Northern California (1954)	6,50	Yanal Atımlı	-	0,005	26,72	219	Ferndale City Hall	RSN20	RSN20	RSN20
2	161	Imperial Valley (1979)	6,53	Yanal Atımlı	-	0,005	8,54	208	Brawley Airport	RSN161	RSN161	RSN161
3	180	Imperial Valley (1979)	6,53	Yanal Atımlı	-	0,005	1,76	205	El Centro Array #5	RSN180	RSN180	RSN180
4	821	Erzincan, Turkey (1992)	6,69	Yanal Atımlı	-	0,005	1,00	352	Erzincan	RSN821	RSN821	RSN821
5	900	Landers (1992)	7,28	Yanal Atımlı	-	0,02	23,62	353	Yermo Fire Station	RSN900	RSN900	RSN900
6	1101	Kobe, Japan (1995)	6,90	Yanal Atımlı	-	0,01	11,34	256	Amagasaki	RSN1101	RSN1101	RSN1101
7	1104	Kobe, Japan (1995)	6,90	Yanal Atımlı	-	0,01	17,85	256	Fukushima	RSN1104	RSN1104	RSN1104
8	1176	Kocaeli, Turkey (1999)	7,51	Yanal Atımlı	-	0,005	1,38	297	Yarımca	RSN1176	RSN1176	RSN1176
9	1605	Duzce, Turkey (1999)	7,14	Yanal Atımlı	-	0,005	1,00	281	Duzce	RSN1605	RSN1605	RSN1605
10	6911	Darfield, New Zealand (2010)	7,00	Yanal Atımlı	-	0,005	7,29	326	HORC	RSN6911	RSN6911	RSN6911
11	6962	Darfield, New Zealand (2010)	7,00	Yanal Atımlı	-	0,005	24,55	206	Pages Road Pumping Station	RSN6962	RSN6962	RSN6962

4. KOLONLAR İÇİN ŞEKİL DEĞİŞTİRME SINIRLARI VE PLASTİK DÖNME DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI

Çelik kolonlarda plastik dönme hesabı aşağıdaki formülde gösterilmiştir. Çelik kolonlarda aksenal basınç kuvveti az olduğu görülerek düşey taşıyıcı elemanlardaki akma dönmesi kirişler için verilen akma dönme değerine göre hesaplanacaktır.

Tüm Kesit Türleri İçin Kolonlarda Akma Dönmesi Hesabı (TBDY, 2018):

$$\theta_y = \frac{W_p F_{ye} \ell_k}{6EI_k} \left[1 - \frac{P}{P_{ye}} \right]$$

Tablo 3’de ise çelik kolonlar için plastik dönme sınır değerleri gösterilmektedir.

Tablo 3. Çelik Kolonlar İçin Plastik Dönme Sınır Değerleri (TBDY, 2018)

Kolon (Eğilme)	Plastik Dönme Sınırları [rad]		
	SH	KH	GÖ
$P / P_c < 0.20$			
Süneklik Düzeyi Yüksek	$1\theta_y$	$6\theta_y$	$9\theta_y$
Süneklik Düzeyi Sınırlı	$0.25\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$
$0.20 \leq P / P_c \leq 0.50$			
Süneklik Düzeyi Yüksek	$1.5 (1 - 1.66 P / P_c) \theta_y$	$9 (1 - 1.66 P / P_c) \theta_y$	$13.5 (1 - 1.66 P / P_c) \theta_y$
Süneklik Düzeyi Sınırlı	$0.25\theta_y$	$0.7\theta_y$	$1\theta_y$
Kayma Bölgesi	$1\theta_y$	$9\theta_y$	$12\theta_y$

5. KIRIŞLER İÇİN ŞEKİL DEĞİŞTİRME SINIRLARI VE PLASTİK DÖNME DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI

Tüm Kesit Türleri İçin Kirişlerde Akma Dönmesi Hesabı (TBDY, 2018) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\theta_y = \frac{W_p F_{ye} \ell_b}{6EI_b}$$

Tablo 4’de çelik kirişler için plastik dönme sınıf değerleri sunulmuştur.

Tablo 4. *Çelik Kirişler İçin Plastik Dönme Sınır Değerleri.*

Kiriş (Eğilme)	Şekildeğiştirme Sınırları		
	SH	KH	GÖ
Süneklik Düzeyi Yüksek	10_y	60_y	90_y
Süneklik Düzeyi Sınırlı	0.250_y	30_y	40_y

6. ANALİZ PROGRAMINA DOĞRUSAL OLMAYAN MALZEME TANIMI

Yapının tasarımında kullanılacak çeliklerin malzeme kalitesi S275 olarak belirlenmiştir ve seçilen malzemelerin doğrusal olmayan özellikleri Şekil 2’de programa tanımlanmıştır. Çelik malzemesinin akma dayanımı %50 artırılmıştır. Çelik malzemesinin gerilme şekil değiştirme eğrisi Şekil 3’te tanımlanmıştır.

Uniaxial Nonlinear Material Data

Edit

Material Name: S275_expected **Material Type:** Steel

Hysteresis Type: Kinematic

Drucker-Prager Parameters: Friction Angle: , Dilatational Angle:

Units: KN, m, C

Stress-Strain Curve Definition Options: Parametric (Selected) Simple (Selected) Convert To User Defined User Defined

Acceptance Criteria Strains:

	Tension	Compression
IO	0.01	-5.000E-03
LS	0.02	-0.01
CP	0.05	-0.02

Parametric Strain Data:

Strain At Onset of Strain Hardening	0.02
Strain At Maximum Stress	0.14
Strain At Rupture	0.2
Final Slope (Multiplier on E)	-0.1

Show Stress-Strain Plot...

OK Cancel

Şekil 2. *S275 Çelik Doğrusal Olmayan Malzeme Özellikleri.*



Şekil 3. Çelik Malzemesinin Gerilme Şekil Değiştirme Eğrisi.

7. KOLON VE KİRİŞLERİN KESİT ÖZELLİKLERİ

Kolon ve kirişler için “Frame Properties” menüsü kullanılarak Tablo 5 ve Tablo 6’ daki kesit tanımları yapılmış ve özellikleri gösterilmiştir. Kolonlar için seçilen kesit HEA600 ve kirişler için seçilen kesit HEA550’dir.

Tablo 5. HEA600 Kolon Kesit Özellikleri.

HE 600 A	Yükseklik	Genişlik	Kalınlık		Atalet Momenti		Mukavemet Momenti		Kesit Alanı
	h	b	Gövde	Flange	Axis y-y	Axis z-z	Axis y-y	Axis z-z	
			t_w	t_f					
	mm	mm	mm	mm	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ²
	590.0	300.0	13.0	25.0	4,790	751	5,350	1,160	226

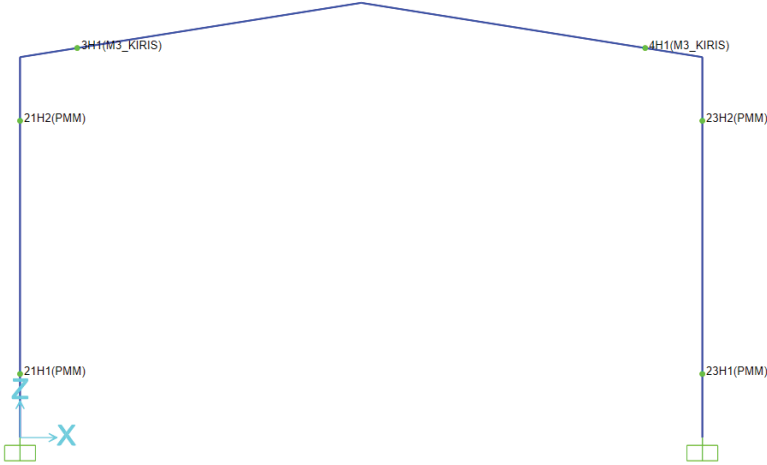
Tablo 6. HEA550 Kiriş Kesit Özellikleri.

	Yükseklik	Genişlik	Kalınlık		Atalet Momenti		Mukavemet Momenti		Kesit Alanı
			Gövde	Flange	Axis y-y	Axis z-z	Axis y-y	Axis z-z	
	h	b	t_w	t_f					A
	mm	mm	mm	mm	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ²
HE 550 A	540.0	300.0	12.5	24.0	4,150	721	4,620	1,110	212

8. KOLON ELEMANI İÇİN MAFSAL ATANMASI VE AKMA DÖNME HESABI

Şekil 4’de kolon ve kirişlere atanan mafsallar şematik olarak gösterilmiştir. Kolon elemanlarında kolon alt ve üst uç bölgelerine M2 ve M3 yönünde PMM moment mafsalları tanımlanmıştır. Şekil 5’de SAP2000 kolon

mafsal özelliklerinin ön tanımı yapılmıştır. Şekil 6 ve Şekil 7’de M3 ve M2 mafsalları tanımlanmıştır. Sonrasında kolon elemanları için M2 ve M3 yönlerinde dönme sınır değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 4. SAP2000 Yazılımında Kolon Ve Kirişlere Atanan Mafsallar.

S Frame Hinge Property Data for PMM - Interacting P-M2-M3

Hinge Specification Type

☒ Moment - Rotation

☐ Moment - Curvature

Hinge Length

☒ Relative Length

Scale Factor for Rotation (SF)

☒ SF is Yield Rotation per ASCE 41-13 Eqn. 9-2 (Steel Objects Only)

☐ User SF

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☐ Drops To Zero ☒ Is Extrapolated

Symmetry Condition

☐ Moment Rotation Dependence is Circular

☒ Moment Rotation Dependence is Doubly Symmetric about M2 and M3

☐ Moment Rotation Dependence has No Symmetry

Requirements for Specified Symmetry Condition

- Specify curves at angles of 0° and 90°.
- If desired, specify additional intermediate curves where: 0° < curve angle < 90°.

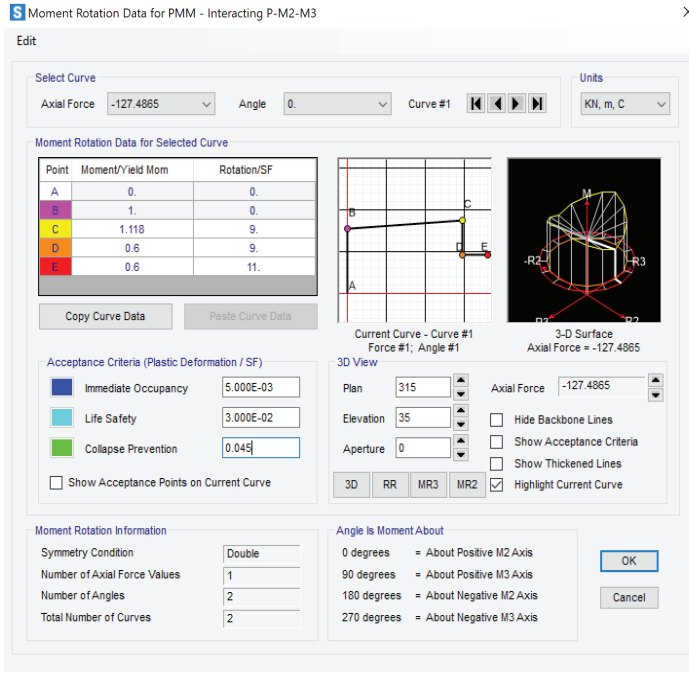
Axial Forces for Moment Rotation Curves

Number of Axial Forces

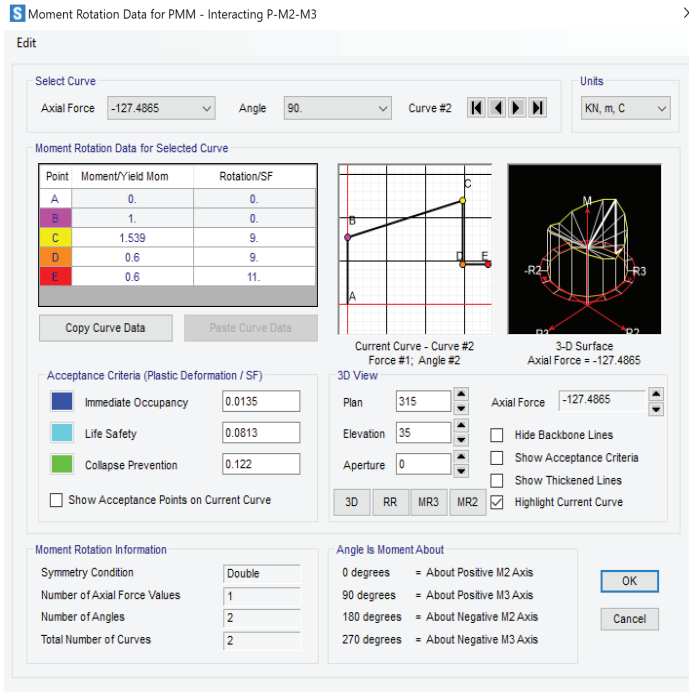
Curve Angles for Moment Rotation Curves

Number of Angles

Şekil 5. SAP2000’de Kolon Mafsal Özellikleri Ön Tanımı.



Şekil 6. SAP2000'de Kolon M3 Yönü Mafsıl Özellikleri.



Şekil 7. SAP2000'de Kolon M2 Yönü Mafsıl Özellikleri.

Kolon için M3 yönü akma dönme hesabı:

$$\Theta_y = \frac{W_p F_{ye} \ell_b}{6EI_b}$$

$$W_p = 5350 \text{ cm}^3$$

$$F_{ye} = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

$$L_b = 1190/2 = 595 \text{ cm}$$

$$EI = 2100000 \times 141200 = 2.965E+11$$

$$\Theta_y = 0.005009836$$

Tablo 7. Kolon İçin M3 Yönü Plastik Dönme Sınır Değerleri.

		TBDY2018	FEMA
Θ_y		SINIR DURUMU	
0.005009836	1	SH	IO
0.030059018	6	KH	LS
0.045088527	9	GÖ	CP

Tablo 7’de kolon için M3 yönü plastik dönme sınır değerleri verilmiştir. Diğer taraftan Tablo 8’de kolon için M2 yönü plastik dönme sınır değerleri gösterilmiştir.

Kolon için M2 yönü akma dönme hesabı:

$$\Theta_y = \frac{W_p F_{ye} \ell_b}{6EI_b}$$

$$W_p = 1156 \text{ cm}^3$$

$$F_{ye} = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

$$L_b = 1190/2 = 595 \text{ cm}$$

$$EI = 2100000 \times 141200 = 2.367E+10$$

$$\Theta_y = 0.0135$$

TBDY2018		TBDY2018	FEMA
θ_y		SINIR DURUMU	
0.013562457	1	SH	IO
0.081374741	6	KH	LS
0.122062112	9	GÖ	CP

Tablo 8. Kolon İçin M2 Yönü Plastik Dönme Sınır Değerleri.

9. KIRIŞ ELEMANI İÇİN MAFSAL ATANMASI VE AKMA DÖNME HESABI

Şekil 8’de kolon ve kirişlere atanan mafsallar şematik olarak gösterilmiştir ve kiriş elemanlarında M3 yönü mafsalı tanımlanmıştır. Ayrıca Tablo 9’da kiriş için M3 yönü akma dönme sınır değerleri gösterilmektedir.

Kiriş için M3 yönü akma dönme hesabı:

$$\theta_y = \frac{W_p F_{ye} \ell_b}{6EI_b}$$

$$W_p = 4622 \text{ cm}^3$$

$$F_{ye} = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

$$L_b = 2140/2 = 1070 \text{ cm}$$

$$EI = 2100000 \times 141200 = 2.35E+11$$

$$\Theta_y = 0.009821348$$

Tablo 9. Kiriş İçin M3 Yönü Akma Dönme Sınır Değerleri.

		TBDY2018	FEMA
θ_y		SINIR DURUMU	
0.009821348	1	SH	IO
0.058928091	6	KH	LS
0.088392136	9	GÖ	CP

S Frame Hinge Property Data for M3_KIRIS - Moment M3

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E ₁	-0.2	-0.2
D ₁	-0.2	-0.1326
C ₁	-1.115	-0.0884
B ₁	-1	0
A ₁	0	0
S	1	0
C	1.115	0.0884
D	0.2	0.1326
E	0.2	0.2

☒ Symmetric

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☐ Drops To Zero

☒ Is Extrapolated

Scaling for Moment and Rotation

☐ Use Yield Moment

☒ Use Yield Rotation (Steel Objects Only)

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

☐ Show Acceptance Criteria on Plot

Type

☒ Moment - Rotation

☐ Moment - Curvature

Hinge Length

☐ Relative Length

Hysteresis Type And Parameters

Hysteresis Type: **Isotropic**

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

OK Cancel

Şekil 8. SAP2000’de Kiriş M3 Yönü Mafsal Özellikleri.

10. DOĞRUSAL OLMAYAN YÜKLERİN TANIMLANMASI

Şekil 9’da gösterildiği üzere, zaman tanım alanına göre hesaplamada önce statik yüklere göre analiz yapılmıştır. Hareketli yük kütle katılım sayısı TBDY 2018’de tarif edildiği şekilde 0.3 olarak tanımlanmıştır. Bu yüklemeye “Gravity” yüklemesi adı verilmiştir. Doğrusal olmayan hesaptan önce statik “Gravity” yüklemesi çözülmüş, daha sonra doğrusal olmayan hesaba her bir deprem ivme kaydı için devam edilmiştir.

S Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: Gravity

Set Def Name

Notes: Modify/Show...

Load Case Type: Static

Design...

Initial Conditions

☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☐ Continue from State at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Model Load Case

All Modal Loads Applied Use Modes from Case

Modal Nonlinear

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	CDL	1
Load Pattern	LL	0.3
Load Pattern	SOL	0.3
Load Pattern	S	0.2

Add

Modify

Delete

Geometric Nonlinearity Parameters

☒ None

☐ P-Delta

☐ P-Delta plus Large Displacements

Mass Source

Previous

Other Parameters

Load Application: Full Load

Results Saved: Final State Only

Nonlinear Parameters: Default

OK Cancel

Şekil 9. Doğrusal Olmayan Düşey Yükleme “Gravity”.

Şekil 10'da yüklemenin zaman tanım alanına göre olması için yük ti-pine Time History seçilmiştir. Her bir deprem ivme kaydı 90 derece döndürülmüş ve düşey ivme değeri de hesaba katılmıştır. Büyütme faktörü her bir deprem ivme kaydı için farklı şekilde tanımlanmıştır, böylece toplamda 22 deprem ivme kayıt çifti oluşturulmuştur.

Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History

Load Case Name: NL01_20_00_SF_1.6075 [Set Def Name] [Modify/Show...]

Initial Conditions: ☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State ☒ Continue from State at End of Nonlinear Case [Gravity]

Modal Load Case: Use Modes from Case [Modal Nonlinear]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	NL01_20K	15.7631
Accel	U2	NL01_20V	15.7631
Accel	U3	NL01_20Z	15.7631

Time Step Data: Number of Output Time Steps: 8000, Output Time Step Size: 5.000E-03

Other Parameters: Damping [Proportional] [Hiber-Hughes-Taylor] [Default], Time Integration [Modify/Show...], Nonlinear Parameters [Modify/Show...]

Load Case Type: Time History [Design...]

Analysis Type: ☐ Linear ☒ Nonlinear ☐ Direct Integration

Solution Type: ☐ Modal ☒ Direct Integration

Geometric Nonlinearity Parameters: ☐ None ☒ P-Delta ☐ P-Delta plus Large Displacements

History Type: ☒ Transient ☐ Periodic [Consider Collapse]

Mass Source: Previous

[OK] [Cancel]

Şekil 10. Doğrusal Olmayan Yük Tanımlama.

11. DEPREM PERFORMS ANALİZİ

Tüm kolon ve kiriş elemanlar için plastik dönme sınırları hesaplanmış ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarından elde edilen plastik mafsalları ile karşılaştırılmıştır. Bu performans değerlendirmesi tüm yapısal elemanların her biri için ayrı ayrı yapılmıştır.

Her bir eleman için 22 adet analizden elde edilen dönme değerleri alınmış ve $\theta_p(GÖ)$ Göçmenin Önlenmesi dönme sınır değeri, $\theta_p(KH)$ Kontrollü Hasar dönme sınır değeri ve $\theta_p(SH)$ Sınırlı Hasar dönme sınır değeri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın özet görünümü tablo 10 'da gösterilmiştir.

Tablo 10. Plastik Mafsalsal Kontrol Listesi (Kısmi).

ELEMAN	YÜKLEME	ADIM	MAFSAL TİPİ	R1 Dönme	R2 Dönme	R3 Dönme	θp	θp	θp	KH SINIR	GÖ SINIR	KONTROL
3	NL01_20_00_SF_1.6075	Max	M3_KIRIS	0	0	0	0.009821	0.058928	0.088392	SH		
3	NL01_20_90_SF_1.6075	Max	M3_KIRIS	0	0	0	0.009821	0.058928	0.088392	SH		
3	NL02_161_00_SF_1.4398	Max	M3_KIRIS	0	0	0	0.009821	0.058928	0.088392	SH		
3	NL02_161_90_SF_1.4398	Max	M3_KIRIS	0	0	0	0.009821	0.058928	0.088392	SH		
3	NL03_180_00_SF_0.8284	Max	M3_KIRIS	0	0	0	0.009821	0.058928	0.088392	SH		
3	NL03_180_90_SF_0.8284	Max	M3_KIRIS	0	0	0	0.009821	0.058928	0.088392	SH		
4	NL01_20_00_SF_1.6075	Max	M3_KIRIS	0	0	0	0.009821	0.058928	0.088392	SH		
4	NL01_20_90_SF_1.6075	Max	M3_KIRIS	0	0	0	0.009821	0.058928	0.088392	SH		
4	NL02_161_00_SF_1.4398	Max	M3_KIRIS	0	0	0	0.009821	0.058928	0.088392	SH		
4	NL02_161_90_SF_1.4398	Max	M3_KIRIS	0	0	0	0.009821	0.058928	0.088392	SH		
4	NL03_180_00_SF_0.8284	Max	M3_KIRIS	0	0	0	0.009821	0.058928	0.088392	SH		
4	NL03_180_90_SF_0.8284	Max	M3_KIRIS	0	0	0	0.009821	0.058928	0.088392	SH		
7	NL01_20_00_SF_1.6075	Max	M3_KIRIS	0	0	0	0.009821	0.058928	0.088392	SH		
7	NL01_20_90_SF_1.6075	Max	M3_KIRIS	0	0	0	0.009821	0.058928	0.088392	SH		
7	NL02_161_00_SF_1.4398	Max	M3_KIRIS	0	0	0	0.009821	0.058928	0.088392	SH		
7	NL02_161_90_SF_1.4398	Max	M3_KIRIS	0	0	0	0.009821	0.058928	0.088392	SH		
21	NL01_20_00_SF_1.6075	Max	PMM	0	0	0	0.00501	0.030059	0.045089	SH		
21	NL01_20_00_SF_1.6075	Max	PMM	0	0	0	0.00501	0.030059	0.045089	SH		
21	NL01_20_90_SF_1.6075	Max	PMM	0	0	0	0.00501	0.030059	0.045089	SH		
21	NL01_20_90_SF_1.6075	Max	PMM	0	0	0	0.00501	0.030059	0.045089	SH		
21	NL02_161_00_SF_1.4398	Max	PMM	0	0	0	0.00501	0.030059	0.045089	SH		
21	NL02_161_00_SF_1.4398	Max	PMM	0	0	0	0.00501	0.030059	0.045089	SH		
21	NL02_161_90_SF_1.4398	Max	PMM	0	0	0	0.00501	0.030059	0.045089	SH		
21	NL02_161_90_SF_1.4398	Max	PMM	0	0	0	0.00501	0.030059	0.045089	SH		
21	NL03_180_00_SF_0.8284	Max	PMM	0	0	0	0.00501	0.030059	0.045089	SH		
21	NL03_180_00_SF_0.8284	Max	PMM	0	0	0	0.00501	0.030059	0.045089	SH		
21	NL03_180_90_SF_0.8284	Max	PMM	0	0	0	0.00501	0.030059	0.045089	SH		
21	NL03_180_90_SF_0.8284	Max	PMM	0	0	0	0.00501	0.030059	0.045089	SH		

12. SONUÇLAR

Bu çalışmada, tüm kolon ve kiriş elemanları için plastik dönme sınırları hesaplanmış ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarından elde edilen plastik mafsalsal sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Eleman ve sistem bazında meydana gelen hasarlar incelendiğinde yapının (SH) sınırlı hasar performans düzeyi hedefini sağladığı görülmektedir. 11 adet deprem ivme kaydı döndürülerek tekrar sisteme yüklenmiştir. Böylece toplamda 22 adet deprem çifti X yönünde, Y yönünde ve Z yönünde olmak üzere tanımlanmıştır. Tüm yük analizi sonucunda yapısal sistemin hem eleman düzeyinde hem de sistemsel olarak SINIRLI HASAR (SH) düzeyinde performans gösterdiği belirlenmiştir.

Doğrusal olmayan hesap yöntemine göre zaman tanım alanında hesap gerçek davranışa en yakın davranış hesap yöntemidir. Bu çalışmada, zeminin dinamik davranış modeli hesaba katılmamıştır. Zeminin doğrusal olmayan davranış modelinin de analizlere dahil edilip gerçek deprem ivme kayıtlarında yapı-zemin etkileşimine göre hesap sonuçlarının bu çalışma verileri ile karşılaştırılmasında yarar görülmektedir.

Not: Bu çalışma, ‘Endüstriyel Bir Çelik Yapının Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı Yöntemi İle Deprem Performans Analizi’ isimli konuda devam etmekte olan yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

KAYNAKÇA

- AKSOYLU, T. (2020). 40 katlı asimetrik betonarme bir binanın deprem performansının zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile belirlenmesi (Master Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- ŞAHİN, Y. (2019). Mevcut bir betonarme binanın 2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre zaman tanım alanında analizinin yapılarak performansının belirlenmesi ve çelik güçlendirme önerileri (Master Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- PEER Raporu (2022). Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, CA Available at: <https://peer.berkeley.edu/>
- TBDY, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. (2018). T. C. Resmi Gazete, 30364, 18 Mart 2018.
- SAP2000. Integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual. Computers and Structures Inc., Berkeley (CA, USA).
- Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları (2016). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- AISC 360-16 (2016). Specification for Structural Steel Buildings. American Institute of Steel Construction, Illinois.



BÖLÜM 11

AHP-VIKOR BÜTÜNLEŞİK YAKLAŞIMI İLE ŞEV STABİLİTE PROBLEMLERİNDE GEOTEKNİK DAYANMA YAPISI SEÇİMİ¹

*Yesim Tuskan²
Ender Basari³*

¹ Bu çalışma, yapılmakta olan ‘Geoteknik Mühendisliğinde Bilgi Tabanlı Yaklaşımlar: Bir Uzman Sistem Uygulaması’ isimli doktora tezinden çıkmış bir yayındır.

² Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye, Arş. Gör. yesim.tuskan@cbu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-7090-2235

³ Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye, Dr. Öğr. Üyesi, ORCID ID: 0000-0001-6908-1281

1. GİRİŞ

Geoteknik mühendisliğinin başlıca konuları arasında yer alan şevlerin dayanma yapıları ile stabilitesinin sağlanmasının önemi, geçmişten günümüze kadar karşılaşılan vakalar ve meydana gelen hasarlara bakıldığında kolayca anlaşılabilmektedir. Şev kaymalarının önlenmesi aşamasında, çeşitli şev güçlendirilmesi yöntemlerine başvurulmaktadır. Şev kayması gerçekleşen bir bölgenin iyileştirilmesi veya olası bir şev kaymasının önlenmesi, şevde hareketleri tetikleyen etkenlerin azaltılması ve/veya zeminin kayma dayanımının artırılması ile sağlanmaktadır. Bu aşamada geoteknik dayanma yapısı kullanılarak şevlerin güçlendirilmesi, şevlerde oluşabilecek hareketleri önlemek için kullanılan en uygun yöntemlerdendir.

Şevlerin güçlendirilmesi aşamasında ne tür bir geoteknik dayanma yapısı kullanmanın uygun olacağına karar verilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, şevlerin güçlendirilmesinde kullanılabilecek geoteknik dayanma yapısı alternatiflerinin çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak belirlenen kriterler bazında değerlendirilmesi ve alternatiflerin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmanın amacı şev stabilitesinde geoteknik dayanma yapısı seçimiyle ilgili tecrübelerle dayalı uzman bilgilerini literatüre aktarmak ve hangi geoteknik dayanma yapısı tipinin seçilebileceğini mühendislerin kullanımına sunmaktır. Bu amaçla, şev stabilitesi problemlerinde geoteknik dayanma yapısı seçimi için uzmanlardan alınan tecrübelerle edinilmiş bilgiler ve uzman fikirlerine dayalı belirlenen kriterlere göre AHP-VIKOR çok kriterli karar verme sistemi kurulmuştur.

2. GEOTEKNİK DAYANMA YAPISI İLE ŞEV STABİLİTESİ

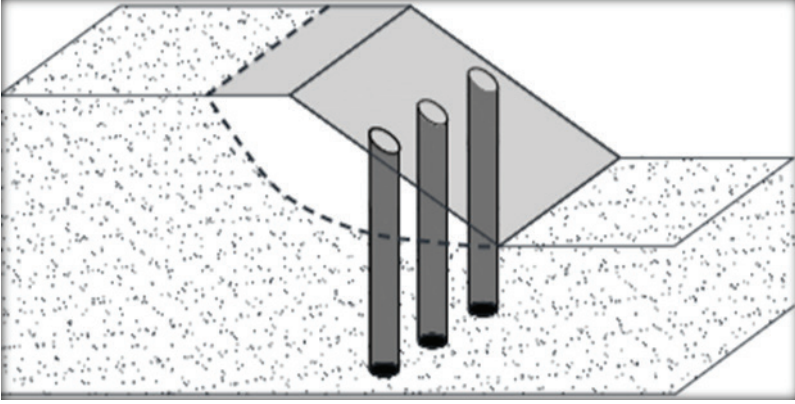
Şev stabilitesinin sağlanması aşamasında geoteknik mühendisliği uzmanlarından edinilen tecrübeye dayalı bilgilerin ve mesleki kuralların değerlendirilmesi, geoteknik dayanma yapısı seçim sürecinde hayati önem taşımaktadır. Geoteknik dayanma yapısı seçiminde uzmanlardan alınan tecrübelerle edinilmiş bu bilgiler ve uzman fikirlerin çok az bir kısmı literature geçmiştir. Geoteknik dayanma yapısı seçimine karar verirken her zaman tecrübeli mühendislerle çalışmak veya onlara her zaman ulaşmak da mümkün değildir.

2.1 TEK SIRA KAZIKLARLA ŞEV STABİLİTESİ

Kazıklarların kullanımıyla şev stabilitesi birçok yazar tarafından incelenmiştir: Ito ve diğ. (1981 and 1982), Poulos (1995), Zeng ve Liang (2002), Liang ve Yamin (2007), Al boudier (2010), Liang ve Joorabchi, (2014). Mevcut projeler ve kazık sistemlerinin irdelendiği akademik çalışmalara değinildiğinde, kazıkların güvenliğini yitirmiş bir şevin güçlendirilmesinde etkili

bir yöntem olduğu anlaşılmaktadır. Yeni inşa teknolojileri ise, farklı zemin ve kaya koşullarında kazıkların kolay yerleştirilmesini sağlamaktadır.

Liang ve Joorabchi (2014) tarafından kemerlenme etkisinin tanımlandığı tek sıra kazıklarla güçlendirilmiş şevde yük aktarım katsayısı, kohezyon (c), içsel sürtünme açısı (ϕ), kazık çapı (D), kazık merkezden merkeze mesafesi (s), kazık konumu (ξ) ve şev açısı (β) olmak üzere altı parametreyle yüksek oranda ilişkili olarak tanımlanmış ve hesaplarda kullanılmıştır.



Şekil 2.1. Şevlerin Tek Sıra Kazıklar Kullanılarak Stabilesinin Sağlanması

Herhangi bir i dilimine etkiyen kuvvetler; zemin kemerlenmesine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu aşamada, herhangi bir dilim için dilimin tabanında normal doğrultudaki ve tanjant doğrultusundaki kuvvetler toplamı aşağıdaki iki denklem ile ifade edilmektedir:

$$N_i - W_i \cos a_i - P_{i-1} \sin(a_{i-1} - a_i) = 0 \quad (2.1)$$

$$T_i + P_i + W_i \sin a_i - P_{i-1} \cos(a_{i-1} - a_i) = 0 \quad (2.2)$$

Mohr-Coulomb gerilme denkleminin dilim tabanında uygulanmasıyla ile ise aşağıdaki denklem elde edilmektedir:

$$T_i = \frac{t}{\sigma} + (N_i - u) \frac{\tan \phi}{\sigma} \quad (2.3)$$

Son olarak, Denklem 2.4 ise P_i dilimler arası kuvvetini P_{i-1} kuvveti ile ilişkilendirmektedir. Burada η , şeve yerleştirilen tek sıra kazıktan kaynaklanan zemin kemerlenmesine bağlı yük aktarım faktörüdür.

$$P_i = W_i \sin a_i - \left[\frac{cl}{GS} + (W_i \cos a_i - ul) \frac{\tan \varphi}{GS} \right] - k\eta P_{i-1} \quad (2.4)$$

3. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

Çözümlerinde rasyonel yaklaşımlara ihtiyaç duyulan idrak, yargı ve kurallar dahilinde uzun dönemli etkiler ve önemi yüksek problemlerde stratejik düzeyde karar vermeye ihtiyaç vardır. Karar verme süreci birbiriyle etkileşim içerisinde olan birçok elemandan meydana gelmektedir. Fazlasıyla karmaşık olan bu sürecin, herhangi bir elemanında gerçekleşecek değişimin tüm sistemi etkileyebilmesi sebebiyle karar verme problemleri hassas ve önemli problemler olarak değerlendirilmektedir. Karar verme problemlerinde alternatifler arasından karar verirken birçok kriterin dikkate alınması gerekir.

Çok kriterli karar verme, bir karar durumu ile ilgili olarak birbiriyle çatışan birden fazla kriteri karşılayan olası “en iyi/uygun” çözüme ulaşmaya çalışan yaklaşım ve yöntemleri bünyesinde barındırmaktadır. Çok kriterli karar vermede temel amaç en iyi alternatiflerin seçilmesi sürecidir. Çok kriterli karar verme problemleri üç temel başlık altında incelenebilir. Bu problemler seçim sınıflama ve sıralamadır. (Vassilev vd., 2005) Seçim problemlerindeki amaç alternatiflerin içinden en iyisini belirlemek ya da birçok alternatifin bulunduğu birbiri ile kıyaslamının zor veya eşit ağırlıklara sahip bir küme içerisinde iyi bir seçimin yapılmasıdır. Kısaca doğru alternatifin alternatif küme içerisinde seçilmesinden ibarettir.

Problemin tanımını içeren ilk adımda açık bir şekilde ele alınan problem devam eden adımda çok kriterli model çözümünün bağımlı olduğu önemli gereksinimlerin listelenmesiyle çözüm için değerlendirilir. Üçüncü adımda çok kriterli problemin amaç veya hedef atamaları yapılır. Karar verme sürecinin dördüncü adımı ise alternatiflerin belirlenmesi ile ilgilidir. Adım beşte değerlendirme kriterleri kararlaştırılır. Bu kriterler geçmişte sabitlenmiş bazı standartları sağlamalıdır. Sürecin altıncı adımı, eldeki problemi çözmek için uygun çok kriterli karar verme yöntemini içerdiğinden oldukça önemlidir. Sonraki adımda seçilen Çok kriterli karar verme problemi adım dörtte belirlenen alternatiflerden en iyi olanı seçmek için uygulanır. Karar verme sürecinin son adımında ise, model sonuçları kontrol edilir ve duyarlılık analizi uygulanır.

3.1. İnşaat Mühendisliğinde Çok Kriterli Karar Verme

Tanadtang ve diğ. (2005) tarafından gerçekleştirilen uygulama, ulaşım talebi bağlamında çevresel ve sosyal etkilerin en iyi kombinasyonunu araştırırken toplu ulaşım sorunlarına AHP yöntemi kullanarak odaklanmıştır. Yang ve Wang (2007) tarafından yapılan çalışmada ürün yaşam döngüsü alanında VIKOR ve AHP yöntemleri kullanılmıştır.

Opricovic'in 2009 yılında yapmış olduğu çalışmada, VIKOR yöntemi su kaynaklarının planlanması için kullanılmıştır. Shelton ve Medina (2010) çalışmalarında, geleneksel AHP ve TOPSIS yöntemlerinin geleneksel kombinasyonunu uygulayarak finansman odaklı inşaat projesi öncelik değerlendirmesi yapmıştır. Teng ve diğ. (2010) riskli bir ortamdaki inşaat projelerinin bütçelerini bulanık AHP çok kriterli karar verme yöntemi ile incelemiştir. Sanayei vd. (2010) ise çalışmalarında tedarikçileri seçmek için VIKOR yöntemini kullanmışlardır. Liou ve Chuang (2010) dış kaynak kullanımı için farklı alternatifler doğrultusunda inceleme yaparak, çalışmalarında VIKOR ve ANP yöntemlerini birlikte kullanmışlardır.

Lombera ve Rojo (2010), binaların sürdürülebilirliği için kriterleri tanımlamak ve bu kriterlere ilişkin çözümü seçmek için Sürdürülebilir Değerlendirme için Entegre Değer Modeli (MIVES) metodolojisini kullanmıştır. Benzer bir çalışma Rahman vd., (2012) optimal yol kaplama malzemeleri seçimi için Bilgi Tabanlı Karar Destek Sistemi geliştirmişler ve çalışmalarında TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Akadiri ve diğ. (2013), sürdürülebilir yapı malzemesi seçimi için bulanık genişletilmiş AHP yöntemini kullanmıştır.

Balali ve diğ. (2014) yaptıkları çalışmada, ELECTRE III, PROMETHEE II yöntemlerinin yapı sistemlerin seçimine yönelik uygulamasını incelemiştir. Formisano ve Mazzolani (2015) çalışmalarında, TOPSIS, (ELECTRE) ve (VIKOR) olmak üzere üç çok kriterli karar verme yöntemini kullanarak mevcut betonarme binaların depreme karşı güçlendirilmesi için en iyi çözümün seçimi için yeni bir prosedür sunmuşlardır. Bu üç yöntemle sonuçlar aşağıdaki şekilde sıralanmıştır.

Monghasemi ve diğ. (2015) çalışmalarında; zaman, maliyet ve kalite kriterlerine göre şantiye projesi çizelgelemesinin performans değerlendirmesine yönelik çok kriterli karar verme uygulaması yapmıştır. Fattahi (2016), şev stabilitesinin tahmini için araştırmalar yapmış ve elde edilen sonuçlara göre, ANFIS modelinin bu tahmin için güvenilir bir modelleme tekniği olduğunu göstermiştir. Turskis ve diğ. (2016) bina temeli alternatiflerinin değerlendirilmesi ve seçimi için bir çok kriterli karar verme modeli üzerinde çalışmışlardır.

de la Fuente ve diğ. (2017), tünel uygulanmalarında farklı beton ve do-

natı alternatiflerinin sürdürülebilirliğini çevresel, sosyal ve ekonomik kriterlere bağlı olarak değerlendirirken AHP yönteminden yararlanmışlardır. Pujadas ve diğ. (2017). sürdürülebilir kent planlamasına yönelik kamu yatırımlarının değerlendirilmesi için oluşturduğu çalışma çerçevesinde farklı ekonomik, çevresel ve sosyal yönleri belirledikleri beş kriteri dikkate alarak incelemiştir. Rashid ve diğ. (2017), agrega ve seramik atığı-agrega karışımlarından tasarlanan betonun maksimum basınca dayanım yönünden en iyi performans gösteren alternatiflerini seçmek için AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanmışlardır.

Khoshnava ve diğ. (2018), sürdürülebilirliğe göre tasarlanan binalar için enerji verimliliği olan, ekolojik ve geri dönüştürülebilir malzemeleri seçmek için çok kriterli karar verme yöntemlerini uygulamışlardır. Lee ve Chang (2018) yenilebilir enerji kaynakları sıralaması yaptıkları çalışmalarında; VIKOR, TOPSIS ve ELECTRE yöntemlerini karşılaştırmıştır. 10 ana kriter kullandıkları çalışmada ağırlık seçimi entropi yöntemi ile belirlenmiş ve 5 enerji kaynağı alternatifi arasında seçim yapılmıştır. Kiani ve diğ. (2018) beton yapıların onarımı için malzeme seçimine karar verdikleri çalışmalarında belirledikleri 7 kriteri dikkate alarak VIKOR çok kriterli karar verme yöntemi ile 5 malzeme alternatifi üzerinden seçim yapmışlardır. Mateusz ve diğ. (2018), 17 kriter ve 27 alternatif ile oluşturdukları çok kriterli karar verme modelinde eşit ağırlıklardırıkları kriterler ile VIKOR ve TOPSIS yöntemi kullanarak AB ülkelerinin sürdürülebilir gelişiminin sınıflandırılması konusu üzerine çalışmışlardır.

Josa ve diğ. (2021), farklı tip kazıkları sürdürülebilirlik odaklı çok kriterli analizini MIVES yöntemi ile gerçekleştirmiştir. Seçilen 11 kriter ile ekonomik, sosyal ve çevresel gereksinimleri karşılayan hiyerarşi oluşturulmuştur.

Yapılan literatür çalışmasının sonuçlarına bakıldığında VIKOR yönteminin daha çok sınıflandırma problemleri için tercih edildiği görülmüştür. Ayrıca mevcut literatür örneklerinden görüleceği üzere VIKOR yöntemi değişik yöntemlerin entegrasyonu ile kullanılmıştır. Ayrıca kriter ağırlıklarının belirlenmesinde de kriter ağırlıklarının eşit kabul edilmesinden, entropi, AHP gibi çok kriterli karar verme yöntemlerinden yararlanılmıştır. Son olarak VIKOR yönteminin kullanıldığı sınıflandırma problemleri için Opricovic ve Tzeng (2007), VIKOR metodunu PROMETHEE, ELECTRE ve TOPSIS ile karşılaştırmışlar ve bunun sonucunda VIKOR ile PROMETHEE yönteminin benzer sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Buna ek olarak VIKOR yönteminin daha gerçekçi sonuçlar sunduğunu ve stratejik seçimler açısından daha kolay uygulanabileceğini belirtmişlerdir.

4. AHP-VIKOR YÖNTEMİNE DAYALI GEOTEKNİK DAYANMA YAPISI SEÇİMİ

Şev stabilitesi problemlerinde geoteknik dayanma yapısı tip seçimi için uzmanlardan alınan tecrübelerle edinilmiş bilgiler ve uzman fikirlerine dayalı belirlenen kriterlere göre AHP-VIKOR çok kriterli karar verme sistemi kurulmuştur.

4.1. ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ (AHP)

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Thomas L. Saaty (Saaty, 1990), tarafından geliştirilmiş ve günümüzde karmaşık karar problemlerinin çözümü için yaygın bir şekilde kullanılan çok kriterli karar verme yöntemidir. AHP, kriterleri ikili karşılaştırma yaparak ölçen ve bu kriterlerin birbirlerine göre önceliklerini bularak önem sıralarını belirleyen bir karar verme tekniğidir (Byun, 2001).

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yönteminin işleyişinde ilk olarak problem ortaya konularak, hiyerarşide en üstte yer alacak amaçlanan hedefin belirlenmesi sağlanır. Ardından hiyerarşi oluşturulur. Oluşturulan hiyerarşide; en üstte amaçlanan hedef olmak üzere kriterler, varsa alt kriterler ve alternatifler belirlenmektedir. Belirlenen hiyerarşi içinde yer alan kriterlere ait İkili karşılaştırma matrisi oluşturulması izlenecek çözüm adımlarının devamını oluşturur. İşleyiş oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinden yararlanarak ağırlık vektörünün bulunmasıyla devam eder. Son olarak, tutarlılık oranı hesaplanır. Tutarlılık sağlanması halinde karar verilmektedir. Aksi halde tutarlı olmama durumunda ise ikili karşılaştırmalar tekrar gözden geçirilerek işlemler tekrarlanmaktadır.

4.1.1. Hedefin Belirlenmesi

Hiyerarşide en üst basamakta yer alan amaçlanan hedef, karar vermeyi gerektiren, kriterleri, varsa belirlenen alt kriterleri ve alternatifleri bulunan bir yapıya sahip olmalıdır. Çalışmada amaçlanan hedef, şev stabilitesi problemlerinde geoteknik dayanma yapısı tipinin seçimidir.

4.1.2. Hiyerarşi Oluşturulması ve Kriterlerin Belirlenmesi

İlgili bütün faktörleri organize ederek problemlerin mantıklı ve sistematik bir yoldan kolayca çözülmesini sağlayan hiyerarşi basmakları; amaçlanan hedef, ana kriterler, alt kriterler ve alternatifler olarak sıralanmıştır. Bu çalışmada ilk olarak, Şev stabilize problemlerinde kullanılacak geoteknik dayanma yapısı seçim kriterleri literatürdeki kriterler incelendikten ve uzman görüşleri dikkate alınarak AHP modeli geliştirilmiştir. Ardından geliştirilen bu modelde, geoteknik mühendisliği saha mühendisleri ve akademisyenlerin uzmanlıklarının göz önünde tutulduğu anket uygulaması yardımıyla AHP

modelinde seçilen kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan literatür taramaları ve uzman görüşleri sonucunda elde edilen veriler yardımıyla Şev stabilite problemlerinde kullanılacak geoteknik dayanma yapısı seçimine ait kriterler belirlenmiştir.

4.1.3. Kriterlerin Belirlenmesi

Şev stabilizasyonunda yararlanılacak geoteknik dayanma yapısı seçimi ile ilgili alternatifler; betonarme fore kazık, betonarme çakma kazık ve beton dolgulu çelik boru kazık olarak belirlenmiştir. Şev stabilite problemlerinde kullanılacak geoteknik dayanma yapısı seçim kriterleri literatürdeki kriterler incelendikten ve uzman görüşleri dikkate alındıktan sonra aşağıdaki şekilde oluşturulmuş ve tüm kriterlere ait bilgiler Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 *Geoteknik Dayanma Yapısı Seçim Kriterleri*

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Gösterim
Şev Stabilesi		K1
Geoteknik Dayanma Yapısının Stabilesi		K2
Çevresel Sürdürülebilirlik	Kaynak Kullanımı Etkisi	K3.1
	Çevresel Etki	K3.2
	Sosyo-Ekonomik Etki	K3.3
Yapım Kolaylığı	Geometri Kolaylığı	K4.1
	Çap Kolaylığı	K4.2
	Boy Kolaylığı	K4.3
Maliyet		K5

Literatürden ve uzman görüşlerinden faydalanarak geoteknik dayanma yapısı seçim probleminde etkili olarak görülen tüm kriterler listelenerek, anket şeklinde düzenlenmiştir. Ankette listelenen 5 kriter, sektördeki saha uzmanları ve akademisyenler tarafından Saaty ölçekleme yöntemiyle ayrı ayrı puanlandırılmıştır. Tezde geliştirilen karar verme sistemi; şev stabilitesi ve geoteknik dayanma yapısının stabilesinin sağlandığı, yapım kolaylığı ve maliyet kriterlerinin karşılandığı; sürdürülebilirlik kriterinin değerlendirildiği bir yapıda oluşturulmuştur.

• Şev Stabilesi Kriteri (K1)

Tek sıra kazıklar ile stabilesi sağlanmış şevin güvenlik katsayısını tanımlamaktadır. Çalışmada; Liang (2002), Yamin (2007), Al Bodour (2010) tarafından yapılan çalışmaya ek olarak, Joorabchi (2014) tarafından seçilen kemerlenme etkisinin de değerlendirildiği tek sıra kazıklarla güçlendirilmiş şeve etki eden ana parametreler kullanılmıştır. Bu durumda hesaplarda yük aktarım katsayısı denklemi yarı ampirik olarak aşağıdaki şekilde; kohezyon

(c), içsel sürtünme açısı (ϕ), kazık çapı (D), kazık merkezden merkeze mesafesi (s), kazık konumu (ξx) ve şev açısı (β). parametreleriyle yüksek oranda ilişkili olarak yük aktarım katsayısı kullanılmıştır. Tek sıra Kazıklar ile güçlendirilecek bir şev-kazık sistemi tasarımında kaymaya karşı güvenlik katsayısı ve kazık üzerine şev dilimlerinden aktarılan maksimum kuvvetlerin hesaplanması yukarıdaki parametrelere bağlı olarak yapılmış

• Geoteknik Dayanma Yapısının Stabilitesi (K2)

Farklı geometrilere sahip kazıkların üzerine aktarılan yüklerle bağlı olarak stabilitesinin kesme dayanımı göz önüne alınarak sağlanmasını tanımlamaktadır.

• Çevresel Sürdürülebilirlik Kriteri (K3)

Sürdürülebilirlik değerlendirmesi ile ilgili çalışmalarda sürdürülebilirliğin tüm bileşenlerinin yansıtılması ve bu bileşenlerin aralarında çok fazla çakışmalarının daha gerçekçi sonuçlara ulaşılmasında yardımcı olduğu görülmektedir (Phillis ve Kouikoglou, 2009). Bu çalışma için etki kategorileri; kaynak kullanımı, insan sağlığı ve ekolojik etkiler olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, ReCiPe veritabanına (2016) göre ağırlıklandırılan etki faktörünün hesaplanması amacıyla dikkate alınan çimento ve çelik üretiminin başlıca etki alanları insan sağlığı, asidifikasyon ve küresel ısınma olarak seçilmiştir. ReCiPe'de yapılan araştırmaya uygun olarak (ReCiPe, 2016) insan sağlığı 0.3 ağırlığa sahiptir. Asidifikasyon etkisinin ağırlığı ise 0.3 ve küresel iklim değişikliği kaynaklı küresel ısınmanın ağırlığı 0.4'tür.

Tablo 4.2. *Geoteknik Dayanma Yapısı (Kazık Alternatifleri) ile Güçlendirilmiş Şevde Kaynak Kullanımı Göstergesi Hesabı*

	Enerji Tüketimi (MJ)			Yüzdelik Enerji Tüketim			Etki İndisi	Kaynak Kullanımı Göstergesi		
	Betonarme Çakma Kazık	Fore Kazık	Beton Dolgulu Çelik Boru Kazık	Betonarme Çakma Kazık	Fore Kazık	Beton Dolu Çelik Boru Kazık		Betonarme Çakma Kazık	Fore Kazık	Beton Dolgulu Çelik Boru Kazık
Zemin	27609	27609	27609	33.3	33.3	33.3	0.30	9.99	9.99	9.99
Çimento	41659	41895	41492	33.48	33.49	33.03	0.30	10.04	10.05	9.9
Çelik	52594	31810	166972	23.6	14.2	62.2	0.40	9.44	5.68	24.88
				Gösterge Değeri:				29.47	25.72	44.77

Onarım maliyetleri ve geri dönüşüm maliyeti toplamı yaşam döngüsü maliyet analizinde sosyo-ekonomik etkilerden ilki olarak değerlendirilmiştir. İstinat duvarları ve kazıklar başka projelerde kullanılamayacağı için her iki geoteknik dayanma yapısı için geri dönüşüm maliyeti 0'dır. her iki geoteknik dayanma yapısı onarımı için aynı hasarda kullanılacak malzeme maliyeti eşit olarak kabul edilmiştir. İnşaat Kaynaklı Sorunlar; Gürültü, Titreşim etkileri olarak değerlendirilmiştir. Kazık çakma işlemi, yakın çevrede rahatsızlığa neden olan yüksek gürültü üretirken, titreşim ve gürültü göz önüne alındığında, fore kazıklar daha sürdürülebilir bir seçenek olarak Kabul edilmiştir.

Çalışmada yararlanılan ReCiPe veritabanına (2016) göre yapılan hesaplara göre elde edilen sürdürülebilirlik indisi dikkate alınan kaynak kullanımı indisi ($\dot{I}_{\text{kaynak Kullanımı}}$), sosyo-ekonomik etki indisi ($\dot{I}_{\text{Sosyo-Ekonomik}}$) ve çevresel etki indisi ($\dot{I}_{\text{ÇevreselEtki}}$) göstergelerine bağlı şekilde, Çevresel sürdürülebilirlik = $f(\dot{I}_{\text{kaynak Kullanımı}}, \dot{I}_{\text{Sosyo-Ekonomik}}, \dot{I}_{\text{ÇevreselEtki}})$ matematiksel olarak temsil edilerek hesaplanmış ve bir alternatifin tüm alternatifler içindeki yüzdelik değeri olarak ifade edilmiştir.

Tablo.4.3 Çevresel Sürdürülebilirlik Kriteri Hesap Örneği

Kaynak Kullanımı Etkisi	Çevresel Etki	Sosyo-Ekonomik Etki	Çevresel Sürdürülebilirlik
0.0260	0.0019	0.0566	0.0282
0.0130	0.0020	0.0566	0.0228
0.0039	0.0022	0.0566	0.0192
0.0603	0.0025	0.0566	0.0418

• Yapım Kolaylığı Kriteri (K4)

Yapım kolaylığı kriteri geoteknik dayanma yapısının kazık çapı, kazık boyu ve geometri kolaylığı gözönüne alınarak hesaplanmıştır. geometri kolaylığı denklem içerisinde, insan gücü ve zaman açısından kazıkların sahada göreceli uygulama kolaylığını uygulanacak geometrinin karmaşıklığı üzerinden tanımlar. Farklı geometri kolaylıkları, kazık çapına göre kolaylık, kazık boyuna göre kolaylık açılarından değerlendirilen geoteknik dayanma yapılarında, değerler hesapların ardından çok kriterli karar verme yönteminde kullanılmak üzere normalize edilmiştir.

Tablo. 4.4. *Yapım Kolaylığı Kriteri Hesap Örneği*

Geometri Zorluğu	Normalize Geometri Zorluğu	Kazık Çapı	Normalize Çap	Kazık Boyu	Normalize Boy	Yapım Kolaylığı
1	1	1.8	3.571	8.87	4.290	1.71
1	1	1.2	2.287	9.51	4.647	1.48
1	1	2.4	1.000	12.69	6.431	2.54
10	10	2.25	4.535	6.00	2.681	3.73
7	7	2.00	4.000	5.00	2.120	2.74
1	1	0.6	1.000	9.51	4.647	1.17

• Maliyet Kriteri (K5)

Bu kriter geoteknik dayanma yapısında kullanılacak malzeme miktarına göre malzeme maliyeti ve ihtiyaç duyulan iş makinesine ve iş gücüne bağlı harcamaların tamamını tanımlanmaktadır. İhtiyaç duyulan iş makinesi ve iş gücü; foraj işçiliği, montaj, pasanın yükleme, boşaltma ve taşıma karşılığı, fore kazık delgi makinası ücreti, beton nakli dahil olmak üzere beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 25/30 basınç dayanım sınıfında, hazır beton dökülmesi ile erbab işçi ücretlerinin tamamını Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2021 birim fiyatları üzerinden hesaplanmıştır.

Şev stabilize problemlerinde kullanılacak geoteknik dayanma yapısı alternatifleri, literatür incelendikten ve uzman görüşleri dikkate alındıktan sonra yaygın olarak kullanılan üç farklı kazık tipi olarak seçilmiştir. Belirtilen kazık tipleri, farklı çap, boy, yerleşim ve aralık değerlerine sahiptir.

4.1.4. İkili Karşılaştırma Matrisi

İkili karşılaştırma sisteminde, ele alınacak n tane eleman varsa n elemanın ikili kombinasyonu kadar karşılaştırma yapılması gerekir. İkili karşılaştırma matrisinde, $K_1, K_2, \dots, K_n$ kriterler olarak tanımlanmış ise; $ij=1,2, \dots, n$ için $K=(a_{ij})$ ile temsil edilen $n \times n$ boyutunda bir matriste matrisin elemanları olan a_{ij} aşağıdaki iki özelliğe sahip olmalıdır: Eğer $a_{ij}=k$ ise $a_{ji}=1/k$ olmalıdır. Burada ($k \neq 0$) olur. Eğer K_i ile K_j eşit öneme sahip ise, $a_{ij}=1$ ve $a_{ji}=1$ olmalıdır.

İkili karşılaştırma matrisi oluşturulurken AHP’de kullanılan 1-9 ölçeği Saaty tarafından Tablo 4.5’teki gibi tanımlanmıştır.

Tablo 4.5 *Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) İçin İkili Karşılaştırma Ölçeği*

Önem Derecesi	Tanımlar	Açıklama
1	Eşit Düzeyde Önemli	İki kriterin önemi birbirine eşittir
3	Orta Düzeyde Önemli	Kriterlerden biri diğerine göre biraz daha fazla tercih ediliyor
5	Kuvvetli Düzeyde Önemli	Kriterlerden biri diğerine göre daha fazla tercih ediliyor
7	Çok Kuvvetli Düzeyde Önemli	Kriterlerden biri diğerine göre çok daha fazla tercih ediliyor
9	Aşırı Düzeyde Önemli	Kriterlerden biri diğerine göre aşırı derecede fazla tercih ediliyor
2,4,6,8	Ara değerler	Yukarıda yer alan değerler arasında kalındığı durumlarda tercih edilir

Bu aşamada öncelikle K kriterine göre karşılaştırma matrisinin her sütunun toplamı alınır. Devamında matrisin sütun değerleri, hesaplanan toplam değerlere bölünür ve normalleştirilmiş K matrisi elde edilir. Elde edilen bu matriste satır toplamları alınır ve w öncelikleri elde edilir. w öncelikleri normalleştirilmemiş olan A matrisi çarpılır ve Aw matrisi bulunur. Bu aşama en büyük özdeğer ve bu özdeğere karşılık gelen özvektörün hesaplanmasını ve normalize edilmesini içermektedir. Son olarak, Aw değerlerinin, w önceliklerine bölünmesi ile bulunan değerlerin aritmetik ortalaması hesaplanır ve maksimum özdeğer vektörü olan $\lambda_{\max}$ değeri elde edilir.

Tutarlılık İndeksi ise, $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ formülünden hesaplanır. Rasgele tutarlılık indeksi, RI ise aşağıdaki Tablo 4.6 ile matrisin n boyutuna göre seçilir.

Tablo 4.6. *Tutarlılık İndeksleri*

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.0	0.0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Tutarlılık Oranı ise, $CR = CI / RI$ oranı olarak tanımlanmaktadır. Tutarlılık, ikili karşılaştırmalar sonucunda bulunan değerlerin yani önceliklerin birbirleriyle olan mantıksal ve matematiksel ilişkisi olarak tanımlanabilir. İkili karşılaştırma matrisinin görelî önem vektörü bulunduktan sonra, bulunan bu değerlerin tutarlı olup olmadığını belirlemek amacıyla tutarlılık oranı hesaplanır. AHP yönteminde, ikili karşılaştırma matrisleri için “tutarlılık oranı” 0.1 ve altında olan değerlerde kabul edilebilir niteliktedir.

5. ANKET TEKNİĞİ İLE UZMANLARDAN VERİ TOPLANMASI

Çalışma kapsamında ortaya konulan kriterlerin kavramsal düzeyde geçerliliğini ve öncelik sırasını belirlemek için uzmanlarla bir anket çalışması yapılmıştır. Anket değerlendirmesinde 10 adet ikili karşılaştırma sorusundan oluşan AHP İkili karşılaştırma uzman anketi, 32 uzmandan oluşan bir gruba uygulanmıştır. Uzman grubu bünyesinde Geoteknik saha mühendisleri ve akademisyenleri barındırmaktadır.

Anket kapsamında, “Şev Stabilitesinde Geoteknik Dayanma Yapısı Seçimi” için belirlenen 5 kriterin içerisinde yer aldığı bir anket formu hazırlanmış ve uzmanlardan bu kriterleri önem sırasına göre puanlamaları istenmiştir.

AHP yöntemi kullanılarak ikili karşılaştırmalarla kriterin ağırlıkları hesaplanmıştır. Hesaplanan ağırlıklar ile 32 katılımcıya uygulanan anketten elde edilen veriler, VIKOR yöntemi ile değerlendirilerek kazık alternatifleri karşılaştırılmıştır. AHP sürecinde kriter ağırlıkları, konu ile ilgili uzmanlara yapılan anketler sonucunda, yani bir grup kararına bağlı olarak belirlenir. Geometrik ortalama yaklaşımı literatürde en ideal yaklaşım olarak görülmekte ve bu çalışma kapsamında kullanılmaktadır (Melon ve diğ. 2008). Geoteknik saha mühendisleri ve akademisyenlerin anketlere vermiş oldukları cevaplardan ortak bir yapıya gidebilmek için geometrik ortalama alınarak tek bir ikili karşılaştırma matrisi elde edilmiştir. Geometrik ortalama yaklaşımında, k. uzmanın i. kriter ile j. kriteri karşılaştırması değeri a_{ij}^k olmak üzere n adet uzmanın ortak kararı geometrik ortalama yöntemi kullanılarak

$$a_{ij}^k = [a_{ij}^1 * a_{ij}^2 * ... * a_{ij}^n]^{\frac{1}{n}}$$
 şeklinde tek bir değere indirgenir. Tüm değerlerin (Tüm Uzmanlar) geometrik ortalaması alınması sonucu hesaplanan ve Tablo 5.1’de gösterilen verilerin matris haline getirilmesi sonucu elde edilen AHP başlangıç matrisi Ana Kriterler için oluşturulmuştur.

Tablo 5.1 *Kriter Ağırlıkları ve Karşılaştırma Matrisi*

	Şev Stabilitesi	Geoteknik Dayanma Yapısının Stabilitesi	Çevresel Sürdürülebilirlik	Yapım Kolaylığı	Maliyet
Şev Stabilitesi	1	2	5	8	4
Geoteknik Dayanma Yapısının Stabilitesi	1/2	1	5	7	4
Çevresel Sürdürülebilirlik	1/5	1/5	1	5	2
Yapım Kolaylığı	1/8	1/7	1/5	1	1/7
Maliyet	1/4	1/4	1/2	7	1

Karşılaştırma matrislerindeki tutarlılık oranı aşağıda belirtilen adımlara göre hesaplanmaktadır. İlk olarak, karşılaştırma matrisindeki sütunlarda yer alan elemanların ağırlıklarının toplamı alınır. $CR = 0,106 / 1.12 = 0,095$ olarak Tablo 4.6'ya göre hesaplanmıştır. Şev stabilitesi, geoteknik dayanma yapısının stabilitesi, çevresel sürdürülebilirlik, yapım kolaylığı ve maliyet kriterleri arasında ikili karşılaştırma yapılmış ve bu karşılaştırmanın tutarlılık oranı 0,095 olarak hesaplanmıştır. Tutarlılık oranı 0,10'den küçük olduğu için sonucun tutarlı olduğu görülmektedir. Uzmanların değer yargılarına göre hesaplanan ana kriter ağırlıkları Tablo 5.2'de gösterilmiştir.

Tablo 5.2. *Farklı gruplara ve tüm uzmanlara göre AHP yönteminden elde edilen ana kriter ağırlık sonuçları*

	Şev Stabilitesi	Geoteknik Dayanma Yapısının Stabilitesi	Çevresel Sürdürülebilirlik	Yapım Kolaylığı	Maliyet
Ağırlıklar	0.424	0.303	0.118	0.036	0.119

6. VIKOR

Yapılan anketler sonucu farklı grup değerlendirmelerinden farklı grup ağırlıkları ortaya çıkmıştır. Çalışmanın amacı ise farklı gruplardan (Akademisyenler, Geoteknik Saha Mühendisleri) elde edilen görüşleri tek bir çatı altında toplamak ve Şev stabilitesinde geoteknik dayanma yapısı seçimi yapılacak projelerde yer alan kişilerin değer yargılarını sürece yansıtmaktır. Bu nedenle, çalışmanın bir sonraki aşaması olan VIKOR yöntemi ile alternatiflerin önem derecelerine göre sıralanması aşamasında Tüm Grup ağırlık değerleri kullanılmıştır.

VIKOR yöntemi ilk adımında, her bir kriter için en iyi (f_i^*) ve en kötü (f_i^-) değerleri Denklem 6.1 ile belirlenmiştir.

$$i= 1, 2, \dots, n \text{ için; } f_i^* = \max f_{ij} \quad f_i^- = \min f_{ij} \quad (6.1)$$

Tablo 6.1 Kriterlerin En İyi ve En Kötü İdeal Sonuçları

İdeal Sonuçlar	Şev Stabilitesi	Geoteknik Dayanma Yapısının Stabilitesi	Çevresel Sürdürülebilirlik	Yapım Kolaylığı	Maliyet
f^* (en iyi ideal sonuç)	1.40	1.45	0.02	2.50	2248.12
f^- (en kötü ideal sonuç)	1.89	3.72	0.11	7.49	66977.77

2. adımda, Her bir alternatif için S_j ve R_j değerleri aşağıdaki denklemler ile hesaplanmıştır,

$$S_j = \sum W_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) n_i = 1 \quad (6.2)$$

$$R_j = \max [W_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)] \quad (6.3)$$

Burada; W_i , kriter ağırlıklarını ifade etmekte ve $j= 1, 2, \dots, m$ 'dir.

Tablo 6.2 Alternatiflerin S_j ve R_j Değerleri

Alternatif 1		Alternatif 2		Alternatif 3		Alternatif 4		Alternatif 5	
R_i	S_i	R_i	S_i	R_i	S_i	R_i	S_i	R_i	S_i
0.0173	0.1589	0.0899	0.1663	0.0899	0.1993	0.1138	0.1990	0.1138	0.2238

3. adımda, her bir alternatif veya değerlendirme birimi için Q_j değerleri aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$Q_j = v(S_j - S^*)S^- - S^* + (1-v)(R_j - R^*R^- - R^*) \quad (6.4)$$

Tablo 6.3 Alternatiflerin Q_j Değerleri ve Sıralamaları

Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
Q_i	Q_i	Q_i	Q_i	Q_i
0.1895	0.2523	0.2814	0.3092	0.3311

Yukarıdaki denklemde, $S^* = \min_j S_j$; $S^- = \max_j S_j$; $R^* = \min_j R_j$; $R^- = \max_j R_j$ değerlerini ifade etmektedir. v değeri, maksimum grup faydasını sağlayan strateji için ağırlığı ifade ederken, $(1-v)$ değeri karşıt görüştekilerin minimum pişmanlığının ağırlığını ifade etmektedir. $v = 0,5$ kullanılmıştır.

4. adımda; elde edilen Q_j , S_j , R_j değerleri sıralanır. En küçük Q_j değerine sahip alternatif ya da değerlendirme birimi, alternatifler grubu içerisindeki en iyi seçenek olarak ifade edilir.

5. adımda; elde edilen sonucun geçerli olması için iki koşul sağlanmalıdır. Ancak bu şekilde, minimum Q değerine sahip alternatif, en iyi olarak nitelendirilebilir.

Bu koşullar, aşağıdaki şekilde ifade edilir:

Koşul 1 (C1) - Kabul edilebilir avantaj: En iyi ve en iyiye en yakın seçenek arasında belirgin bir fark olduğunun kanıtlanmasını içeren koşuldur.

$$Q(P2) - Q(P1) \geq D(Q) \quad (6.5)$$

$$0.2523 - 0.1895 \geq 0.02$$

olarak hesaplanmıştır.

(6.6) numaralı eşitsizlikte P1, en az Q değerine sahip olan birinci en iyi alternatif, P2 ise ikinci en iyi alternatiftir. D(Q) değeri (6.7) numaralı eşitlikte ifade edilmiştir. j, alternatif sayısını göstermektedir.

$$D(Q)=1/(j-1) \quad (6.6)$$

Koşul 2 (C2) - Kabul edilebilir istikrar: Elde edilen uzlaşık çözümün istikrarlı olduğunun kanıtlanması açısından şu koşulun sağlanması gerekir: En iyi Q değerine sahip P1 alternatifi, S ve R değerlerinin de en az bir tanesinde en iyi skoru elde etmiştir.

Tablo 6.4 Alternatiflerin S_j ve R_j Değerleri ve Sıralamaları

Alternatif 1		Alternatif 2		Alternatif 3		Alternatif 4		Alternatif 5	
$R_i(1)$	$S_i(1)$	$R_i(2)$	$S_i(2)$	$R_i(3)$	$S_i(4)$	$R_i(5)$	$S_i(3)$	$R_i(4)$	$S_i(5)$
0,0173	0,1589	0,0889	0,1663	0,0899	0,1993	0,1138	0,1990	0,1136	0,2238

Ağırlıklandırılmış normalize matrisinden yararlanarak, her alternatife ait S_j (max grup faydası), R_j (min pişmanlığı) ve Q_j (alternatiflerin nihai skoru) elde edilmektedir. Q_j değerine göre sıralama yapılmasının ardından ise elde edilen öneri tablosu aşağıda gösterilmektedir.

Tablo 6.5 Q değerine göre sıralanan ilk 5 Alternatif İçin Q , R , S değerleri

Q	Alternatif No	R	Alternatif No	S	Alternatif No
0.1895	Alternatif -1	0.0173	Alternatif -1	0,1589	Alternatif -1
0.2523	Alternatif -2	0,0889	Alternatif -2	0,1663	Alternatif -2
0.2814	Alternatif -3	0,0899	Alternatif -3	0,1990	Alternatif -4
0.3092	Alternatif -4	0,1136	Alternatif -5	0,1993	Alternatif -3
0.3311	Alternatif -5	0,1138	Alternatif -4	0,2238	Alternatif -5

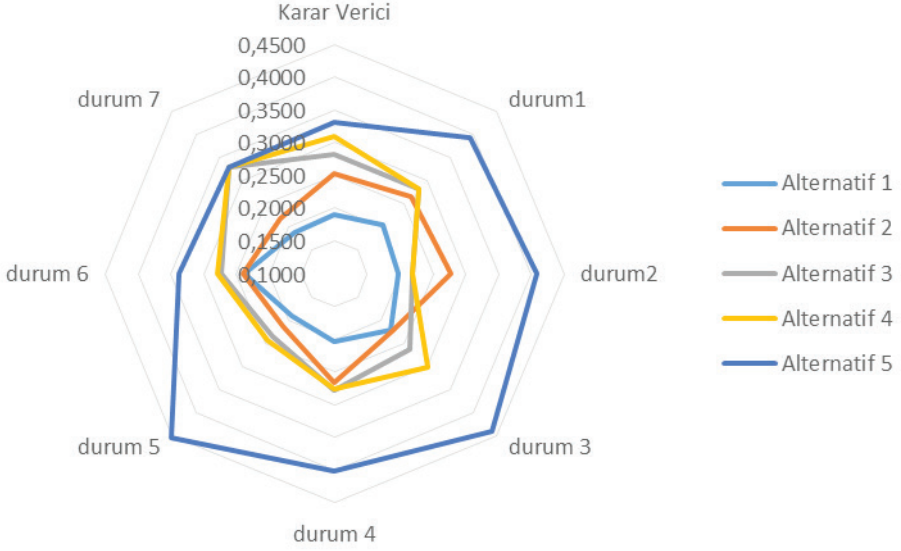
7. DUYARLILIK ANALİZİ

Duyarlılık analizi, karar probleminin çözümü için belirlenen kriter ağırlıklarının değişmesi durumunda karar probleminin sonucu üzerine etkisini inceler. Duyarlılık analizi, girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkiyi anlamak, çıktıların sağlamlığını ortaya çıkarmak ve belirsizliği ölçmek için önemlidir. Duyarlılık analizi ile parametrelerde yapılan değişikliklerin; etkisi, etkinin yönü ve değişim aralığı belirlenebilir. Kriterlerin değişkenlikleri hesaplanırken sadece ana kriterlerin ağırlık değerleri değiştirilerek duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu duyarlılık analizi beş farklı şekilde ana kriter ağırlıkları değiştirildiğinde, alternatiflerin sıralamasının ne şekilde etkilendiğini çalışmanın uygulama kısmındaki VIKOR yöntemi üzerinde uygulanmıştır.

Tablo 7.1 Duyarlılık Analizi Durum Tablosu

	Karar Verici Ağırlıkları	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4	Durum 5	Durum 6	Durum 7
Şev Stabilesi	0.424	1	0	0	0	0	0.2	0.5
Geoteknik Dayanma Yapısının Stabilesi	0.313	0	1	0	0	0	0.2	0.5
Çevresel Sürdürülebilirlik	0.120	0	0	1	0	0	0.2	0
Yapım Kolaylığı	0.034	0	0	0	1	0	0.2	0
Maliyet	0.109	0	0	0	0	1	0.2	0

İlk beş durumda sadece tek ana kriterin ağırlığı bir olup diğerleri sıfır olmuştur. Altıncı durumda ağırlıklar eşit olarak dağıtılıp hesaplama yapılmıştır. Son durumda ise en önemli iki ana kriter olan şev stablesi ve geoteknik dayanma yapısının stablesi yarı yarıya dağıtılıp diğer kriterler sıfır yapılmıştır. Bu yedi durum altında alternatiflerin değerlendirilmesi ve VIKOR yönteminde ana kriter ağırlıklarında belirlenen oranlar değiştirilip uygulandığında oluşan değerler aşağıdaki şekildedir.



Şekil 7.1 VIKOR Yöntemi Q Değeri Duyarlılık Radar Grafiği

VIKOR yöntemi duyarlılık diyagramına bakılıp tüm durumlar için incelenen kriter ağırlıkları göz önüne alındığında, alternatif 1 için en tercih edilebilir alternatif konumundadır. Her durumda ise son alternatif olarak seçilmesi gereken ise alternatif 5'tir. Alternatif 2 ise 2. durumda alternatif 3 ile yer değiştirmelerine rağmen en iyi alternatif ardından gelen ikinci alternatiftir. Alternatif 3 ve alternatif 4 ise durumlara göre birbiriyle yer değiştirdikleri gözlenmiştir. İlk iki alternatifin seçilmediği durumlarda bu iki alternatiften biri için seçilebilecek geoteknik dayanma yapısı durumuna gelmektedir.

8. SONUÇLAR

Geoteknik dayanma yapısı seçimine karar verirken her zaman tecrübeli mühendislerle çalışmak veya onlara her zaman ulaşmak mümkün olmamaktadır. Bu çalışmanın sonucunda Geoteknik dayanma yapısı seçimiyle ilgili tecrübelerle dayalı çok değerli meslek kurallarının literatüre aktarımı sağlanmış ve şev stabilitesi problemlerinde hangi Geoteknik dayanma yapısının seçilebileceği belirlenen kriterler çerçevesinde mühendislerin kullanımına sunulmuştur.

Birçok geoteknik dayanma yapısı alternatifinin olduğu şev stabilitesi probleminde, doğru proje kararını verebilmek oldukça önemlidir. Bu karar çoğu zaman birbiriyle çelişebilen birçok kritere bağlıdır. Böylesine karışık ve önemli kararların verilebilmesi için geliştirilen çok kriterli karar destek sistemleri, karar vericilere en uygun kararın oluşturulmasında yol göstermektedir. Bu tezde, şev stabilitesinde geoteknik dayanma yapısı seçimi için,

3 farklı tip kazık için değişen konum, boy, çapa bağlı alternatifler arasından kriterlere göre en uygun olan geoteknik dayanma yapısı Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve VIKOR yöntemleri kullanılarak seçilmiştir. Bu aşamada belirlenen kriterlere göre fore kazıklar D: 1.20 m – 1.80 m kazık çapı, s/D: 1.88 kazık aralıkları ve ξ : 0.222 – 0.444 kazık şev içindeki konumu için uygun alternatifler olarak seçilebilmektedir. Çalışmaya konu olan şev stabilitesi problemlerinde geoteknik dayanma yapısını belirleme kararında, AHP ile VIKOR yöntemlerinin birlikte kullanılmasının seçim kararını etkileyen kriterleri daha doğru sentezleyebildiği ve geoteknik dayanma yapısı seçiminde karar verici için uygun sonuçları sıraladığı görülmektedir.

REFERANSLAR

- [1] Ito, T., Matsui, T., & Hong, W. P. (1981). Design method for stabilizing piles against landslide-one row of piles. *Soils and Foundations*, 21(1), 21-37.
- [2] Ito, T., Matsui, T., & Hong, W. P. (1982). Extended design method for multi-row stabilizing piles against landslide. *Soils and foundations*, 22(1), 1-13.
- [3] Poulos, H. G. (1995). Design of reinforcing piles to increase slope stability. *Canadian Geotechnical Journal*, 32(5), 808-818. [2] Elmas, Ç. Yapay Zeka Uygulamaları, Seçkin Kitabevi, Ankara, 2011, 424s.
- [4] Liang, R., & Zeng, S. (2002). Numerical study of soil arching mechanism in drilled shafts for slope stabilization. *Soils and foundations*, 42(2), 83-92.
- [5] Yamin, M. (2007). Landslide stabilization using a single row of rock-socketed drilled shafts and analysis of laterally loaded drilled shafts using shaft deflection data (Doctoral dissertation, University of Akron).
- [6] Al Bodour, W. (2010). Development of design and analysis method for slope stabilization using drilled shafts (Doctoral dissertation, University of Akron).
- [7] Liang, R. Y., Joorabchi, A. E., & Li, L. (2014). Analysis and design method for slope stabilization using a row of drilled shafts. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 140(5), 04014001.
- [8] Vassilev, V., Genova, K., & Vassileva, M. (2005). A brief survey of multicriteria decision making methods and software systems. *Cybernetics and information technologies*, 5(1), 3-13.
- [9] Tanadtang, P., Park, D., & Hanaoka, S. (2005). Incorporating uncertain and incomplete subjective judgments into the evaluation procedure of transportation demand management alternatives. *Transportation*, 32(6), 603-626.
- [10] Wang, J. J., & Yang, D. L. (2007). Using a hybrid multi-criteria decision aid method for information systems outsourcing. *Computers & Operations Research*, 34(12), 3691-3700.
- [11] Opricović, S. (2009). Compromise in cooperative game and the VIKOR method. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 19(2), 225-238.
- [12] Shelton, J., & Medina, M. (2010). Integrated multiple-criteria decision-making method to prioritize transportation projects. *Transportation research record*, 2174(1), 51-57.
- [13] Le Nindre, Y. M., Xu, R., Allier, D., Teng, F., Domptail, K., ... & Zeng, R. (2010). CCS scenarios optimization by spatial multi-criteria analysis: Application to multiple source sink matching in Hebei province. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 4(2), 341-350.
- [14] Sanayei, A., Mousavi, S. F., & Yazdankhah, A. (2010). Group decision making process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 37(1), 24-30.

- [15] Liou, J. J., & Chuang, Y. T. (2010). Developing a hybrid multi-criteria model for selection of outsourcing providers. *Expert Systems with Applications*, 37(5), 3755-3761.
- [16] Lombera, J. T. S. J., & Rojo, J. C. (2010). Industrial building design stage based on a system approach to their environmental sustainability. *Construction and Building Materials*, 24(4), 438-447.
- [17] Rahman, M. A., Rusteberg, B., Gogu, R. C., Ferreira, J. L., & Sauter, M. (2012). A new spatial multi-criteria decision support tool for site selection for implementation of managed aquifer recharge. *Journal of environmental management*, 99, 61-75.
- [18] Akadiri, P. O., Olomolaiye, P. O., & Chinyio, E. A. (2013). Multi-criteria evaluation model for the selection of sustainable materials for building projects. *Automation in construction*, 30, 113-125.
- [19] Balali, V., Mottaghi, A., Shoghli, O., & Golabchi, M. (2014). Selection of appropriate material, construction technique, and structural system of bridges by use of multicriteria decision-making method. *Transportation research record*, 2431(1), 79-87.
- [20] Formisano, A., & Mazzolani, F. M. (2015). On the selection by MCDM methods of the optimal system for seismic retrofitting and vertical addition of existing buildings. *Computers & Structures*, 159, 1-13.
- [21] Monghasemi, S., Nikoo, M. R., Fasaee, M. A. K., & Adamowski, J. (2015). A novel multi criteria decision making model for optimizing time–cost–quality trade-off problems in construction projects. *Expert systems with applications*, 42(6), 3089-3104
- [22] Hajipour, V., Fattahi, P., Tavana, M., & Di Caprio, D. (2016). Multi-objective multi-layer congested facility location-allocation problem optimization with Pareto-based meta-heuristics. *Applied Mathematical Modelling*, 40(7-8), 4948-4969.
- [23] Turskis, Z., & Juodagalvienė, B. (2016). A novel hybrid multi-criteria decision-making model to assess a stairs shape for dwelling houses. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(8), 1078-1087.
- [24] De la Fuente, A., Armengou, J., Pons, O., & Aguado, A. (2017). Multi-criteria decision-making model for assessing the sustainability index of wind-turbine support systems: Application to a new precast concrete alternative. *Journal of Civil Engineering and Management*, 23(2), 194-203.
- [25] Pujadas, P., Pardo-Bosch, F., Aguado-Renter, A., & Aguado, A. (2017). MI-VES multi-criteria approach for the evaluation, prioritization, and selection of public investment projects. A case study in the city of Barcelona. *Land Use Policy*, 64, 29-37.
- [26] Beg, I., & Rashid, T. (2017). Modelling uncertainties in multi-criteria decision making using distance measure and TOPSIS for hesitant fuzzy sets. *Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research*, 7.

- [27] Khoshnava, S. M., Rostami, R., Valipour, A., Ismail, M., & Rahmat, A. R. (2018). Rank of green building material criteria based on the three pillars of sustainability using the hybrid multi criteria decision making method. *Journal of Cleaner Production*, 173, 82-99.
- [28] Lee, M., Yu, C. Y., Chiang, P. C., & Hou, C. H. (2018). Water–energy nexus for multi-criteria decision making in water resource management: a case study of Choshui River Basin in Taiwan. *Water*, 10(12), 1740.
- [29] Kiani Mavi, R., & Standing, C. (2018). Cause and effect analysis of business intelligence (BI) benefits with fuzzy DEMATEL. *Knowledge Management Research & Practice*, 16(2), 245-257.
- [30] Mateusz, P., Danuta, M., Małgorzata, Ł., Mariusz, B., & Kesra, N. (2018). TOPSIS and VIKOR methods in study of sustainable development in the EU countries. *Procedia Computer Science*, 126, 1683-1692.
- [31] Josa, I., Tošić, N., Marinković, S., de la Fuente, A., & Aguado, A. (2021). Sustainability-oriented multi-criteria analysis of different continuous flight auger piles. *Sustainability*, 13(14), 7552.
- [32] Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2007). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *European journal of operational research*, 178(2), 514-529.
- [33] Saaty, T.L., 1990. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*.
- [34] Phillis, Y. A., Kouikoglou, V. S., & Zhu, X. (2009). Fuzzy assessment of material recyclability and its applications. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 55(1), 21-38.
- [35] Huijbregts, M.A.J., Steinmann, Z.J.N., Elshout, P.M.F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M.D.M., Hollander, A., Zijp, M., van Zelm, R., 2017. ReCiPe 2016 v1.1: A Harmonized Life Cycle Impact Assessment Method at Midpoint and Endpoint Level
- [36] Cortés-Aldana, F. A., García-Melón, M., Fernández de Lucio, I., Aragonés-Beltrán, P., & Poveda Bautista, R. (2008). A methodology based on multi-criteria techniques (AHP and ANP) for measuring the degree of alignment between the objectives of a university and the results obtained in its relations with the socioeconomic environment.



BÖLÜM 12

BİYOMEDİKAL UYGULAMALAR İÇİN ALANLARI AYARLANABİLİR KALICI MIKNATISLARIN TASARIM KONSEPTLERİ

Serhat KÜÇÜKDERMENCİ'

1. GİRİŞ

Alanları ayarlanabilir kalıcı mıknatıslarla manyetik olarak yönlendirilen nanoparçacıkların tıbbi uygulamaları olarak minyatür robotlar (Yang & Zhang, 2020), ilaç dağıtımı (You et al., 2019), hipertermi ve alternatif lokal manyetik terapötik etkiler (Küçükdermenci, 2021) ve nano mekanikte (Cao et al., 2020) nanopartiküller vb. gibi uygulamalar sayılabilir. Kalıcı mıknatısların süperparamanyetik nanoparçacıkların çözeltiden ayrılması için kullanımı gibi biyotıpta daha birçok mıknatis uygulaması vardır. Nanopartiküller işlevselleştirilirse bu yolla çözeltiden belirli maddeler çıkarılabilir. Mıknatıslar ayrıca manyetik parçacık görüntüleme (MPI) yöntemlerinde ve manyetik ilaç hedeflemede manyetik taşıyıcıları manipüle etmek için bir araç olarak da kendine geniş bir uygulama alanı bulmuştur.

Manyetik ilaç hedefleme, vücuttaki manyetik ilaç taşıyıcılarının hedef bölgeye ulaşması için harici manyetik alanlar tarafından manipüle edildiği bir yöntemdir. Başarılı manyetik ilaç hedefleme, ilaç taşıyıcılarını hedef bölgeye yönlendirmek için iyi bir mıknatis sistemi gerektirir (Sliker et al., 2015).

MPI, süperparamanyetik demir oksit nanoparçacıkların (SPION'lar) 3B olarak doğrudan görselleştirilmesi için bir görüntüleme yöntemidir (Talebloo et al., 2020). Bu yöntem SPION'ların zamanla değişen manyetik alanlara doğrusal olmayan manyetizasyon tepkisi prensibine dayanır. SPION dağılımını görüntülemek için, güçlü bir manyetik alan gradyanı şeklindeki alansız bir bölge (alansız nokta – FFP veya alansız hat – FFL), tüm alanı taramak için görüş alanı (FOV) boyunca bilinen bir yörünge üzerinde adım adım hareket ettirilir. Güçlü manyetik alan gradyanları oluşturmak için MPI taramasının bobinlerini çalıştıran yükselticiler oldukça yüksek güç gerektirir. Ayrıca, yükselticiler tarafından doğrudan harmonikleri bastırmak için elde edilen sinyalin yüksek güçlü pasif filtreler tarafından filtrelenmesi gerekir. Etkisiz bir filtreleme, alıcı kısımdaki mevcut sinyal-gürültü (SNR) miktarını azaltır. Bu sorunu çözmek donanımsal olarak gelişmiş bir yapıya ihtiyaç duyulabilir. İstenen güçlü manyetik alan gradyanının yanı sıra zamanla değişen manyetik alanların üretilmesi için elektrik bobinlerinin kullanımı, esnek ve hızlı görüntüleme sağlar. Ancak buna karşılık gelen yüksek enerji tüketimi ayrıca kendine özgün soğutma sistemleri gerektirir. Gerekli manyetik alanların üretimi için elektrik bobinleri kullanmak yerine, Halbach halkaları gibi kalıcı mıknatis konfigürasyonları kullanılabilir. Kalıcı mıknatısların kullanımı, elektrik gücü ve soğutma gerektirmeden yüksek manyetik alan gradyanları oluşturma avantajı sağlar. Örneğin, 1 cm³ hacmindeki nadir toprak mıknatısları tarafından üretilen manyetik alanı elektromıknatıslarla oluşturmak için birkaç kW'lık elektrik gücüne ihtiyaç vardır. Manyetik alan üretmek için oluşturulan elektrikli sistemlerde üretilen ısıнын soğutularak ortamdan uzaklaştırılması gerekir. Kalıcı mıknatısların yönü ve gücü zamandan ba-

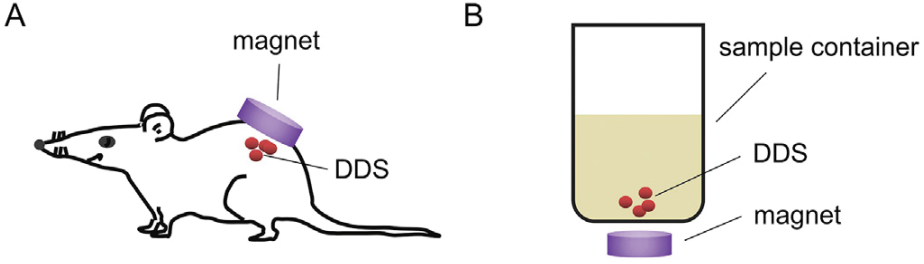
ğımsızdır ve birçok sistemin kendine has şartlarına göre düzenleme yapılabilir. Ayrıca oluşan manyetik alanın yönü ve gücü basit bir mekanik rotasyonla kolayca değiştirilebilir (Leupold et al., 1993).

2. Statik alanlı mıknatıs sistemleri

Statik alanlı mıknatıs sistemleri, manyetik alanın zamanla sabit kaldığı sistemlerdir. Alanın üretildiği kaynağa göre, sistemler iki kategoriye ayrılabilir: kalıcı mıknatıs sistemi ve elektromıknatıs sistemi. Bu çalışmada özellikle kalıcı mıknatıs sistemlerine değinilecektir.

2.1 Kalıcı mıknatıslar

Tek bir kalıcı mıknatıs, biyomedikal uygulamalar için en basit konfigürasyondur. Biyotıp uygulamalarından biri olan manyetik ilaç hedefleme yöntemlerinden biri olarak tek kalıcı mıknatıs kullanımı Şekil 1’de gösterilmektedir. Şekil 1a, klinik deneylerde kullanılabilecek mıknatısın vücudun yüzeyinde lezyon bölgesine yakın herhangi bir yere yerleştirilmesini gösterir. Kalıcı mıknatısın neden olduğu manyetik çekme kuvveti nedeniyle DDS olarak da bilinen ilaç taşıyan manyetik taşıyıcıları (Anselmo & Mitragotri, 2014) mıknatısa yakın bölgede yakalanacaktır. Şekil 1b’deki numune kabı, manyetik nanoparçacıklar içeren bir kap (Herea et al., 2019), hücre yakalamanın nanoparçacıklar üzerindeki etkisini incelemek için bir hücre kültürü kabı (You et al., 2019) vb. olabilir. Bu tip deneyler simülasyon deneyi olarak da adlandırılır. Kullanılan mıknatıs, farklı şekil ve boyutlarda bir kalıcı mıknatıs olabilir. Hedefleme performansı, mıknatısın şekli ve boyutu ile yakından ilişkilidir. Elektromıknatıslarla karşılaştırıldığında kalıcı mıknatıslar daha çeşitli şekillere sahiptir ve pratik uygulamalar için kalıcı mıknatısların şekli dikkate alınması gereken önemli bir konudur. Depalo ve diğ. (Depalo et al., 2017), hücre kültürü kabının altına yerleştirilmiş halka ve kare şekilli iki farklı kalıcı mıknatısın etki alanındaki hücreler tarafından nanoparçacıkların alınımı karşılaştırmıştır. Her iki mıknatıs da $B = 1.17$ T değerindeki aynı manyetik akı yoğunluğuna sahiptir. Sonuçlar halka mıknatısın diğer tipteki mıknatıslara göre daha etkili olduğunu göstermiştir. Manyetik nanoparçacıkların (polivinil alkol kaplı manyetik taşıyıcı nanoparçacıkların) biriktirilmesine ilişkin simülasyon deneyinde Kayal ve diğ. (Kayal et al., 2011) silindirik mıknatısların dikdörtgen olanlardan daha uygun olduğunu bulmuşlardır.



Şekil 1. Tek bir kalıcı mıknatıs kullanılarak manyetik hedeflemenin şematik gösterimi. DDS'yi mıknatısın yakınındaki bölgeye çekmek için a) mıknatısın lezyon bölgesinin yakınındaki cilde tutturulması, b) mıknatısın numune kabının yakınına yerleştirilmesi.

Tek bir kalıcı mıknatısın maksimum mıknatıslık değeri yaklaşık 1,5 T'ye ulaşabilirken daha yüksek manyetik alan yoğunluğu elde etmek için birden fazla kalıcı mıknatısın kullanılması gerekir. Özel olarak tasarlanmış bir manyetik alan kaynağı yüksek manyetik alana ve spesifik alan dağılımına sahip hedefleme amacı için daha uygun olabilir. Kalıcı mıknatıs düzeneği, gerekli manyetik alan dağılımını sağlamak için özel olarak tasarlanmış entegre bir mıknatıs sistemine monte edilmiş iki veya daha fazla kalıcı mıknatıstan oluşan bir birim olarak tanımlanabilir. Birçok farklı mıknatıs düzeneği tasarımı arasında manyetik alanı artırmanın en iyi yolu Halbach dizisidir. Halbach dizisi ilk olarak 1979'da Amerikalı fizikçi Klaus Halbach tarafından önerilmiştir. Halbach dizisinin manyetik alanı artırmak için ana ilkesi dizinin her bir elemanından çıkan manyetik akı yoğunluğu vektörlerini bir bölgede birbirlerini destekleyecek şekilde kutup yönlerini ayarlamaktır. Bu şekilde dizinin bir tarafındaki manyetik alan artar ve diğer taraftaki manyetik alan zayıflar. Halbach dizisinin kullanılmasıyla kalıcı mıknatıs tarafından indüklenen manyetik alan 4-5 T'ye kadar ulaşabilir (Kumada et al., n.d.). Dolayısı ile Halbach dizisi daha yüksek manyetik alan gücü ve alan dağılımı nedeniyle gelişmiş hedefleme performansı gerektiren uygulamalar için daha uygun bir manyetik alan kaynağı adayı olmaktadır.

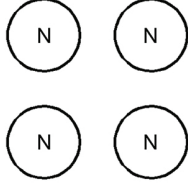
Mıknatıs sistemlerinin çoğu katmanlı yapılarla yeniden düzenlenebilir. Yapıdaki mıknatıs katmanlarının sayısına göre, mıknatıs düzeneğini tek katmanlı mıknatıs dizisi ve çok katmanlı mıknatıs dizisi olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. Tek katmanlı mıknatıs dizilerinin bazı örnekleri Şekil 2'de verilmektedir. Şekil 2a (Häfeli et al., 2007), tek katmanlı Halbach dizisinin yapısını göstermektedir. Doğrusal Halbach dizisi manyetik bir bandaj olarak faydalı olabilecek bir taraftaki (alt taraf) alanı artırmak ve diğer taraftaki (üst taraf) alanı azaltmak için tasarlanmıştır. Şekil 2b-2d, aynı zamanda tek katmanlı diziler olan manyetik bandajlar için tasarlanmış diğer mıknatıs dizilerini göstermektedir. Yapıları birbirine benzeyen bu dizilerdeki tek fark manyetizasyon yönlerinin farklı olmasıdır. Bu tasarımlar doğrusal Halbach

dizisi ile karşılaştırılmış ve Halbach dizisinin daha iyi parçacık yakalama kabiliyeti gösterdiği ortaya çıkarılmıştır (Häfeli et al., 2007). Şekil 2e, özgün bir mıknatıs çifti tasarımını göstermektedir. Normalde mıknatıs manyetik nanoparçacıkları çekerken Shapiro ve diğ. (Shapiro et al., 2010) iki mıknatısı bir açıyla yerleştirerek mıknatısın önünde lokalize bir zayıf alan oluşturan bir sistem tasarlamıştır. Zayıf manyetik alana yerleştirilen manyetik parçacıkların çekilmek yerine uzağa itileceği bu sistem iç kulak ve göz hastalıklarını tedavi etmek amacıyla kullanılabilir.

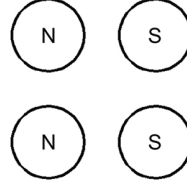
A



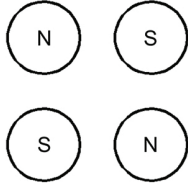
B



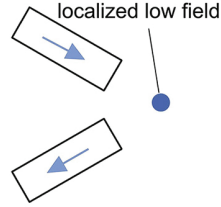
C



D



E

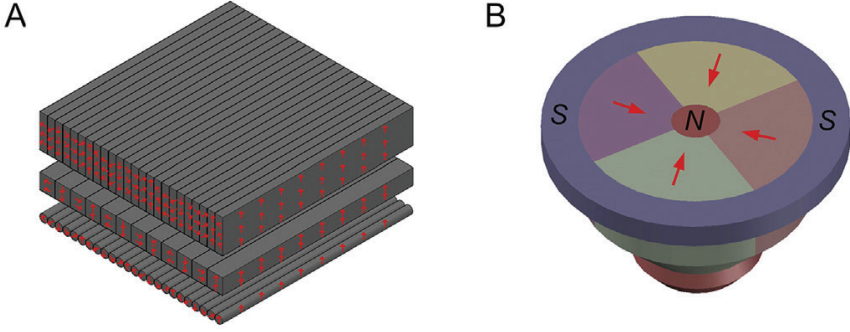


Şekil 2. Tek katmanlı mıknatıs düzeneklerinin farklı yapıdaki örnekleri. a) yandan görünüm, b-d) üstten görünüm (Häfeli et al., 2007), e) manyetik parçacıkları yakalamak yerine itmeye yönelik bir tasarımın yandan görünümü (Azeem Sarwar et al., 2013; Shapiro et al., 2010).

Yukarıdaki dizilere ek olarak, başka tasarım türleri de mümkündür. Örneğin, Al Faraj ve diğ. (Al Faraj et al., 2014) çift kutuplu ve çok kutuplu kalıcı mıknatısların manyetik ilaç hedefleme üzerindeki etkilerini karşılaştırmıştır. Süperparamanyetik demir oksit nanoparçacıklarını (SPION) hedeflemek için yapılan bu araştırma çok kutuplu kalıcı mıknatıs yapısının, mıknatıs olmayan duruma ve iki kutuplu mıknatıs yapısına sahip duruma kıyasla parçacık hedefleme etkisini arttırdığını göstermiştir.

Çok katmanlı mıknatıs dizisi, birden fazla mıknatıs dizisi katmanını kullanır. Bu yapılar belirli bir hedefleme amacı için daha da güçlü manyetik alan

4a Hayden ve diğ. tarafından tasarlanan her biri farklı bir mıknatıs şekline ve manyetizasyon yönüne sahip çok katmanlı bir doğrusal Halbach dizisidir (Hayden & Häfeli, 2006). Şekil 4b Barnsley ve diğ. tarafından tasarlanan bir uzaysal dizidir (Barnsley et al., 2016) ve bu yapı altı farklı manyetizasyon yönünden oluşur.



Şekil 4. a) Çok katmanlı doğrusal Halbach dizisi, b) 3 boyutlu uzaysal Halbach dizisi. (Barnsley et al., 2016; Hayden & Häfeli, 2006).

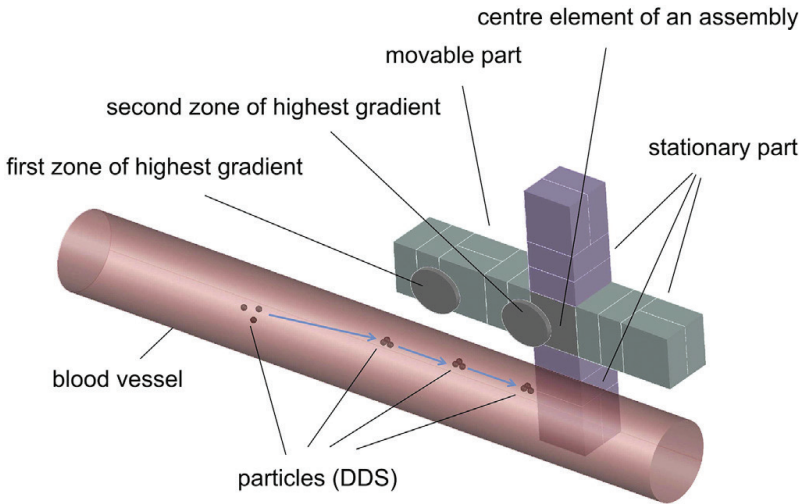
3. DEĞİŞKEN ALANLI MIKNATIS SİSTEMLERİ

Değişken alanlı mıknatıs sistemleri, manyetik alanın zamanla değiştiği sistemleri ifade eder. Bu tür değişken alanlı mıknatıs sistemleri numune ve mıknatıs arasındaki oransal hareketle gerçekleştirilebilir. Manyetik alan kaynağına göre bu sistemler iki kategoriye ayrılabilir: hareketli kalıcı mıknatıs sistemi ve değişken alan elektromıknatıs sistemi. Bu çalışmada sadece hareketli kalıcı mıknatıs sistemlerinden bahsedilecektir.

Kalıcı mıknatıslardan değişken bir manyetik alan elde etmek için mıknatıslar numunenin referans alınarak hareket ettirilmelidir. Bunun için mıknatısların hareketini gerçekleştirmek için mekanik bir sistem gereklidir (Liu et al., 2018; Mahoney & Abbott, 2014). Genellikle bu mekanik sistem hareket, öteleme, dönme hareketleri ve birleşik hareketleri içerecek şekilde tasarlanır.

Skiedraite ve diğ. (Skiedraite et al., 2018) farklı kan akış hızlarında partikül rehberliği için iki yüksek manyetik alan gradyan bölgesi içeren bir mıknatıs modeli oluşturmuştur. Tasarladıkları model iki doğrusal Halbach dizisinden oluşmaktadır. Şekil 5’de gösterildiği gibi iki dizi (biri yeşil, diğeri mor olarak gösterilmiştir) artı biçiminde bir yapı oluşturur. Birinci yüksek gradyan bölgesi parçacıkları kabın merkezinden kenara doğru yönlendirir. Ardından dizinin bir kısmı çıkarılır ve son olarak ikinci yüksek gradyan bölgesi parçacıkları hedeflenen bölgeye yönlendirir.

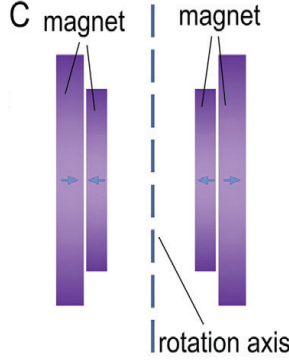
Baun ve diğ. (Baun & Blümmler, 2017) MNP'lerin iki boyutlu (2B) manipülasyonunu elde etmek için üç dairesel Halbach dizisi kullanmıştır. Dizilerden biri parçacıkları manyetize etmek ve parçacıkları yönlendirmek için kullanılan homojen bir manyetik alan üretir. Başka bir dizi, parçacıklar üzerinde bir kuvvet uygulayan gradyan manyetik alanı üretir ve kuvvetin yönü iki dizi arasındaki açı değiştirilerek belirlenebilir. Kuvvetin büyüklüğünü ayarlamak için, üçüncü dizi aracılığıyla başka bir gradyan manyetik alan üretilir ve kuvvetin yoğunluğu iki gradyan manyetik alan dizisi arasındaki açı ayarlanarak ayarlanabilir. Tasarım iyi bir teorik temele sahiptir ancak yapının karmaşıklığından dolayı fiili işlemede bazı zorluklar vardır. Bu nedenle gerçek işleme modeli yalnızca bir homojen manyetik alan ve bir gradyan manyetik alan içerir. Bu yalnızca kuvvetin yönünün ayarlanabileceği ama kuvvetin büyüklüğünün ayarlanamayacağı anlamına gelir. Baun ve diğ. (Baun & Blümmler, 2017) homojen manyetik alan ve gradyan manyetik alan dizisi arasındaki açıyı ayarlayarak 30 μm 'lik MNP'lerin 2 boyutlu yön kontrolünü başarmışlardır. Bu tasarım ayrıca teorik bir perspektiften 2B'den 3B partikül manipülasyonuna kadar uzanabilir ancak gerekli yapı daha karmaşık ve uygulanması zor olacaktır.



Şekil 5. DDS'yi hedeflenen bölgeye kademeli olarak yönlendiren çapraz şekilli bir kombine mıknatıs sisteminin şematik gösterimi (Skiedraite et al., 2018).

Krzyminiewski ve diğ. (Krzyminiewski et al., 2017) dört kalıcı mıknatıs döndürerek bir manyetik parçacık kontrol sistemi kurmuştur. Sistem her biri daha büyük bir silindirik mıknatıs ve daha küçük bir silindirik mıknatıs içeren iki çift kalıcı mıknatıs içermektedir. İki mıknatıs küçük bir ara mesafe

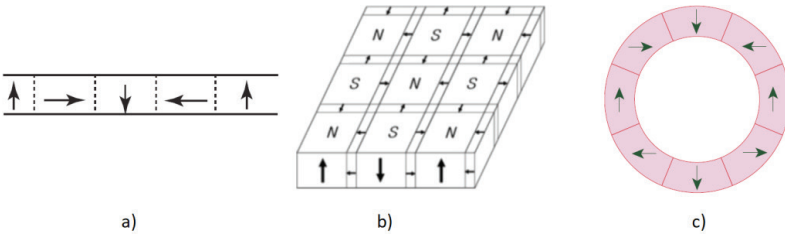
ile birbirinin karşısına monte edilmiştir. Sistem kurulumu Şekil 6’de gösterilmiştir. İki mıknatıs çifti arasına manyetik parçacık çözeltisi içeren bir kap yerleştirilir. İki çift mıknatıs eksen etrafında döndüğünde manyetik parçacıkların kabın ortasında yoğunlaştığı görülmüştür.



Şekil 6. Hedefleme için mıknatısların mekanik hareketi örnek gösterimi (Krzyminiewski et al., 2017).

3.1 Kuvvet yön seçimi için Halbach dizi konsepti

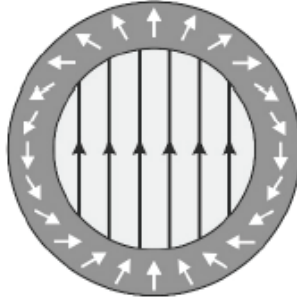
Halbach dizisi terimi kutupları birbirine paralel olmayan doğrusal (Küçükdermenci, 2022) veya düzlemsel (Rui Huang et al., 2008) konfigürasyonlarda veya eşmerkezli olarak hizalanmış dairesel yönlerde (Baun & Blümler, 2017) herhangi bir kalıcı mıknatıs düzenlemesini ifade eder. Şekil 7 doğrusal, düzlemsel ve dairesel Halbach dizisi örneklerini göstermektedir.



Şekil 7. Halbach dizi örnekleri. a) Doğrusal (Küçükdermenci, 2022), b) Düzlemsel (Rui Huang et al., 2008) ve c) Dairesel (Baun & Blümler, 2017).

Dairesel Halbach dizileri ile Şekil 8’de görülen, harici güç kaynağı gerektirmeyen tek yönlü bir manyetik alan yani bir dipol alan oluşturulabilir. Halbach dizisi özel bir mıknatıs düzenlemesi kullanılarak dizinin bir yönündeki alan gücünü artırma prensibine dayanır. Burada amaç en güçlü manye-

tik alanı oluşturmak için az sayıda mıknatıs kullanmaktır (Halbach, 1980).



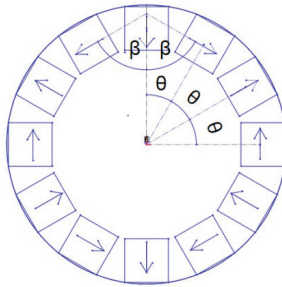
Şekil 8. Dairesel Halbach dizisi tarafından üretilen dipol alanı (Blümler, 2016).

Dairesel Halbach dizisinin kalıcı mıknatıs düzeni (bkz. Şekil 9) Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 ile şöyle açıklanabilir:

$$\beta = \frac{(p-1)\pi}{mp} \quad (1)$$

$$\theta = \frac{\pi}{mp} \quad (2)$$

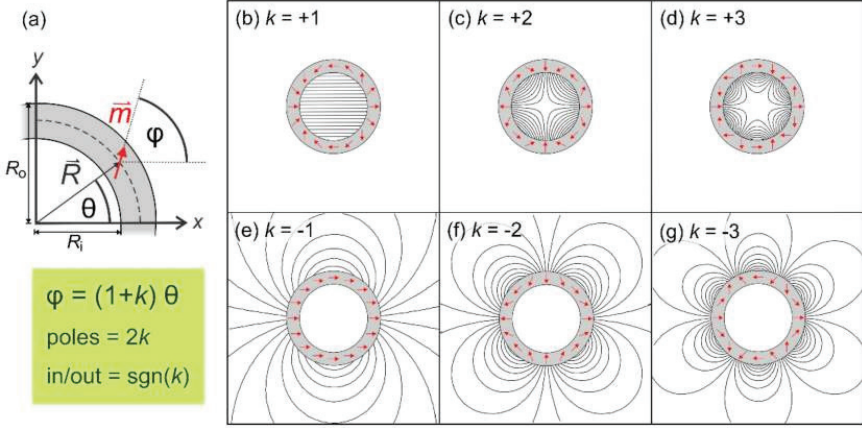
Burada m her bir kutbun altındaki kalıcı mıknatısın parça sayısı, θ tek bir kalıcı mıknatısın açısı, β tek bir kutuptaki iki bitişik kalıcı mıknatısın mıknatıslanma açısı ve p kutup çiftlerinin sayısıdır.



Şekil 9. Halbach dizisinin kalıcı mıknatıs düzeni.

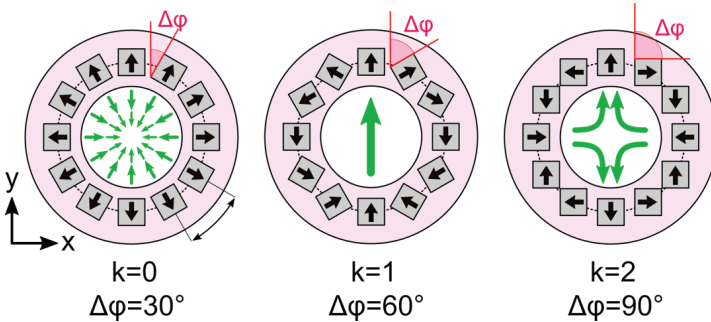
İdeal silindirik Halbach çoklu kutupları için temel tasarım fikri Şekil 10'da gösterilmektedir (Blümler, 2021). Bu idealleştirilmiş mıknatıs sonsuz uzunlukta ve sürekli değişen mıknatıslanma yönüne sahip içi boş bir silindir olarak kabul edilebilir. Mıknatıslanma yönünün açısı φ , konum açısına θ ile matematiksel olarak ilişkilidir (bkz. Şekil 10a). Bu ilişki aslında eşitlik 1 ve

2'nin başka yoldan ifadesi olarak adlandırılabilir.



Şekil 10. a) Mıknatıslanma yönü konum açısı ilişkisi; dipolar, quadrupolar ve hexapolar alanlar b-d) silindir içinde, e-g) silindir dışında (Blümler, 2021).

Şekil 10b-d'de görüldüğü gibi Halbach dizi elemanlarının yönleri değiştirilerek dipol, quadrupol ve hexapol manyetik alan yapıları oluşturulabilir. Bu yapılar sırasıyla $k=1$, $k=2$ ve $k=3$ olarak adlandırılır. k 'nin pozitif değerleri için manyetik alanlar silindir içindedir. k 'nin negatif değerleri içinse manyetik alanlar silindir dışında bulunmaktadır (Şekil 10e-g). $k=0$ için manyetizasyon radyal oryantasyona sahiptir ve enine alan (yalnızca eksenel, z-yönü) üretilmez. $k=0$ için mıknatıslanma yönü açısı 30° , $k=1$ için açı 60° ve $k=2$ için açı 90° derecedir (bkz. Şekil 11).



Şekil 11. Halbach halkalarının farklı düzenlenmesiyle farklı manyetik alan desenlerinin iç bölgede oluşturulması.

4. SONUÇLAR

Biyomedikal uygulamalar için alanları ayarlanabilir kalıcı mıknatısların tasarım konseptleri manyetik ilaç dağıtımı, manyetik hipertermi, manyetik kılavuzlama, manyetik parçacık görüntüleme vb. gibi farklı uygulama ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde düzenlenebilir. Uzaysal olarak homojen manyetik alan sağlayabilen, sabit manyetik alan gradyanları üreten, gradyan bobinleri ve yükselticileri olmadan çeşitli biyomedikal uygulamalar için uygun koşullar yaratan kalıcı mıknatıs gereksinimleri için Halbach dizileri ile değişik seçenekler sunulabilir. Dipol, quadropol ve hexapol yapıların birleştirilmesiyle ortaya çıkacak konseptler öncelikle FEM simülasyonları ile desteklenip kullanım amacına göre prototipler ortaya çıkarılabilir. Örneğin biyomedikal uygulamalardan biri olan manyetik rezonans görüntüleme için uygun koşullar güçlü bir Halbach dipolü üzerine zayıf bir Halbach quadropolünün bindirilmesiyle elde edilebilir. Quadropol veya tüm mıknatıs düzeninin döndürülmesi filtrelenmiş geri yansıtma yoluyla iki boyutlu görüntüler oluşturmak için kullanılabilir. Ek olarak, ortaya çıkan gradyanı ölçeklemek için iki quadropolün karşılıklı dönüşü kullanılabilir. Bu ayarlanabilir kalıcı mıknatısların tasarım konseptlerinin tıbbi kullanıma uygun, basit, sağlam ve etkili biyomedikal sistemleri oluşturmaya yardımcı olacağı umulmaktadır.

KAYNAKLAR

- Al Faraj, A., Shaik, A. S., Shaik, A. P., & Al Sayed, B. (2014). Enhanced magnetic delivery of superparamagnetic iron oxide nanoparticles to the lung monitored using noninvasive MR. *Journal of Nanoparticle Research*, 16(10), 2667. <https://doi.org/10.1007/s11051-014-2667-9>
- Anselmo, A. C., & Mitragotri, S. (2014). An overview of clinical and commercial impact of drug delivery systems. *Journal of Controlled Release*, 190, 15–28. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2014.03.053>
- Barnsley, L. C., Carugo, D., Owen, J., & Stride, E. (2015). Halbach arrays consisting of cubic elements optimised for high field gradients in magnetic drug targeting applications. *Physics in Medicine and Biology*, 60(21), 8303–8327. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/60/21/8303>
- Barnsley, L. C., Carugo, D., & Stride, E. (2016). Optimized shapes of magnetic arrays for drug targeting applications. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 49(22), 225501. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/49/22/225501>
- Baun, O., & Blümmler, P. (2017). Permanent magnet system to guide superparamagnetic particles. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 439, 294–304. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2017.05.001>
- Blümmler, P. (2021). Magnetic Guiding with Permanent Magnets: Concept, Realization and Applications to Nanoparticles and Cells. *Cells*, 10(10), 2708. <https://doi.org/10.3390/cells10102708>
- Blümmler, P. (2016). Proposal for a permanent magnet system with a constant gradient mechanically adjustable in direction and strength. *Concepts in Magnetic Resonance Part B: Magnetic Resonance Engineering*, 46(1), 41–48. <https://doi.org/10.1002/cmr.b.21320>
- Cao, Q., Fan, Q., Chen, Q., Liu, C., Han, X., & Li, L. (2020). Recent advances in manipulation of micro- and nano-objects with magnetic fields at small scales. *Materials Horizons*, 7(3), 638–666. <https://doi.org/10.1039/C9MH00714H>
- Depalo, N., Iacobazzi, R. M., Valente, G., Arduino, I., Villa, S., Canepa, F., Laquintana, V., Fanizza, E., Striccoli, M., Cutrignelli, A., Lopodota, A., Porcelli, L., Azzariti, A., Franco, M., Curri, M. L., & Denora, N. (2017). Sorafenib delivery nanoplatform based on superparamagnetic iron oxide nanoparticles magnetically targets hepatocellular carcinoma. *Nano Research*, 10(7), 2431–2448. <https://doi.org/10.1007/s12274-017-1444-3>
- Häfel, U. O., Gilmour, K., Zhou, A., Lee, S., & Hayden, M. E. (2007). Modeling of magnetic bandages for drug targeting: Button vs. Halbach arrays. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 311(1), 323–329. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2006.10.1152>
- Halbach, K. (1980). Design of permanent multipole magnets with oriented rare earth cobalt material. *Nuclear Instruments and Methods*, 169(1), 1–10. [https://doi.org/10.1016/0029-554X\(80\)90094-4](https://doi.org/10.1016/0029-554X(80)90094-4)

- Hayden, M. E., & Häfeli, U. O. (2006). 'Magnetic bandages' for targeted delivery of therapeutic agents. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 18(38), S2877–S2891. <https://doi.org/10.1088/0953-8984/18/38/S23>
- Herea, D.-D., Labusca, L., Radu, E., Chiriac, H., Grigoras, M., Panzaru, O. D., & Lupu, N. (2019). Human adipose-derived stem cells loaded with drug-coated magnetic nanoparticles for in-vitro tumor cells targeting. *Materials Science and Engineering: C*, 94, 666–676. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.10.019>
- Kayal, S., Bandyopadhyay, D., Mandal, T. K., & Ramanujan, R. V. (2011). The flow of magnetic nanoparticles in magnetic drug targeting. *RSC Advances*, 1(2), 238. <https://doi.org/10.1039/c1ra00023c>
- Krzyminiewski, R., Dobosz, B., Schroeder, G., & Kurczewska, J. (2017). The principles of a new method, MNF-3D, for concentration of magnetic particles in three-dimensional space. *Measurement*, 112, 137–140. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.08.034>
- Küçükdermenci, S. (2021). Analysis of field free region formed by parametric positioning of a magnet pair for targeted magnetic hyperthermia. *Kuwait Journal of Science*. <https://doi.org/10.48129/kjs.16097>
- Küçükdermenci, S. (2022). Investigation of field free region formed by dual Halbach array for focused magnetic hyperthermia. *Journal of Electrical Engineering*, 73(2), 152–157. <https://doi.org/10.2478/jee-2022-0020>
- Kumada, M., Fujisawa, T., Hirao, Y., Endo, M., Aoki, M., Kohda, T., Bolshakova, I., & Holyaka, R. (n.d.). Development of 4 tesla permanent magnet. *PACS2001. Proceedings of the 2001 Particle Accelerator Conference (Cat. No. 01CH37268)*, 5, 3221–3223. <https://doi.org/10.1109/PAC.2001.988064>
- Leupold, H. A., Potenziani, E., & Tilak, A. S. (1993). Adjustable multi-tesla permanent magnet field sources. *IEEE Transactions on Magnetics*, 29(6), 2902–2904. <https://doi.org/10.1109/20.281092>
- Liu, Y.-L., Li, D.-W., He, J., Xie, X.-Z., Chen, D., Yan, E.-K., Ye, Y.-J., & Yin, D.-C. (2018). A periodic magnetic field as a special environment for scientific research created by rotating permanent magnet pairs. *Review of Scientific Instruments*, 89(10), 105103. <https://doi.org/10.1063/1.5016570>
- Mahoney, A. W., & Abbott, J. J. (2014). Generating Rotating Magnetic Fields With a Single Permanent Magnet for Propulsion of Untethered Magnetic Devices in a Lumen. *IEEE Transactions on Robotics*, 30(2), 411–420. <https://doi.org/10.1109/TRO.2013.2289019>
- Munoz, F., Alici, G., & Li, W. (2016). A Magnetically Actuated Drug Delivery System for Robotic Endoscopic Capsules. *Journal of Medical Devices*, 10(1). <https://doi.org/10.1115/1.4031811>
- Riegler, J., Lau, K. D., Garcia-Prieto, A., Price, A. N., Richards, T., Pankhurst, Q. A., & Lythgoe, M. F. (2011). Magnetic cell delivery for peripheral arterial disease: A theoretical framework. *Medical Physics*, 38(7), 3932–3943. <https://doi.org/10.1118/1.3598011>

org/10.1118/1.3593363

- Rui Huang, Jianpei Zhou, & Gyu-Tak Kim. (2008). Minimization Design of Normal Force in Synchronous Permanent Magnet Planar Motor With Halbach Array. *IEEE Transactions on Magnetics*, 44(6), 1526–1529. <https://doi.org/10.1109/TMAG.2007.914856>
- Sarwar, A., Nemirovski, A., & Shapiro, B. (2012). Optimal Halbach permanent magnet designs for maximally pulling and pushing nanoparticles. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 324(5), 742–754. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2011.09.008>
- Sarwar, Azeem, Lee, R., Depireux, D. A., & Shapiro, B. (2013). Magnetic Injection of Nanoparticles Into Rat Inner Ears at a Human Head Working Distance. *IEEE Transactions on Magnetics*, 49(1), 440–452. <https://doi.org/10.1109/TMAG.2012.2221456>
- Shapiro, B., Dormer, K., Rutel, I. B., Häfeli, U., Schütt, W., & Zborowski, M. (2010). *A Two-Magnet System to Push Therapeutic Nanoparticles*. 77–88. <https://doi.org/10.1063/1.3530064>
- Shen, W.-B., Anastasiadis, P., Nguyen, B., Yarnell, D., Yarowsky, P. J., Frenkel, V., & Fishman, P. S. (2017). Magnetic Enhancement of Stem Cell–Targeted Delivery into the Brain Following MR-Guided Focused Ultrasound for Opening the Blood–Brain Barrier. *Cell Transplantation*, 26(7), 1235–1246. <https://doi.org/10.1177/0963689717715824>
- Skiedraite, I., Dragasius, E., & Diliunas, S. (2018). Modelling of Halbach Array Based Targeting Part of a Magnetic Drug Delivery Device. *Mechanics*, 23(6). <https://doi.org/10.5755/j01.mech.23.6.19645>
- Sliker, L., Ciuti, G., Rentschler, M., & Menciassi, A. (2015). Magnetically driven medical devices: a review. *Expert Review of Medical Devices*, 12(6), 737–752. <https://doi.org/10.1586/17434440.2015.1080120>
- Talebloo, N., Gudi, M., Robertson, N., & Wang, P. (2020). Magnetic Particle Imaging: Current Applications in Biomedical Research. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 51(6), 1659–1668. <https://doi.org/10.1002/jmri.26875>
- Yang, Z., & Zhang, L. (2020). Magnetic Actuation Systems for Miniature Robots: A Review. *Advanced Intelligent Systems*, 2(9), 2000082. <https://doi.org/10.1002/aisy.202000082>
- You, L., Liu, X., Fang, Z., Xu, Q., & Zhang, Q. (2019). Synthesis of multifunctional Fe₃O₄@PLGA-PEG nano-niosomes as a targeting carrier for treatment of cervical cancer. *Materials Science and Engineering: C*, 94, 291–302. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.09.044>

BÖLÜM 13

ISIL OLMAYAN İŞLEMLERİN SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİNDE KULLANIMI VE BU TEKNİKLERİN ÜRÜN KALİTESİ ÜZERİNE OLAN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

*Ece BÜYÜKGÜMÜŞ¹
Merve ÖZCAN²
Selda BULCA³*

1 Yüksek lisans öğrencisi; ecebuyukgumus@hotmail.com; ORCID NO: 0000-00015542-2145

2 Yüksek lisans öğrencisi; mervozcan@gmail.com; ORCID NO: 0000-0002-0489-5484

3 Dr. Öğrt. Üyesi Selda Bulca; sbulca@adu.edu.tr; ORCID NO: 0000-0001-7405-2872

^{1,2,3}Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü

1. Giriş

Dünyada gün geçtikçe önemi artan ve hızla yayılan gıda güvenliği kavramı, günümüz gıda sektöründe özellikle de tüketiciler için oldukça önem kazanmaktadır. Güvenli gıda denildiğinde akla tüketimi esnasında ve sonrasında kişinin sağlığını olumsuz yönde etkilemeyecek ve herhangi bir zarara sebep olmayacak gıda gelmektedir. Yine Codeks Alimentarius Uzman Komisyonunca gıda güvenliği “sağlıklı ve kusursuz bir gıda üretimi sağlamak amacıyla gıdaların; üretim aşamasından dağıtıma kadar geçen sürede gerekli kuralların yerine getirilmesi ve bu amaçla ilgili önlemlerin alınması” şeklinde tanımlanmaktadır (Demirağ ve Yılmaz, 2009). Bunun yanı sıra bir gıdanın güvenilir olduğu kadar dayanıklı olması da o gıdanın tercih edilebilirliğini artırmaktadır. Bu nedenle gıdaların daha uzun süre bozulmadan muhafaza edilmesi önem teşkil etmektedir. Gıdaların mikrobiyal aktivitelerini sınırlandırmak ve üretim ve depolama aşamalarında çeşitli reaksiyonları kontrol altına alabilmek adına güvenilir gıda üretimini sağlamaya yarayan proseslerden en çok karşılaşılan ısıtma işlemi ısıtma prosesidir. Ancak güvenilir gıdaya ulaşmada basamak görevi gören ısıtma işlem uygulamaları, yüksek/düşük veya uygun olmayan sıcaklık parametrelerinden dolayı uygulandığı gıdada çeşitli besin kayıpları ve tat-koku-aroma kayıplarına yol açabilmekte ve serbest radikaller vs. gibi insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilecek bileşenlerin oluşumunu teşvik edebilmektedir. Ayrıca kesin kanıtlanmış bir varsayım olmamakla birlikte söz konusu ısıtma işlem uygulamalarının, diyabet, laktoz intoleransı, artrit ve osteoporoz gibi türlü hastalıklar için risk teşkil etmesi de söz konusudur. Bu olumsuzluklar göz önünde bulundurularak gıda üreticileri yeni teknikleri araştırmaya yönelmişlerdir (Karabacak, 2015; Yerlikaya ve Kınık, 2019).

Süt, bileşim olarak çoktan aza yaklaşık olarak %87 su, %4,7 laktoz, %3,7 yağ, %3,4 azotlu maddeler ve %0,75 mineral madde içeriği ile beslenme gereksinimini oldukça iyi şekilde karşılayabilecek, önemli bir gıda maddesidir (Çirak, 2020; Özbey, 2020). Ayrıca çiğ sütün doğal mikroflorası oldukça zengindir ve sayısız mikroorganizmayı bünyesinde bulundurabilmektedir. Söz konusu mikroflorada yararlı mikroorganizmaların yanı sıra insan sağlığını tehdit edebilecek patojen mikroorganizmalar da bulunmaktadır. Ayrıca süt, içerdiği mikroorganizma yükünden dolayı kolay bozulabilir bir gıda olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüketim öncesinde süt, mutlaka güvenli hale getirilmelidir. Bu amaçla süte en sık uygulanan ön işlem ısıtma olarak karşımıza çıkmaktadır. Gıdalarda bulunan tüm patojenlerin yok edilmesi, enzim faaliyetlerinin yavaşlatılması, durdurulması, gıdanın bozulmasına yol açabilecek mikroorganizmaların da yok edilmesi ve tüm bunlar gerçekleştirilirken gıdanın temel özelliklerinde en az olumsuzluğun oluşumunu sağlamak gibi amaçlar doğrultusunda gıdalara ısıtma işlemleri kullanılmaktadır (Yaralı, 2014). Sütte de hem mikrobiyal güvenliği sağlamak, hem de sütün

dayanıklılığını artırarak raf ömrünü uzatmayı sağlamak amacıyla ısıtım işlemi olarak en sık kullanılan yöntemler arasında pastörizasyon ve sterilizasyon teknikleri yer almaktadır. Örneğin pastörizasyon norm sıcaklığı ve süresi 72°C - 75°C de 15-20 saniye ile patojenler, sterilizasyonla da 135°C-150°C de 2-6 saniyelik işlemle sütteki vejetatif hücrelerin tamamı ve sporların büyük bir bölümü inaktif edilmektedir.

Uygulanan parametreler değişiklik gösterebilmekle birlikte ısıtım işleminin sütte sağladığı yararları karşın en önemli handikabı, çiğ sütün duyuşal özelliklerinde bazı değişikliklere sebep olabmesidir. Proses esnasında görülebilecek bazı kimyasal reaksiyonlar sülfür içeren bileşenlerin de desteğıyle pişmiş lezzet ve kokuya yol açabilmekte ve duyuşal-besinsel değerde olumsuz yönde değışime neden olabilmektedir (Yerlikaya ve Kınık, 2019).

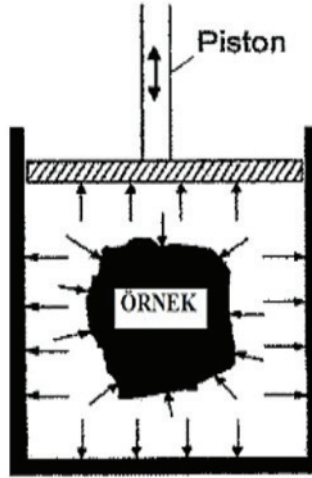
Günümüzde hem bilinçli tüketicilerin artış göstermesi, ısıtım işleminin gıda kalitesi üzerinde yaratabileceğı negatif etkilerin minimize edilmesinin amaçlanması hem de kalitenin korunurken gıdanın maruz kaldığı olumsuz etkilerin de azaltılmasına olan eğilimin artması gibi çeşitli nedenlerden dolayı ısıtım işleme alternatif olarak ısıtım olmayan nispeten yeni teknolojilere olan ilgi giderek artmaya başlamıştır. Bu yönelim doğrultusunda gıda endüstrisinde düşük sıcaklıklarda uygulanan prosesler olan yüksek basınç (HP), ultrason, vurgulu elektrik alanı (PEF), vurgulu ışık, mikrodalga, ultraviyole (UV), ohmik ısıtım, membran seperasyon teknikleri, ısıtım uygulama uygulamaları gibi bazı ısıtım olmayan teknolojiler kullanılmaya başlanmıştır (Akal ve Taban, 2020). Bu uygulamalar ısıtım işlem normlarına kıyasla daha düşük sıcaklık derecelerinde çalışılabilmeyi sağlayarak yüksek sıcaklığın uygulandığı proseslerde ortaya çıkarılabileceğı olumsuzlukların da en aza indirilmesini sağlamaktadır.

2. ISITIM OLMAYAN TEKNİKLER

2.1. YÜKSEK HİDROSTATİK BASINÇ UYGULAMALARI

Yüksek basınç uygulaması, ambalajlı ya da ambalajsız fark etmeksizin hem katı hem de sıvı gıdalara 100 – 1000 MPa da basınç uygulanması şeklinde uygulanan bir tekniktir. Basınç uygulanmasındaki temel amaç gıdalardaki mikroorganizmaları ısıtım işleme maruz bırakmadan inaktif hale getirmek ve enzimlerin inaktivasyonunu sağlamaktır (Oğuzhan, 2014). Bu yüzden Yüksek Basınç (YB) uygulamasının en önemli özelliğı ısıtım işleminin gıdalarda oluşturduğu tahribatın oluşumunu engelleyerek ürünün raf ömrünün uzatılmasıdır. Yüksek Basınç uygulamasının temeli Pascal prensibine dayanmaktadır. Uygulamanın temel mantığında kapalı ortamdaki herhangi bir sıvıya uygulanan basınç ve uygulanan bu basıncın sıvının her yere eşit olarak dağıtılması yatmaktadır. Basınç uygulanacak bölmeye istenilen materyal yerleştirilir. Önceden ayarlanmış basınç sistem üzerine uygulanır ve

aynı anda basınç-süre takibi yapılır. İşlem sonucunda basınç boşaltma valfleri açılır ve basıncı iletmede kullanılan suyun normal atmosferik basınca dönmesi sağlanır. Ve ürün sistemden alınır. Basınç uygulamaları için genelde su, hidrolik yağlar veya hidrokarbonlar kullanılabilir. Ancak hem ucuz hem de rahat ulaşılabilir olması sebebiyle su diğerlerine göre daha sık tercih edilmektedir (Çınar, 2018). Yüksek hidrostatik basınç uygulamasının şematik bir görünümü şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Yüksek Hidrostatik Basınç Uygulamasının Genel İşleyişi (Özcan ve Kurtuldu, 2011).

Herhangi bir gıda maddesine uygulanan yüksek hidrostatik basınç, gıdanın her yüzeyinde aynı şiddette etki gösterdiği için uygulama materyalinin boyut, şekil ve kompozisyonundan bağımsız olarak ele alınmaktadır. Bu sebeple gıdanın boyutu/ambalajlı olup olmaması, varsa ambalajının boyutu, şekli ve kompozisyonu işlem sırasında önemli faktörler olarak değerlendirilmemektedir. Yüksek hidrostatik basınç uygulamasında uygulanan basınç hücre zarında parçalanma meydana getirerek hücrede birtakım değişikliklere yol açar, hücrenin metabolizması ve genetik mekanizması üzerindeki etkiler sonucunda da hücrenin inaktivasyonu gerçekleşmektedir (Arıcı, 2006).

2.1.1. Yüksek Hidrostatik Basınç Uygulamalarının Avantaj ve Dezavantajları

Yüksek hidrostatik basınç uygulamalarının en bilinen yararları şu şekilde sıralanabilmektedir:

➤ Gıdalarda bozulmaya yol açan saprofit mikroorganizmaları yok ederek ve bozulma yaratabilecek enzimleri inaktif hale getirerek gıdaların muhafaza sürelerinin uzatılmasını sağlamaktadır.

➤ Gıdalara uygulanması sonucunda çoğu işleme göre uygulandığında gıdaların renk, bileşim gibi farklı kalite kriterlerinde ya çok az değişikliğe sebep olmakta ya da hiç değişikliğe yol açmamaktadır.

➤ Uygulanan basınç gıdanın her yerinde eşit etki yarattığından gıdanın homojen olarak korunumunu sağlamaktadır (Oğuzhan, 2014).

Bunun yanı sıra dezavantajları ise şu şekilde belirtilmektedir:

- Yüksek maliyete sahiptir ve masraflı bir yatırım gerektirmektedir.
- Sistem temizliği ve bakımı ekstra özen gerektirmektedir.
- Molekül ağırlığı yüksek protein, nişasta gibi bileşenlerde agregasyona yol açabilmektedir.
- Bazı gıdalarda tekstürel değişikliklere sebep olabilmektedir (Kale-tunç, 2009; Oğuzhan, 2014).

2.1.2. Yüksek Hidrostatik Basınç Uygulamalarının Ürünlere Etkisi

Yüksek hidrostatik basınç uygulaması, mikroorganizmaların tamamına yakınına veya büyük bir kısmının inaktivasyonunu, gıdaya eklenmiş varsa katkı maddelerinin fonksiyonel özelliklerini ve besinsel değerlerini daha iyi korumasını ve daha az enerji kullanımını sağlamaktadır. Yüksek basınç yöntemi geleneksel ısıtma teknikleriyle karşılaştırıldığında aroma maddeleri, esansiyel vitaminler, fitokimyasallar gibi çeşitli bileşenlerin de daha az zarar görmesini ve daha az kayıp gerçekleşmesini sağlamaktadır (Gao ve ark., 2007; Temiz ve ark., 2008).

Yüksek hidrostatik basınç uygulamaları ile, temel olarak gıdanın kompozisyonunda yer alan aminoasit, vitamin, aroma maddeleri vb. küçük molekül ağırlıklı bileşenlerde herhangi bir değişim görülmezken; proteinler, polisakkaritler, nükleik asitler ve enzimler gibi büyük molekül ağırlıklı bileşenlerin yapısında birtakım değişimler görülebilmektedir. Protein ve polisakkaritlerin yapısında bulunan kovalent bağlar, 0-40°C gibi sıcaklıklarda yüksek basınç uygulamasından etkilenmezler ancak, yapılarını stabilize eden non-kovalent bağlar ve enzim aktivitesi uygulama sonrasında değişikliğe uğramaktadır (Penna ve Barbosa-Cánovas, 2007; Özcan ve Kurtuldu, 2011).

2.1.3. Yüksek Hidrostatik Basınç Uygulamalarının Süt Ürünlerine Etkisi

Çiğ süte uygulanan yüksek hidrostatik basınç uygulamasının belirli basınç aralıklarında farklı tepki verdiği bilinmektedir. Çok düşük basınç uygulandığında koagülasyon süresinde hiçbir değişiklik meydana gelmezken çok yüksek basınç uygulamalarında koagülasyon süresinin uzadığı yani pıhtılaş-

ma aşamasını uzadığı görülmektedir. 200-250 MPa basınç uygulamasında sütün koagülasyon süresinin azaldığı ancak basıncın >300 MPa olduğu durumlarda koagülasyon süresinin arttığı çeşitli çalışmalarda bildirilmektedir (Fandino, 2006; Sakharam ve ark., 2011).

Yoğurt teknolojisinde sineresizin artması, istenilen asitliğin elde edilememesi, düşük ya da aşırı yüksek asitlik oluşumu, düşük viskozite ve su tutma kapasitesi görülmesi ve istenmeyen duyuşsal özelliklerin oluşumu gibi tüketici reddine sebep olabilecek kusurlar yüksek hidrostatik basınç uygulaması ile önlenabilmektedir. Bu teknik ile yoğurdun reolojik özellikleri ve duyuşsal özellikleri geliştirilebilmektedir (Chawla ve ark., 2011).

Yüksek hidrostatik basınç uygulamasının dondurma miksinde kazein misellerinin yüksek basıncın etkisiyle dissosiyeye olmasını sağladığı rapor edilmiştir. Bu durum dondurma miksini viskozitesinde bir artış sağlayarak dondurmanın daha homojen görünümünde olmasını sağlamaktadır. Viskozi- tede artışın dondurmanın yağ, protein, yağsız kuru maddesine bağlı olarak değişebileceği ve yüksek oranda bu bileşenlerin olması kaydıyla viskozi- tede artışın da maksimum olabileceği belirtilmektedir (Huppertz ve ark., 2012).

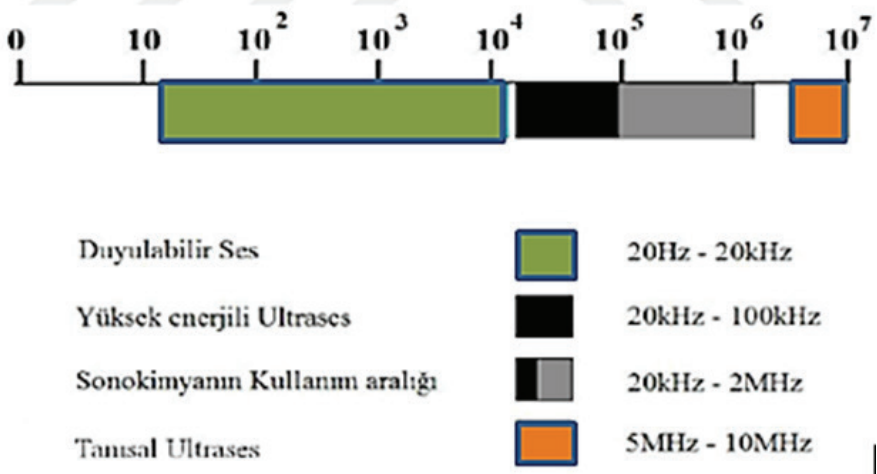
Tereyağının fiziksel olgunlaşmasında kısmen kristal kısmen likit yağ parçacıkları oluşmaktadır. Bu sonraki aşama olan yayıklama aşaması için zorunlu olan proseslerden biridir. Fiziksel aşamada oluşan yağ kristalleri yayıklama aşamasında yağ globüllerinin bir araya gelmesini sağlamaktadır. Yüksek hidrostatik basınç uygulamasıyla yağ kristalleri oluşur ve böylelikle fiziksel olgunlaşma süresi kısalmış olmaktadır (Atamer, 2016).

Yüksek hidrostatik basınç uygulaması krema gibi ürünlerin çırpıcı özeliği üzerinde olumlu etki yaratmaktadır. Uygulanan basıncın etkisiyle süt yağı kristalize olur ve çırpma esnasında yağ globüllerinin bir araya gelmesini sağlayarak yağ globüllerinin havayı daha iyi tutmasına yardım etmektedir (Trujillo ve ark., 2002).

2.2. ULTRASON UYGULAMALARI

Ultrason uygulaması, ultrases ya da sonikasyon olarak da adlandırılmaktadır. Uygulama non-termal, verimli, güvenilir bir uygulama olup hücrelerin parçalanması ve çeşitli ekstraktların elde edilmesi amacıyla kullanılabilen bir gıda işleme tekniği olarak kullanılmaktadır (Bayraktaroğlu ve Obuz, 2006). Ultrason, saniyede 20.000 ya da daha çok ses dalgasının titreşimi ile oluşan enerji türü olarak bilinmekte olup, insan duyma eşiği olan >20 kHz üzeri frekanstaki ses dalgalarından oluşan uygulamanın kullanıldığı teknoloji olarak tanımlanmaktadır (Açu ve ark., 2014). Bir başka ifadeyle ultrason, saniyede 20.000 ve/veya daha fazla ses dalgasının oluşturduğu mekanik enerji olarak tanımlanmaktadır. Ultrason teknolojisinde büyük ço-

ğunlukla 20 kHz ile 10 MHz arasında frekanslar kullanılmaktadır (Temiz ve ark., 2008). Ayrıca, ultrason farklı frekans aralıklarına bölünebilmektedir. Ultrason uygulamasının frekans aralıkları şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Ultrason uygulamasının frekans aralığı (Karabacak, 2015).

2.2.1. Süt Ürünlerinde Ultrason Uygulamaları

Süt vb. ürünlerden patojenlerin uzaklaştırılması amacıyla ultrason tekniği de kullanılmaktadır. Ayrıca bu tekniğin homojenizasyon, emülsiyon oluşturma, kristalizasyon ve dispersiyon işlemlerinin uygulanmasını kolaylaştırdığı çeşitli çalışmalarda rapor edilmiştir (Bayraktaroğlu ve Obuz, 2006). Ultrason tekniği aynı zamanda gıdalardaki enzimlere karşı da etki göstermektedir ve gösterdiği bu etkinin gücü ısı, basınç ve farklı işlemlerin kombine kullanımı ile birlikte artmaktadır (Erol, 2018).

Ultrason işlemi sıvılarda bir kavitasyon oluşturmaktadır. Uygulama sonrasında meydana gelen kabarcıkların, emülsiyon şeklinde bulunan iki sıvı arasında patlamasıyla bir şok etkisi oluşur ve bu iki sıvının homojen bir şekilde birbirine karışması sağlamaktadır. Böylelikle emülsiyon halinde bulunan birbiriyle karışmayan iki sıvıya ultrason işlemi uygulanarak etkili bir homojenizasyon işlemi gerçekleştirilmektedir (Soria ve Willamiel, 2010; Yüksel, 2013).

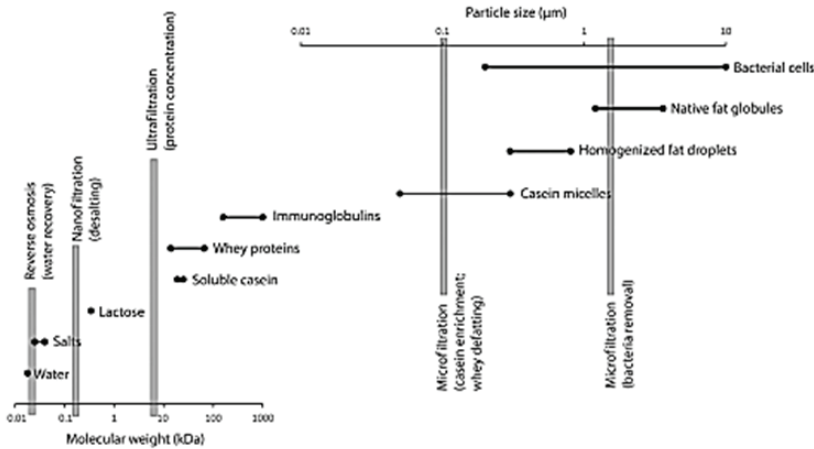
Gıda endüstrisinde ultrason uygulamaları şiddetli (yüksek yoğunluklu), düşük frekanslı ultrason ve şiddetli (düşük yoğunluklu), yüksek frekanslı ultrason olmak üzere iki şekilde uygulanabilmektedir. Düşük yoğunluklu ultrason genellikle; gıdaların fizikokimyasal özellikleri hakkında fikir edinebilmek amacıyla uygulanırken, yüksek yoğunluklu ultrason uygulaması ise, 100 kHz altındaki frekanslarda ve 10 W/cm²'nin üzerindeki enerji yoğunluğundaki proseslerde uygulanması tercih edilmektedir (Karabacak, 2015).

Son zamanlarda öne çıkan araştırmalarda ultrason uygulamasının dondurma üzerine uygulamaları bulunmaktadır. Ultrason tekniğinde oldukça küçük boyutlarda ve sürekli olarak gaz kabarcıkları meydana gelmektedir. Bu esnada buz çekirdekçikleri olarak da bilinen buzlanma oluşabilir ve bu oluşan kristaller, daha verimli bir donma işlemi gerçekleştirilmesine yardımcı olmaktadır. Bu da dondurma teknolojisi için faydalı bir uygulama olabileceği anlamına gelmektedir (Zheng ve Sun, 2006).

Gıda sanayindeki diğer uygulamalarla karşılaştırıldığında nispeten daha ucuz, uygulaması kolay ve pratik, enerji tasarrufu sağlayan; özellikle süt teknolojisinde homojenizasyon verimliliğini artıran ve yapıyı iyileştiren bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır (Awad ve ark., 2012).

2.3. MEMBRAN FİLTASYON TEKNİKLERİ

Membran filtrasyon teknikleri olarak bilinen mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, ters osmoz, elektrodializ ve diğer uygulamalar, endüstriyel anlamda oldukça farklı bileşenlerin herhangi bir çözeltiden ayrılması amacıyla kullanılmaktadır (Parhi, 2012). Söz konusu membran filtrasyon tekniklerinin temel prensibi, sıvı akışkanın önceden belirlenen basınç altında seçilen membran gözeneklerinden geçirilmesiyle istenen bileşen veya bileşenlerin gözeneklerde tutularak, istenmeyen diğer bileşenlerin de membrandan geçmesi esasına dayanmaktadır. Membrandan geçerken filtrede tutulan kısım retantat, membrandan geçen daha küçük boyutlu bileşenler topluluğu da permeat olarak adlandırılmaktadır.



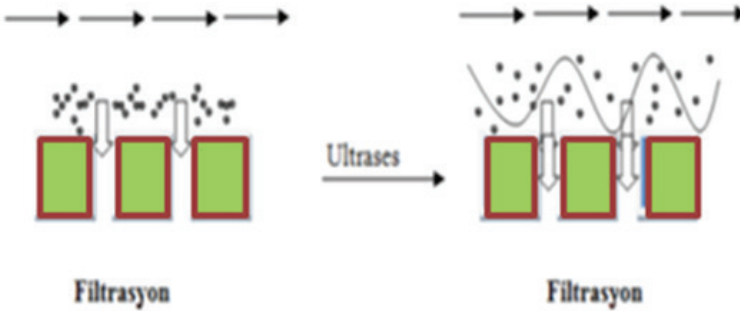
Şekil 3. Membran filtrasyon tekniklerinin süt endüstrisinde kullanımı (Chen ve ark., 2019).

Süt endüstrisinde; buharlaştırma, santrifüj, debakterizasyon gibi bazı işlemlere alternatif olarak, membran seperasyon teknikleri süt bileşenlerinin geri kazanılması ve saflaştırılması, değerli bileşenlerin boyut ve konsantras-

yonuna göre sütün seperasyonunu sağlamak için sıklıkla kullanıldığı gibi; sütün daha berrak bir görünüme kavuşturulmasında, raf ömrü ve çeşitli süt ürünlerinin iyileştirilerek daha yüksek verim sağlanmasında, fonksiyonel ürünlerin üretiminde prosese dahil edilerek yeni ve farklı prosesler ile ürünler elde edilmesinde kullanılmaktadır. Kısaca membran filtrasyon teknikleri süt endüstrisinde sıklıkla; bakteri, konsantrasyon, çeşitli bileşenlerin ayrımının yanı sıra atık su arıtma amaçlarıyla da kullanılmaktadır (Akpınar ve ark., 2009; Chen ve ark., 2018; Sisay ve László, 2021; Nandini ve ark., 2021;). Söz konusu filtrasyon tekniklerinin süt endüstrisinde kullanımına örnek bir şemaya şekil 3'te yer verilmiştir.

2.3.1. Membran Filtrasyon Tekniklerinin Süt Endüstrisinde Kullanımı, Avantaj Ve Dezavantajları

Membran filtrasyon teknikleri giderek gelişerek etkili bir ayırma teknolojisi halini almıştır (Padaki ve ark., 2015). Süt endüstrisinde kullanım olanağına sahip söz konusu membran tekniklerinin sağladığı olanaklar kısaca düşük enerji tüketimi, çevre dostu uygulama performansı, yüksek kalitede su ve olumlu gelecek perspektifi olarak sıralanabilmektedir (Oro ve ark., 2021). Bunlara karşın yüksek konsantrasyonlarda membranlarda tıkanma problemlerinin görülmesi, bazı uygulamalarda sınırlı akış hızı, yüksek yatırım maliyeti, membran seçiciliğinin sınırlı olması gibi birtakım dezavantajları da bulunmaktadır (Alkhattab, 2020). Çok çeşitli partiküller, makro moleküller ve biyolojik partiküllerin filtre membranında birikerek sıvı akışını azaltması membranların gözeneklerinin tıkanmasına neden olarak permeasyon veriminin azalmasına yol açmaktadır (Kazemimoghdam ve Mohammadi, 2007). Bu noktada ultrason işleminin filtrasyon ile birlikte uygulanması hem akışı hızlandırması bakımından faydalı hem de yalnızca filtrasyon uygulaması yerine ultrason ve filtrasyonun kombine işlem olarak uygulamasının daha etkili sonuç verdiği gözlenmiştir (Yüksel,2013).



Şekil 4. Ultrason tekniğinin filtrasyon esnasında uygulanmasında bileşenlerin filtre membranından geçişi (Yüksel, 2013).

2.4. VURGULU ELEKTRİK ALAN YÖNTEMİ

Önemli teknikler arasında yer alan vurgulu elektrik alan yöntemi yüksek voltaj elektrik alan, atımlı darbeli elektrik alan gibi farklı isimlerle de bilinebilmektedir. Vurgulu elektrik alan yönteminin temel prensibi ise mikrosaniyeler içerisinde yüksek elektrik alanın kısa süreli akımlar şeklinde uygulanmasıdır. Elektrik akımı uygulandığında sıvı gıdaların içine nüfuz eder ve yüklü moleküller sayesinde sıvının her bir noktasına ulaşır (Yangılar ve ark., 2013; Pal, 2017). Uygulanan elektrik akımı 12–35 kV/cm olarak belirtilmektedir. Yani temelde gıda iki elektrot arasına yerleştirilir ve çok küçük zaman aralıklarında akım uygulanmaktadır (Yangılar ve Kabil, 2013; Erafar ve Çınar, 2018).

Vurgulu elektrik alan yöntemi hem bozulmaya neden olan hem de patojen özellik gösteren mikroorganizmaların inaktivasyonunda kullanılmaktadır. Böylece tüketicilere güvenli, kalite özellikleri korunmuş ve fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra besleyici değerlerinde herhangi bir kayıp olmayan gıdalar sunulmaktadır. Yöntemde elde edilen verimlilik çeşitli nedenlere bağlıdır. Bunlar; elektrik alan yoğunluğu, akım yoğunluğu, akıma maruz kalma süresi gibi (Sharma ve ark., 2014). Daha çok sıvı gıdalara uygulanan bu yöntem süt endüstrisinde de kullanım sağlamaktadır. Süt ürünlerinde kullanıldığında kazein misellerine etki etmekte ve böylelikle koagülasyon özelliklerinde, koagülasyon sürelerinde, viskozitede olumlu değişimlere sebep olmaktadır (Da Cruz ve ark., 2010). Vurgulu elektrik alan yöntemi uygulanan akım sayesinde hücre membranlarında değişime neden olarak mikroorganizmaların inaktivasyonunda uygulanmaktadır. Örneğin sütte bulunması muhtemel *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. gibi patojenlerin sayısında azalmalara neden olmaktadır. Bunlara ek olarak sütte doğal olarak bulunan ama kalite açısından istenmeyen enzimlerin aktivasyonunda da etkin rol oynamaktadır. Süt proteinlerine uygulandığı takdirde kazein misel boyutunda küçülmeler görülmekte, süt yağında yağ globüllerinin dağılmasına neden olarak daha küçük globüller halinde bulunmasına sebep olmaktadır (Buckow ve ark., 2014). Avantajları şu şekildedir: vejetatif hücreleri öldürür, gıdanın renk ve besin değerlerini korur, sıvı gıdalar için uygundur, çevre dostudur. Dezavantajları ise; maliyet gerektiren bir uygulamadır, sıvı gıdalardaki partikül boyutunun daha küçük olması gerekmektedir. Aksi takdirde proses verimli yürütülemez (Kumar ve ark., 2015). Vurgulu elektrik alanın süt ürünleri üzerine olan etkileri şekil 5’de verilmiştir



Şekil 5. Vurgulu elektrik alanın süt ürünleri üzerine olan etkileri (Alirezalu ve ark., 2020).

2.4.1. Süt Ürünlerine Etkisi

2.4.1.1. Peynir üzerine etkileri: Vurgulu elektrik alanın kazein misellerine etkisinden dolayı peynir üretiminde de olumlu değişimlere neden olmaktadır. Yöntem kazein misellerini küçülttüğünden peynir üretiminde kullanılan rennet enzimi kazeinlere daha hızlı etki etmekte ve böylece koagülasyon süresi kısalmaktadır. Peynir teknolojisinde proteoliz aşaması mevcuttur ve olgunlaşma sürecinde gerçekleşen bu kimyasal tepkimelerde kazeinler substrat olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle vurgulu elektrik alanla muamele edilmiş süttten üretilen peynirde proteoliz aşaması olumsuz sonuçlar doğurmamaktadır. Yine aynı şekilde peynirde bu yöntemin peynirde pıhtı sıklığını arttırdığı belirtilmektedir (Yu ve ark., 2012; Gentes ve ark., 2022). Yu ve ark. (2019) vurgulu elektrik alanın peynirdeki koagülasyon özelliklerini incelemişlerdir ve pastörize süttten üretilen peynirlerle kıyaslandığında rennetle koagülasyonun daha iyi olduğunu ve koagülasyon süresinin kısaldığını belirtmişlerdir.

2.4.1.2. Yoğurt üzerine etkileri: Vurgulu elektrik alanın yoğurt üzerindeki etkisi daha çok asidifikasyon aşamasında önemlidir. Yoğurt teknolojisinde kullanılan starter kültürler *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus bulgaricus* dur. Bu iki bakteri yoğurtta istenilen asitliğin ve aromanın oluşumunda öncü rol oynamaktadır. Bu bakteriler sayesinde yoğurtta istenilen pH oranı 4,6'ya düşürülmektedir. Bu hem yasal olarak zorunludur hem de istenilen aromanın oluşumu için gereklidir. Bu yöntem sayesinde yoğurt

kültürlerinde hızlı asidifikasyon gerçekleştiği belirtilmiştir. Bunun da nedeni oluşturulan elektrik akımının hücre içine geçerek mikroorganizmaların lag fazını kısaltarak daha hızlı asit üretimi gerçekleşmesini teşvik etmesidir. Bu teknikle aynı zamanda bakterilerin canlılığında da hiçbir azalma meydana getirmemektedir (Deshwal ve ark., 2021). Peng ve ark. (2020) vurgulu elektrik alanın *Lactobacillus bulgaricus* üzerine etkisini incelemişlerdir. Uygulanan elektrik akımı fazla olduğunda asidifikasyon aktivitesinin azaldığını ve 285 Vcm⁻¹ den fazla uygulanan akımlarda bunun gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

2.4.1.3. Dondurma üzerine etkileri: Dondurmanın kalite özelliklerini belirleyen temel parametreler arasında erime özelliği ve fizikokimyasal özellikler yer almaktadır. Vurgulu elektrik alan uygulaması da ısılmayan bir proses olarak dondurmanın daha geç erimesini sağlamaktadır (Pankiewicz ve ark., 2020). Khosrow Shahi ve ark. (2021) bitki ekstraktı dondurma üretmişlerdir. Üretim sırasında vurgulu elektrik alan yöntemini kullanmışlardır. Sonuç olarak bu yöntem sayesinde dondurmanın daha geç eridiğini, daha viskoz yapıya sahip olduğunu ve yağ kristallerinin daha küçük olduğunu belirtmişlerdir. Farklı elektrik alanları optimize koşulları araştırmışlardır ve bu değerlerin 6,4 kmcm⁻¹ ve akım sayısının da 80 olduğu sonucuna varmışlardır.

2.5. OHMİK ISITMA SİSTEMİ

Ohmik ısıtma hızlı bir uygulamadır. Çalışma prensibi uygulanan elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüştürme şeklindedir. Elektrik uygulandığında akım gıdalardan geçmekte ve sıcaklığı artırarak ısı enerjisine dönüşmektedir. Uygulanacak olan gıda elektrik akımından etkilenmemelidir. Yüksek viskoz sıvılara ve partikül içeren sıvı gıdalara uygulanabilmekte fakat düşük nem içeriğine sahip olan ve tuzlu gıdalara uygulanamamaktadır (Parmar ve ark., 2018). Ohmik ısıtmayı etkileyen faktörler arasında elektrik kuvveti, frekans ve dalga boyu, partikül büyüklüğü ve konsantrasyon yer almaktadır (İncedayı ve ark., 2019).

Ohmik ısıtma gıdalarda mikrobiyel inaktivasyonu sağlayan, gıdanın sabit bir sıcaklıkta tutulmasına neden olan gıda güvenliği açısından son derece olan önemli bir teknoloji olarak görülmektedir (Coimbra ve ark., 2020). Patojen mikroorganizmaları inaktive edebildiği gibi gıdanın besin değerlerini de korumaktadır. Bunlara ek olarak gıdanın işlenmesi sırasında proses süresini de kısalttığı belirtilmektedir (Kumar, 2018; İncedayı ve ark., 2019; Silva ve ark., 2020).

Ohmik ısıtmanın avantajları ısıyı gıdalara homojen olarak dağıtmaktadır. Gıda işlenmesi sırasında elektrot yüzeyinde meydana gelebilecek “fouling” olayını azaltmaktadır. Kaliteyi korumakta ve proses süresini kısaltmaktadır. Dezavantajı ise maliyetli olması ve her gıdaya

uygulanamamasıdır (Varghese ve ark., 2014; Cappato ve ark., 2017). Süt teknolojisi açısından ele alındığında istenmeyen mikroorganizmaları ve enzimleri inaktive etmekte ve süt proteinlerine zarar vermeyecek sütün raf ömrünü artırmaktadır. Vurgulu elektrik alan uygulanmış sütlerde protein oranının pastörize sütlerde pastörizasyondan kaynaklanan foulingden dolayı daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Suebsiri ve ark., 2019).

PROSESİ ETKİLEYEN PARAMETRELER	ÜRÜNDE ETKİLİ OLAN PARAMETRELER
• Elektrik akımı gücü • Zaman • Sıcaklık • Elektrik akımının frekansı	• Viskozite • Yoğunluk • Kıvam • Homojen dağıtılmış ısı

Şekil 6. Ohmik ısıtmanın süt ürünleri üzerine olan etkileri ve proseste kullanılan temel parametreler (Cappato ve ark., 2017).

2.5.1. Süt Ürünleri Üzerine olan Etkileri

2.5.1.1. Peynir üzerine etkileri: Ohmik ısıtmayla üretilmiş peynirlerde duyu özelliklerinde iyileşme sağlandığı, peynir pıhtısının tekstürel özelliklerinde (sıklık, sertlik, elastikiyet) üzerinde olumlu değişimlere yol açtığı belirtilmiştir. Rocha ve ark. (2020) Minas Frescal peyniri üretiminde ohmik ısıtmayı kullanmışlardır. Elde ettikleri peynirde kontrol numuneleriyle karşılaştırdıklarında ohmik ısıtmanın peynirdeki elastikiyetin azaldığını ayrıca peynirlerin duyu olarak kabul edilebilirliğinin arttığını belirlemişlerdir. Peynir teknolojisinde önemli proseslerden biri olan serum ayrılması ile ilgili Costa ve ark. (2018) yaptığı bir çalışmada farklı elektrik akımı altında peynir altı suyuna uygulanan teknik sonucunda $4-5\text{Vcm}^{-1}$ akımda peynir altı suyunun daha yüksek aroma bileşenlerinin oluştuğunu ve duyu özelliklerinin daha iyi korunduğunu saptamışlardır.

2.5.1.2. Yoğurt üzerine etkileri: Ohmik ısıtmanın yoğurt üzerine yapılmış çalışmaları çok fazla olmasa da yönteminin starter bakteri hücre duvarı membranının geçirgenliğini artırdığı belirtilmiştir. Bu da yoğurt bakterilerinin lag fazının kısalarak ortama daha iyi adapte olduklarını göstermektedir.

Böylece bulundukları ortamdan istedikleri besinleri daha rahat ve daha kısa sürede almaktadırlar. Tüm bunların yanında fermentasyon sonunda gerçekleşmesi istenmeyen asidifikasyon işlemine engel olmaktadır (Deshwal ve ark., 2021). Sun ve ark. (2011) *Streptococcus thermophilus* bakterisinin hücre geçirgenliğini ohmik ısıtma ve sıcak su uygulayarak araştırmışlardır. Sonuç olarak ohmik ısıtmaya maruz kalan bakterinin hücre geçirgenliğinin arttığı belirtilmiştir.

2.5.1.3. Dondurmaya etkileri: Dondurma teknolojisinde kalite olarak bilinen en önemli parametrelerden biri dondurma miksinin kıvamlı olmasıdır. Gerek uygulanan farklı proseslerle gerek ohmik ısıtma gibi ısı olmayan işlemler sayesinde bu kalite özellikleri korunmaktadır. Ohmik ısıtmayla dondurma miksinde yüksek kıvam elde edilmektedir. Suebsiri ve ark. (2019) ohmik ısıtma yöntemiyle elde ettikleri dondurmanın pastörize edilmiş sütün üretilen dondurmadan çok daha yüksek protein oranına sahip olduğunu bildirmişlerdir. Yine Icier ve Tavman (2006) yaptıkları bir çalışmada ohmik ısıtmanın dondurmanın reolojik özelliklerine olumlu yansıdığını ve ohmik ısıtmanın dondurma üretiminde iyi bir alternatif yol olabileceğini bildirmişlerdir.

3. SONUÇ

Tüketici tercihleri yıldan yıla değişmekte ve artık tüketiciler güvenilir gıda tercih etmektedirler. Bunların yanı sıra son tüketim tarihine kadar gıdaların besin ve duyuşal değerlerinin korunmasını istemektedirler. Gıdalara uygulanan özellikle süt ve süt ürünlerine uygulanan ısı işlemler gıdanın kalitesini son derecede artırmaktadır. Bunların yanı sıra gıdada bozulmaya neden olabilecek olan mikroorganizmaların sayısını azaltmakta ve istenmeyen enzimlerin inaktivasyonunu sağlamaktadır. Ancak, süt ve süt ürünlerine uygulanan ısı işlemler ürünlerin besinsel değerlerinde çok az da olsa kayıplar oluşturmaktadır. Bunlara alternatif olarak geliştirilen ısı olmayan işlemler bu kayıpları olabildiğince minimuma indirmekte, kaliteyi korumakta ve gıdanın tat-aromasında kayıplara neden olmamaktadır. Belli başlı süt ürünleri ele alındığında dondurma miksinde kıvamı korumakta, yoğurta viskoziteyi ve over-asidifikasyonu engellemekte, peynirde elde edilen teleminin tekstür özelliklerini korumaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle ortaya çıkan bu yöntemler gıda üretiminde kullanılarak gıdalarda reolojik ve dokusal özellikleri iyileştirmekte ve bundan dolayı gıda teknolojisinde umut vaat edici teknikler olarak bilinmektedir.

KAYNAKÇA

- Akal, C., & Taban, B. M. (2020). The Influence of Microfiltration on Raw Milk Quality. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(9): 1935-1941.
- Akpınar-Bayizit A, Özcan T, Yılmaz-Ersan L (2009). Membrane Processes İn Production of Functional Whey Components. *Mljekarstvo*, 59 (4): 282-288.
- Alirezalu, K., Munekata, P. E., Parniakov, O., Barba, F. J., Witt, J., Toepfl, S., Lorenzo, J. M. (2020). Pulsed electric field and mild heating for milk processing: a review on recent advances. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(1): 16-24.
- Alkhattab, A. (2020). Süt endüstrisi atık sularının nanofiltrasyon yöntemiyle arıtımı (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Arıcı, M. (2006). Gıda muhafazasında yüksek hidrostatik basıncın mikroorganizmalar üzerine etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(1): 41-49.
- Atamer, M. (2016). Tereyağı teknolojisi. Ankara: Sidaş Medya Ltd. Şti.
- Awad, T. S., Moharram, H. A., Shaltout, O. E., Asker, D. Y. M. M., & Youssef, M. M. (2012). Applications of ultrason in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food research international*, 48(2): 410-427.
- Bayraktaroğlu, G., & Obuz, E. (2006). Ultrason yönteminin ilkeleri ve gıda endüstrisinde kullanımı. 9. Gıda Kongresi, 24-26.
- Buckow, R., Chandry, P. S., Ng, S. Y., McAuley, C. M., & Swanson, B. G. (2014). Opportunities and challenges in pulsed electric field processing of dairy products. *International Dairy Journal*, 34(2), 199-212.
- Cappato, L. P., Ferreira, M. V., Guimaraes, J. T., Portela, J. B., Costa, A. L., Freitas, M. Q., Cruz, A. G. (2017). Ohmic heating in dairy processing: Relevant aspects for safety and quality. *Trends in Food Science & Technology*, 62: 104-112.
- Cappato, L. P., Ferreira, M. V., Guimaraes, J. T., Portela, J. B., Costa, A. L., Freitas, M. Q., ... & Cruz, A. G. (2017). Ohmic heating in dairy processing: Relevant aspects for safety and quality. *Trends in Food Science & Technology*, 62: 104-112.
- Chawla, R., Patil, G. R., & Singh, A. K. (2011). High hydrostatic pressure technology in dairy processing: a review. *Journal of food science and technology*, 48(3): 260-268.
- Chen, G. Q., Leong, T. S., Kentish, S. E., Ashokkumar, M., & Martin, G. J. (2019). Membrane separations in the dairy industry. In *Separation of functional molecules in food by membrane technology* (pp. 267-304). Academic Press.
- Chen, Q., Zhao, L., Yao, L., Chen, Q., Ahmad, W. (2018). The application of membrane separation technology in the dairy industry, *Technological Approaches for Novel Applications in Dairy Processing*, 23-43.

- Chen, Y., Callanan, M., Shanahan, C., Tobin, J., Gamon, L. F., Davies, M. J., ... & Brodtkorb, A. (2021). The Use of Membrane Filtration to Increase Native Whey Proteins in Infant Formula. *Dairy*, 2(4), 515-529.
- Coimbra, L. O., Vidal, V. A., Silva, R., Rocha, R. S., Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., Cruz, A. G. (2020). Are ohmic heating-treated whey dairy beverages an innovation? Insights of the Q methodology. *LWT*, 134: 110052.
- Costa, N. R., Cappato, L. P., Ferreira, M. V. S., Pires, R. P., Moraes, J., Esmerino, E. A., ... & Cruz, A. G. (2018). Ohmic Heating: A potential technology for sweet whey processing. *Food Research International*, 106: 771-779.
- Çınar, İ. (2018). Peynir Üretiminde Yüksek Hidrostatik Basınç Uygulamaları. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(1): 86-91.
- Çirak, T. E. (2020). Süt ve süt ürünlerinin üretiminde raf ömrünü etkileyen parametrelerin belirlenmesi ve optimizasyonu (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Da Cruz, A. G., Faria, J. D. A. F., Saad, S. M. I., Bolini, H. M. A., Sant, A. S., Cristiani, M. (2010). High pressure processing and pulsed electric fields: potential use in probiotic dairy foods processing. *Trends in food science & technology*, 21(10): 483-493.
- Demirağ, K., Yılmaz, H. (2009). Gıda Güvenliği, Sürdürülebilirliği Ve Yerel Yönetimler.
- Deshwal, G. K., Tiwari, S., Kumar, A., Raman, R. K., & Kadyan, S. (2021). Review on factors affecting and control of post-acidification in yoghurt and related products. *Trends in Food Science & Technology*, 109: 499-512.
- Erafsar, F. K., & Çınar, İ. (2018). Gıda İşlemede Isısız Olmayan Uygulamalar: Vurgulu Elektrik Alan. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, (19): 26-33.
- Erol, F. (2018). Beyaz Peynirlerin Bazı Fizikokimyasal Özelliklerinde Depolama Sırasında Meydana Gelen Değişimler Üzerine Süte Yüksek Hidrostatik Basınç, Orta ısı ve Ultrason Uygulamasının Kombine Etkisinin Belirlenmesi (Doctoral dissertation, Necmettin Erbakan University (Turkey)).
- Gao, Y. L., Ju, X. R., Qiu, W. F., Jiang, H. H. (2007). Investigation of the effects of food constituents on *Bacillus subtilis* reduction during high pressure and moderate temperature. *Food Control*, 18(10): 1250-1257.
- Gentès, M. C., Caron, A., & Champagne, C. P. (2022). Potential applications of pulsed electric field in cheesemaking. *International Journal of Dairy Technology*, 75(2): 270-288.
- Huppertz, T., Smiddy, A. M., Kelly, A. L., Goff, D. (2012). High pressure processing for better ice cream. *Agro Food Industry Hi Tech* 23(3): 22-24.
- Icier, F., & Tavman, S. (2006). Ohmic heating behaviour and rheological properties of ice cream mixes. *International Journal of Food Properties*, 9(4): 679-689.
- İncedayı, B., Seyhan, B., Çopur, Ö. U. (2019). Ohmik Isıtma Destekli İşlemlerin Gı-

- dalarda Kullanımı ve Kalite Üzerine Etkisi. Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 33(2): 341-354.
- Kaletunç, G. (2009). Gıda endüstrisinde alışılmamış yöntemler. Bilim ve Teknik, 502(42), 60-63.
- Karabacak, A. Ö. (2015). Gıda Bileşenleri Üzerine Isıl Olmayan İşleme Yöntemlerinin Etkileri (Doctoral dissertation, Bursa Uludag University (Turkey)).
- Kazemimoghadam, M., Mohammadi, T. (2007). Chemical cleaning of ultrafiltration membranes in the milk industry. Desalination, 204 (1-3): 213-218.
- Khosrow Shahi, S., Didar, Z., Hesarinejad, M. A., & Vazifedoost, M. (2021). Optimized pulsed electric field-assisted extraction of biosurfactants from Chubak (*Acanthophyllum squarrosum*) root and application in ice cream. Journal of the Science of Food and Agriculture, 101(9), 3693-3706.
- Kumar, T. (2018). A review on ohmic heating technology: Principle, applications and scope. International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology, 11(4): 679-687.
- Kumar, Y., Patel, K. K., & Kumar, V. (2015). Pulsed electric field processing in food technology. International Journal of Engineering Studies and Technical Approach, 1(2): 6-17.
- López-Fandiño, R. (2006). High pressure-induced changes in milk proteins and possible applications in dairy technology. International Dairy Journal, 16(10): 1119-1131.
- Nandini, K., Praneeth, C. N., Rao, A. (2021). A review on membrane processes in dairy technology. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2387, No. 1, p. 030001). AIP Publishing LLC.
- Oğuzhan, P. (2014). Yüksek Hidrostatik Basınç Teknolojisinin Gıda Endüstrisinde Kullanımı . Erzincan University Journal of Science and Technology , 6 (2) , 205-219.
- Oro, C. E. D., dos Santos, M. S., Dallago, R. M., & Tres, M. V. (2021). Membrane Applications in the Dairy Industry.
- Özbey, F. (2020). Üniversitesi Öğrencilerinin Süt ve Süt Ürünleri Tüketim Alışkanlıklarının Belirlenmesi. Sağlık Profesyonelleri Araştırma Dergisi, 2(1): 1-6.
- Özcan, T. & Kurtuldu, O. (2011). Sütün Raf Ömrünün Uzatılmasında Alternatif Yöntemler . Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 25 (1): 119-129 .
- Padaki, M., Surya M. R., Abdullah, M.S., Misdan, N., Moslehiani, A., 2015, Membrane technology enhancement in oil–water separation. A review, Desalination 357: 197– 207.
- Pal, M. (2017). Pulsed electric field processing: an emerging technology for food preservation. Journal of Experimental Food Chemistry, 3(126): 2472-0542.
- Pankiewicz, U., Góral, M., Kozłowicz, K., Góral, D. (2020). Application of pulsed electric field in production of ice cream enriched with probiotic bacteria (*L.*

- rhamnosus* B 442) containing intracellular calcium ions. Journal of Food Engineering, 275: 109876.
- Parhi, P.K., 2012, Supported liquid membrane principle and its practices: A short review, Journal of Chemistry, 2013: 11-16
- Parmar, P., Singh, A. K., Meena, G. S., Borad, S., Raju, P. N. (2018). Application of ohmic heating for concentration of milk. Journal of food science and technology, 55(12): 4956-4963.
- Peng, K., Koubaa, M., Bals, O., & Vorobiev, E. (2020). Effect of Pulsed Electric Fields on the Growth and Acidification Kinetics of *Lactobacillus delbrueckii* Subsp. *bulgaricus*. Foods, 9(9): 1146.
- Penna, A. L. B., Barbosa-Cánovas, G. V. (2007). High hydrostatic pressure processing on microstructure of probiotic low-fat yogurt. Food Research International, 40(4): 510-519.
- Rocha, R. S., Silva, R., Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., Pimentel, T. C., Neto, R. P., Cruz, A. G. (2020). Possibilities for using ohmic heating in Minas Frescal cheese production. Food Research International, 131: 109027.
- Sakharam, P., Prajapati, J. P., Jana, A. H. (2011). High hydrostatic pressure treatment for dairy applications. National seminar Indian Dairy Industry-Opportunities And Challenges, 2014: 176-180.
- Sharma, P., Oey, I., & Everett, D. W. (2014). Effect of pulsed electric field processing on the functional properties of bovine milk. Trends in food science & technology, 35(2): 87-101.
- Silva, R., Rocha, R. S., Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., Pimentel, T. C., Neto, R. P., Cruz, A. G. (2020). Advantages of using ohmic heating in Dulce de Leche manufacturing. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 65, 102475.
- Sisay, E. J., László, Z. (2021). Trend and Novel Possibilities of Dairy Wastewater Treatment by Membrane Filtration. Journal of Engineering Science & Technology Review, 14(1).
- Soria, A. C. and Willamiel, M., 2010, Effect of Ultrason on the Technological Properties and Bioactivity of Food, Trends in Food Science & Technology 21: 323–331.
- Suebsiri, N., Kokilakanistha, P., Laojaruwat, T., Tumpanuvat, T., Jittanit, W. (2019). The application of ohmic heating in lactose-free milk pasteurization in comparison with conventional heating, the metal contamination and the ice cream products. Journal of Food Engineering, 262, 39-48.
- Suebsiri, N., Kokilakanistha, P., Laojaruwat, .T., Tumpanuvat, T., & Jittanit, W. (2019). The application of ohmic heating in lactose-free milk pasteurization in comparison with conventional heating, the metal contamination and the ice cream products. Journal of Food Engineering, 262, 39-48.
- Sun, H., Masuda, F., Kawamura, S., HIMOTO, J. I., Asano, K., Kimura, T. (2011).

- Effect of electric current of ohmic heating on nonthermal injury to *Streptococcus thermophilus* in milk. Journal of Food Process Engineering, 34(3): 878-892.
- Temiz, H., Tarakçı, Z., & Aykut, U. (2008). Süt ve ürünlerinde mikroorganizmaları azaltmada alternatif yöntemler. Türkiye, 10: 21-23.
- Trujillo, A. J., Capellas, M., Saldo, J., Gervilla, R., & Guamis, B. (2002). Applications of high-hydrostatic pressure on milk and dairy products: a review. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 3(4): 295-307.
- Varghese, K. S., Pandey, M. C., Radhakrishna, K., & Bawa, A. S. (2014). Technology, applications and modelling of ohmic heating: a review. Journal of food science and technology, 51(10): 2304-2317.
- Yangılar, F., & Kabil, E. (2013). Süt ve Süt Ürünlerinde Bazı Isıl Olmayan Mikrobiyal İnaktivasyon Yöntemleri. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 27(1): 97-108.
- Yangılar, F., Kabil, E., & Yılmaz, F. (2013). PEF işleminin süt ve süt ürünlerinde uygulanabilirliği. Manas Journal of Engineering, 1(1): 43-50
- Yaralı, E., (2014). Gıdalarda Temel İşlemler II. <https://akademik.adu.edu.tr/myocine/webfolders/File/ders%20notlari/Gida%20temel%20islemler%20II.pdf> – (Erişim tarihi:9.06.2022).
- Yerlikaya, O., Kınık, Ö. (2019). Gıda Güvenliği ve İnsan Sağlığı Açısından Çiğ ve Isıl İşlem Görmüş İçme Sütü Tüketimi . Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi, 22: 1-11
- Yu, L. J., Ngadi, M., & Raghavan, G. S. V. (2009). Effect of temperature and pulsed electric field treatment on rennet coagulation properties of milk. Journal of Food Engineering, 95(1), 115-118.
- Yu, L. J., Ngadi, M., Raghavan, V. (2012). Proteolysis of cheese slurry made from pulsed electric field-treated milk. Food and Bioprocess Technology, 5(1): 47-54.
- Yüksel, F. (2013). Gıda teknolojisinde ultrases uygulamaları. Gıda Teknolojileri Dergisi, 8(2): 29-38.
- Zheng, L., Sun, D. W. (2006). Innovative applications of power ultrason during food freezing processes—a review. Trends in Food Science & Technology, 17(1), 16-23



BÖLÜM 14

MİKROŞERİT YAMA ANTENLER

Cihan Döğüşgen Erbaş¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü cihan.dogusgen@yeniuyuzil.edu.tr
ORCID ID: 0000-0003-1977-3567

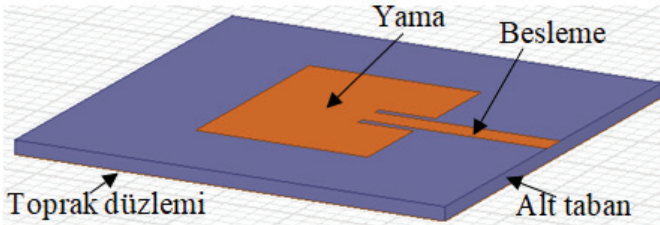
1. GİRİŞ

Mikroşerit yama antenler, düzlemsel antenler sınıfına giren, 1950' li yıllardan beri incelenmiş ve geliştirilmiş antenlerdir. Bu antenler hafiflik, düşük profil, düşük maliyet, düzlemsel yapı, üretim kolaylığı ve diğer devre yapılarıyla entegrasyon kolaylığı nedenleriyle sıklıkla tercih edilmektedir. Hem sivil hem askeri alanlarda kullanım alanı bulmakla birlikte radyo frekansı ile tanımlama teknolojisi (RFID), taşınabilir sistemler, Küresel Konumlama Sistemi (GPS), çoklu giriş ve çıkış (MIMO), araç çarpışma önleyici sistemler, uydu iletişim sistemleri, gözetim sistemleri, yön bulma sistemleri, radar sistemleri, uzaktan algılama ve füze rehberliği gibi uygulamalarda kendilerini gösterir. Ancak, bahsedilen avantajlara rağmen, mikroşerit yama antenlerin dar bantlı, düşük kazançlı, yüksek besleme kayıplı, yüksek çapraz polarizasyonlu, düşük eksensel oranlı ve düşük verimli olmaları dezavantajlar olarak değerlendirilebilir [1].

2. MİKROŞERİT YAMA ANTEN YAPISI

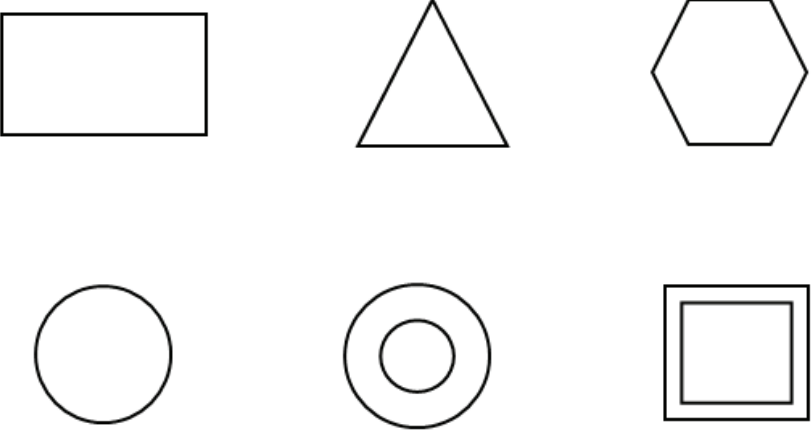
Bir mikroşerit yama anten yama, toprak düzlemi, alt taban (süstrat) ve besleme düzeneğinden oluşan tek tabakalı bir yapıdır (bkz. Şekil 1). Yama, yüksekliği boş uzay dalgaboyundan çok küçük olan bir metal parçası olup, iletken olmayan bir alt taban üzerine yerleştirilir. Yama genellikle maliyeti düşük olan bakırdan yapılır. Alt tabanın diğer tarafında ise yine metalden yapılmış bir toprak düzlemi bulunur. Alt taban yüksekliği çoğunlukla boş uzay dalgaboyunun 0.01-0.05 katı arasında değişmekle birlikte alt taban, yama ile toprak düzlemi arasında mesafe bırakmak ve mekanik destek sağlamak amacıyla kullanılır. Ayrıca kullanılan malzemenin geçiş kaybı düşük ve kayıp tanjantı genelde 0.005 değerinden düşük seçilir. Alt taban malzemeleri, bağlı dielektrik sabiti değeri baz alındığında üç gruba ayrılabilir:

- i. Bağlı dielektrik sabiti 1.0-2.0 arasında olan malzemeler: hava ve polistiren köpük gibi.
- ii. Bağlı dielektrik sabiti 2.0-4.0 arasında olan malzemeler: fiberglas ve kuvvetlendirilmiş Teflon gibi.
- iii. Bağlı dielektrik sabiti 4.0-10.0 arasında olan malzemeler: seramik ve kuartz gibi.



Şekil 1. Mikroşerit yama anten yapısı

Mikroşerit yama anten tasarımında çeşitli yama geometrileri kullanılır. Bu yapıların bazıları Şekil 2’de sunulmuştur. Anten besleme yöntemleri ise bir sonraki bölümde incelenmektedir.

*Şekil 2. Temel yama geometrileri*

3. BESLEME YÖNTEMLERİ

Mikroşerit yama anten beslemesi için farklı yöntemlerden faydalanılmaktadır. Bu yöntemlerden en çok kullanılanları aşağıdaki gibidir:

- i. Mikroşerit hat beslemesi
- ii. Koaksiyel besleme
- iii. Yakınlık kuplajlı besleme
- iv. Açıklık kuplajlı besleme

3.1. Mikroşerit Hat Beslemesi

Mikroşerit hat beslemesi tasarım, analiz ve üretim kolaylığı nedeniyle sıklıkla tercih edilir. Dikdörtgen şeklinde metal bir hat biçiminde düzenlenerek yamayla birleştirilir. Bir mikroşerit yama antenin alt taban yüksekliği h ve tasarlanan mikroşerit hat beslemesinin genişliği w , efektif dielektrik sabit ϵ_{eff} ve alt taban bağıl dielektrik sabiti ϵ_r ise, hattın karakteristik empedansı Z_0 , Eşitlik (1) ve Eşitlik (2) ile bulunur:

$$Z_0 = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left(\frac{8h}{w} + \frac{w}{4h} \right), & \frac{w}{h} < 1 \text{ iken} \\ \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}} \left(\frac{w}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{w}{h} + 1.444 \right) \right)}, & \frac{w}{h} > 1 \text{ iken} \end{cases} \quad (1)$$

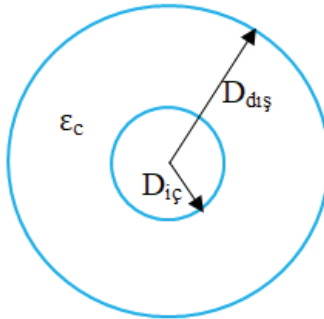
$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2\sqrt{1 + 12h/w}} \quad (2)$$

Bilinen Z_0 değeri kullanılarak mikroşerit hat beslemesi genişliği w hesaplanır. Genellikle $Z_0=50$ ohm değerindedir. Ayrıca, yama kenarlarında giriş empedansı 50 ohm dan daha büyük olabileceğinden, empedans uyumsuzluğunu gidermek için birden fazla çeyrek-dalga dönüştürücü bahsedilen büyük giriş empedansını 50 ohm değerine dönüştürmek için kullanılabilir.

Mikroşerit hat beslemesi ile yama ile besleme tasarlanarak aynı alt taban üzerine kimyasal yöntemlerle yerleştirilebilir. Ancak, hattan dolayı oluşan kaçak ışıma, ışıma örüntüsünde yan lob ve çapraz polarizasyon seviyelerini artıracak derecede büyük olabilir.

3.2. Koaksiyel Besleme

Koaksiyel besleme ile mikroşerit yama antene güç kuplajının sağlanması görece basit, maliyeti düşük ve verimli bir yöntemdir fakat dar frekans bandına neden olur ve kalın alt taban kullanımı durumunda büyük endüktans değerlerine sebebiyet verir. Bu yöntemde koaksiyel konnektörün iç iletkeni dielektrik malzemeden geçerek yamaya lehimlenir, dış iletken ise toprak düzlemi ile temastadır. İstenmeyen geri yansımayı engellemek için koaksiyel beslemenin karakteristik empedansı ile anten giriş empedansının aynı (veya çok yakın) olduğu noktaya koaksiyel konnektör bağlanır. Koaksiyel besleme kesiti Şekil 3’ te gösterilmektedir. İç iletken ile dış iletken arasına doldurulan dielektrik malzemenin bağıl dielektrik sabiti ϵ_c olmak üzere, Z_c ile gösterilen karakteristik empedans hesabı Eşitlik (3)’ te verilmiştir. Karakteristik empedans değeri çoğunlukla 50 ohm’ dur.



Şekil 3. Koaksiyel besleme kesiti gösterilimi

$$Z_c = \frac{138 \log_{10} \left(\frac{D_{dış}}{D_{iç}} \right)}{\sqrt{\epsilon_c}} \quad (3)$$

3.3. Yakınlık Kuplajlı Besleme

Yakınlık kuplajlı besleme yönteminde iki alt taban üst üste konur. Yama en üste yerleştirilirken toprak düzlemi yapının en altında yer alır. Bir mikroşerit hat iki alt taban arasına konumlandırılarak güç kaynağına bağlanır. Bu besleme mekanizması yama ile mikroşerit hattın kapasitif etki oluşturmaya dayanır. Anten tasarımı ve analizi, kapasitif kuplajın göz önüne alınması nedeniyle daha zordur ve iki dielektrik malzemenin uygun kullanımı gerekliliğinden dolayı da üretimi kolay değildir. Ancak geniş bantlı olması, lehime ihtiyaç duyulmaması, mekanik olarak dayanıklı olması ve besleme ışımasının bulunmaması nedenleriyle de avantajlıdır.

3.4. Açıklık Kuplajlı Besleme

Açıklık kuplajlı besleme yönteminde toprak düzlemi iki alt taban arasına yerleştirilir. Yama en üste, bir mikroşerit hat ise aşağıda bulunan alt tabanın altına konumlandırılır. Yama ile mikroşerit hat arasında, toprak düzlemine açılan bir yarık ile kuplaj oluşturulur. Bu yarık yama altında merkezleştirilir böylece yapının simetrik olmasından dolayı düşük çapraz polarizasyona sebebiyet verilir. Açıklık kuplajlı besleme, yapının geniş bantlı olmasına yol açması, lehim kullanılmaması ve mikroşerit hattın kaynaklanan ışımanın yama ışıması ile girişim yapmasının engellenmesi nedenleriyle avantajlıdır. Ancak, birden fazla alt tabanın kullanılmasından dolayı üretimin zor olması, meydana gelen kalın yapı, yarıktan sızan geri yansıma ve yüksek arka lob ışımasına neden olması dezavantajlar olarak değerlendirilebilir.

4. KAZANÇ VE BANT GENİŞLİĞİ İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Mikroşerit yama antenler görece düşük kazanç ve dar bant genişliğine sahiptir. Bu dezavantajları azaltmak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları parazitik yama kullanımı, hava boşluğu bırakılması, yarık kullanımı, ikili beslemeden yararlanılması, kısa devre piminden faydalanılması ve toprak düzleminin düzenlenmesi olarak sayılabilir.

4.1. Parazitik Yama

Kazanç ve bant genişliği iyileştirilmesinde yararlanılan parazitik yamalar, eşdüzlemli veya üst üste yapıda olabilir. Eşdüzlemli yapıda alt taban üzerinde beslenen ana yama dışında, aynı düzlemde bulunan ve beslenmeyen

diğer yama(lar) bulunmaktadır. Üst üste yapıda ise bir dielektrik malzemenin alt ve üst kısımlarına yerleştirilen farklı yamalar bulunur. Alttaki yamanın altında da diğer bir dielektrik malzeme mevcuttur. Bu durum, ortak açıklık alanını paylaşan iki veya daha fazla yamanın var olmasına izin verir [2].

4.2. Hava Boşluğu

Hava, düşük dielektrik sabitine sahiptir. Yama ile toprak düzlemi arasında kullanıldığında efektif bir ışıma örüntüsü ve düşük dönüş kaybı sağlar. Böylelikle giriş gücünün büyük bir kısmı elektromagnetik dalgalara dönüştürülmüş olur.

4.3. Yarık

Yama üzerinde açılan yarık(lar) özellikle yüksek frekanslarda empedans uyumlandırmasını iyileştirir. Yamadaki yarık(lar) akım dağılımını değiştirir ve sonuçta akım yolu uzunluğu ile giriş empedansı da değişmiş olur. Ayrıca yarık eklenmesi yeni rezonans frekanslarının oluşumunu ve daha geniş bant genişliği elde edilmesini sağlar.

4.4. İkili Besleme

İkili besleme kullanımı genellikle yüksek frekanslarda bant genişliğini artırmanın bir yoludur. Bu besleme yöntemi dik akım modu sağlanmasında etkilidir. Ayrıca, polarizasyon özelliklerini bozan, kazanç ve empedans baskılamasını azaltan yatay ve asimetrik akım modlarının oluşumunu da engeller.

4.5. Kısa devre Pimi

Yama ile toprak düzlemi arasına yerleştirilen kısa devre pimi anten boyutunu değiştirmeden rezonans frekansını düşürür. Yüksek empedans uyumlandırmasına ulaşmak için kısa devre piminin yeri antenin besleme noktasına yakın seçilmelidir. Aksi takdirde anten giriş empedansı büyür. Kısa devre pimi, anten eşdeğer devresinde endüktans olarak modellenir. Artan endüktans da rezonans frekansını düşürmektedir [3].

4.6. Toprak Düzlemi Düzenlenmesi

Toprak düzlemi düzenlenmesi genelde toprak düzlemine çeşitli şekillerde yarık(lar) açılarak akım yolunun değiştirilmesi esasına dayanır. Böylelikle yeni rezonans frekans(lar)ı oluşturularak bant genişliği artırılır. Ayrıca, anten eşdeğer devresinde endüktans ve kapasitans değerlerinin de değişmesi sağlanır [4].

5. TASARIM

Birçok görelî karmaşık yama geometrisi için belli tasarım parametreleri

kullanmak suretiyle yama boyutları hesabında analitik çözüm bulunmamakla birlikte ilgili yama boyutlarına genellikle benzetim programları ve eniyileme yöntemleriyle ulaşılmaktadır. Bu bölümde, başlangıçta belirlenen parametreler yardımıyla dikdörtgensel ve dairesel yamalara sahip mikroşerit yama antenlerin yama boyutlarının analitik hesabı incelenmektedir.

5.1. Dikdörtgensel Yama

Dikdörtgensel yamaya sahip bir mikroşerit yama antene ait yama genişliği (W) ve yama uzunluğu (L) analitik olarak hesaplanırken başlangıçta alt taban bağlı dielektrik sabiti (ϵ_r), rezonans frekansı (f_r) Hertz cinsinden ve alt taban yüksekliği (h) belirlenir. Işık hızı $c=3 \times 10^8$ m/sn olmak üzere, Eşitlik (4) ile W bulunur.

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (4)$$

Daha sonra efektif dielektrik sabit ϵ_{eff} Eşitlik (2) ile hesaplanır. Ardından, saçaklanma etkisi nedeniyle yama uzunluğu (L) yönünde ortaya çıkan uzunluk uzatımı (ΔL) Eşitlik (5) ile elde edilir.

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (5)$$

Yama uzunluğu yamanın her iki yanından ΔL kadar uzadığından yamanın efektif uzunluğu (L_{eff}), Eşitlik (6) ile ifade edilir.

$$L_{eff} = L + 2\Delta L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (6)$$

O halde, yama uzunluğu Eşitlik (7) ile bulunur ve yama boyutları hesaplanmış olarak tasarım tamamlanır.

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L \quad (7)$$

5.2. Dairesel Yama

Dairesel yamaya sahip bir mikroşerit yama antene ait yama yarıçapı (r) hesaplanırken başlangıçta yine alt taban bağlı dielektrik sabiti (ϵ_r), rezonans frekansı (f_r) Hertz cinsinden ve alt taban yüksekliği (h) cm cinsinden belirlenir. Sonrasında r Eşitlik (7) ile bulunur.

$$r = \frac{F}{\left[1 + \frac{2h}{\pi\epsilon_r F} \left(\ln\left(\frac{\pi F}{2h}\right) + 1.7726\right)\right]^{1/2}} \quad (8)$$

Eşitlik (8) içerisindeki F ifadesi Eşitlik (9)' da sunulmuştur.

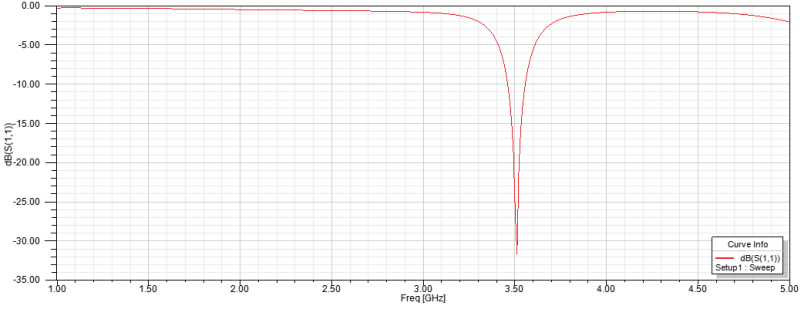
$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (9)$$

5.3. Tasarım Örneği

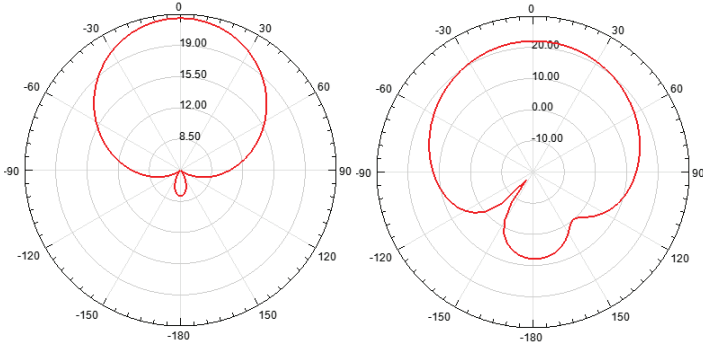
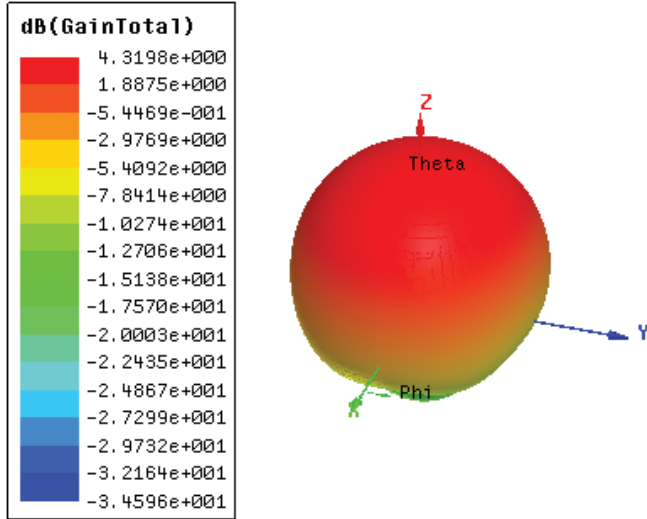
Bir önceki bölümde dikdörtgensel yama için verilen tasarım adımları bu bölümde sayısal olarak örneklendirilmektedir: Yüksekliği $h=1.6$ mm ve dielektrik malzemesi FR-4 ($\epsilon_r=4.4$) olan bir alt tabana sahip dikdörtgensel yamalı bir mikroşerit yama anten, rezonans frekansı $f_r=3.5$ GHz frekansında çalıştırılacak, anten yamasının genişliği W ve uzunluğu L hesaplanarak benzetim sonuçlarıyla uyumluluğu ve anten başarımları parametreleri sunulacaktır.

İlk olarak, Eşitlik (4) yardımıyla $W=26.09$ mm olarak hesaplanır. Daha sonra Eşitlik (2) ile $\epsilon_{eff}=3.99$ bulunur. Eşitlik (5) kullanılarak $\Delta L=0.75$ mm olarak hesap edilir. Eşitlik (6) ile $L_{eff}=21.46$ mm bulunur. Son olarak Eşitlik (7) kullanılarak $L=19.96$ mm değerine ulaşılır.

Benzetim programı yardımıyla Şekil 1' de gösterilen anten yapısı oluşturulmuş, mikroşerit hat beslemesi ile anten beslenmiş ve program çalıştırılmıştır. Frekansın bir fonksiyonu olarak geri dönüş kaybı çizdirildiğinde gerçekten de 3.5 GHz frekansında rezonans elde edilmiştir (bkz. Şekil 4). Ardından Şekil 5' te sunulan, $\Theta=0^\circ$ ve $\Theta=90^\circ$ düzlemleri için ışıma örüntüsü, son olarak da Şekil 6' da verilen üç boyutlu kazanç grafiği bulunmuştur. Işıma örüntüsünün monopolar bir özellik gösterdiği, maksimum kazanç değerinin ise 4.3198 dB olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, başlangıçta belirlenen rezonans frekansına yönelik, analitik olarak hesaplanan W ve L değerlerinin kullanımının, benzetim programında elde edilen rezonans frekansı ile uyumluluk göstermesinden dolayı analitik yaklaşım ile hesaplanan W ve L değerlerinin uygun olduğu söylenebilir.



Şekil 4. Geri dönüş kaybının frekans ile değişimi

Şekil 5. Işıma örüntüsü: $\Theta=0^\circ$ düzlemi (sol) ve $\Theta=90^\circ$ düzlemi (sağ)

Şekil 6. Üç boyutlu kazanç grafiği

6. BENZETİM PROGRAMLARI

Mikroşerit yama antenler tasarlanırken çeşitli benzetim programları kullanılarak istenen anten modellemeleri yapılır ve ilgili anten parametreleri elde edilir. Bu bölümde yoğunlukla kullanılan üç benzetim programı hakkında bilgi verilmektedir.

6.2. HFSS

HFSS (High Frequency Structure Simulator) üç boyutlu yapıların incelenmesinde kullanılan, yüksek başarımlı, tam dalga elektromagnetik bir benzetim programıdır. Ansys firması tarafından üretilmektedir. HFSS sonlu elemanlar yöntemi, uyarlanır kafes ve ileri grafikler yardımıyla elektromagnetik problemlerin çözümünü sağlar. Temel kafes elemanı olan üçgen piramitler ile karmaşık eğri ve şekillere sahip herhangi bir üç boyutlu geometrinin çözümünü kısa sürede elde eder. Saçılma parametreleri, rezonans frekansı, ışıma örüntüsü, kazanç, yönlendiricilik gibi anten başarımlı parametrelerini oluşturur. Bölüm 5.1 içerisinde sunulan tasarım örneğinde HFSS benzetim programı kullanılmıştır.

6.3. CST MWS

CST MWS (Computer Simulation Technology Microwave Studio) yüksek frekanslarda elektromagnetik tasarım ve analiz için kullanılan bir yazılım paketidir. Programda model oluşturulur oluşturulmaz tamamen otomatik bir kafes prosedürü benzetimden önce gerçekleştirilir. CST MWS programının önemli bir özelliği, belirli bir problem için en uygun kafes yapısını seçme imkanı sunan *Talep Yöntemi* yaklaşımına sahip olmasıdır. Tüm uygulamalar için en iyi çalışan tek bir yöntem olmadığından, problemin özelliğine göre çeşitli benzetim yöntemleri (geçici çözücü, frekans domeni çözücü, integral eşitliği çözücü, çok katmanlı çözücü, asimptotik çözücü, normal mod çözücü) problemin yapısına göre seçilir. Ayrıca, frekans domeni çözücü oldukça rezonant yapıların analizi için özelleşmiş yöntemlere sahiptir.

Her bir yöntem içerisinde en uygun kafes yapısı kullanılır. Altı yüzlü kafes elemanları mükemmel sınır yaklaşımıyla birlikte ele alınır. Bu ileri yöntemlerin kullanımı da benzetimlerin doğruluğunu önemli ölçüde artırır. Altı yüzlü kafes elemanına ek olarak, frekans domeni çözücüsünde üçgen piramit kafes elemanından da faydalanılmaktadır.

6.4. ADS

ADS (Advanced Design System), Keysight Technologies tarafından geliştirilen elektronik bir tasarım otomasyon yazılım sistemidir. Mikrodalga, RF ve yüksek hızlı sayısal uygulamalarda kullanılır. Kablosuz iletişim, uzay bilimleri ve askeri uygulamalar gibi alanlara yönelik olarak üç boyut-

lu elektromagnetik benzetimleri gerçekleştirir. Kolay bir kullanıcı arayüzü mevcuttur. ADS şematik çizimi, düzen, tasarım kontrolü, frekans ve zaman domeni benzetimlerinin her adımını destekler. Program içerisinde DC analizi, geçici analiz, AC analizi ve saçılma parametreleri analizi gibi analizler bulunmaktadır.

7. MİKROŞERİT YAMA ANTEN UYGULAMALARI

Mikroşerit yama antenler çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu uygulama alanlarından ikisi olan Küresel Konumlama Sistemi (GPS) ve Mobil İletişim için Küresel Sistem'e (GSM) ait bilgiler ve yapılan çalışmalar bölümde incelenmektedir.

7.1. GPS

Mikroşerit yama antenler Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System - GPS) dahilinde sıklıkla kullanılmaktadır.

GPS uyduları, sağ el dairesel kutuplu işareti Dünya'ya gönderir, yerden yansıyan işaret ise sol el dairesel kutupludur. Böylelikle, doğrudan ve yansıyan işaretler birbirinden ayrılır. Bu nedenle GPS alıcılarındaki antenler sağ el dairesel kutuplu işareti alabilecek nitelikte olmalıdır. Alıcı antenin ışıma örüntüsü de yarıküresel özelliği sağlamalıdır. Anten tarafından alınan işaret zayıf olduğundan tasarımda empedans uyumlandırma da önem kazanmaktadır. Mikroşerit yama antenler, yarıkürede geniş bir lob sağlayan ışıma örüntüsüne sahip olması ile birlikte düşük fiyatlı ve hafif olmaları nedeniyle GPS alıcılarında tercih edilir. Düzlemsel yapıda olmaları, kolay geometrik tasarımları ve görelî entegrasyon kolaylığı da avantajdır [5-7]. Dairesel polarizasyona sahip mikroşerit yama anten boyutlarının küçültülmesi için kullanılan yöntemler iki gruba ayrılabilir. Birinci grupta, anten alt tabanı yüksek dielektrik sabitine sahip maddeden seçilir [8]. İkinci grupta ise yamada yarıklar açılır [9]. Antenin kalite faktörünü küçültmek için toprak düzlemine ekstra yarıklar da açılmaktadır.

Farklı konfigürasyonlara sahip, tek ve birden fazla beslemeli, dairesel polarizasyonlu mikroşerit yama antenler geçmişten günümüze geliştirilmiştir:

Tek beslemeye sahip anten yapılarının temel avantajı bir dış polarizöre ihtiyaç duyulmamasından dolayı basit bir yapıya sahip olmalarıdır. Bu yapılar, iki dik modu oluşturmak için kullanılan geometri boyutlarındaki küçük bir değişim bile dairesel polarizasyon performansını etkiler; dolayısıyla ilgili boyutlar belirlenirken göz önüne alınmalıdır. Tek beslemeli antenlerin öncüllerinden biri dikkörtgen şeklinde ve köşegen üzerinde beslemeye sahiptir. Bu durumda, iki rezonans modu konumsal olarak birbirine dik olduğundan dairesel polarizasyon elde edilir. İlgili iki modun gerilimleri arasında

dört evreli faz ilişkisi elde etmek için anten, iki modun rezonans frekansları arasında bir frekansta uyarılır. Bir diğer yapı, yamasında köşegen doğrultuda yerleştirilmiş dikdörtgen bir yarık bulunan kare mikroşerit antendir. İki modun rezonans frekansları arasındaki fark, bir modu diğerinden daha fazla tahrik eden dikdörtgensel yarık nedeniyle oluşur. Köşegen doğrultusundaki iki köşeden kırılmış kare mikroşerit antende ise rezonansın iki dik modu, tek başlarına iki köşegen yönünde doğrusal polarizasyon oluşturabilecek köşegen modlardır. İki köşenin kırılması, bu köşegen üzerindeki rezonans frekansının, kırılmamış köşeler üzerindeki rezonans frekansından daha yüksek olmasına sebep olur. Çalışma frekansı ve besleme yeri iki modun dört evreli faz şeklinde uyarılmasını sağlayacak biçimde seçilir. Bir çalışmada, dikdörtgen bir toprak düzlemi üzerine yerleştirilmiş artı şeklindeki bir yamaya yarık açılarak dairesel polarizasyon elde edilip, geleneksel dikdörtgen yama antenle kıyaslandığında %46 oranında alan kazanımı sağlanmış ve 75°'lik hüzmeye genişliği ile enine ışıma karakteristiği bulunmuştur [10].

İki beslemeli mikroşerit antenleri bir dış hibrit yonga ile uyararak dairesel polarizasyon elde edilebilir. Bu tipte bir tasarımda, pertürbasyon elemanlarını (yarıklar) kullanmaya gerek kalmaz, fakat hibrit devre için fazladan bir alana ihtiyaç duyulması sistemin boyutunu artırır. Küçük bir 0°-90° hibrit yonganın kullanıldığı, besleme ağını azaltan ve sağ el dairesel polarizasyon performansını artıran çalışmalar ile polarizasyon durumunu (dairese polarizasyon dahil) değiştirmeye yarayan besleme kısımlarını içeren çalışmalar literatürde mevcuttur [11]. Kare halka şeklinde yamaya sahip bir kare mikroşerit antende dairesel polarizasyon oluşturmak için besleme ağı olarak toplu dört evreli kuplör kullanıldığı da raporlanmıştır [12].

Farklı kullanım amaçlarına yönelik olarak, GPS frekans band(lar)ıyla birlikte farklı bantlarda da çalışabilen dairesel polarizasyonlu antenler tasarlanmakta ve üretilmektedir. Çift bantlı, dairesel polarizasyona sahip yama anten tasarımında yarık yüklemesi ve parazitik yamaların üst üste yerleştirilmesi gibi çeşitli yöntemler mevcuttur [13]. Bir çalışmada, GPS ve WLAN bantlarını kapsayan çift bant (sırasıyla 1.22-1.89 GHz ile 5.24-6.37 GHz aralıklarında çalışan) özellikli, dikdörtgen biçimli bir toprak düzlemi üzerinde ikili fiyonk şeklinde yamaya sahip mikroşerit anten incelenmiştir [14]. GPS uygulamasının L1, L2 ve L5 bantlarında kullanılmak üzere tasarlanmış, üçlü bant dairesel polarizasyon özelliğine sahip, toprak düzlemi olarak reaktif empedans yüzeyi üzerine üst üste yerleştirilmiş mikroşerit yama antenler de incelenmiştir [15].

7.2. GSM

GSM uygulaması için mikroşerit yama anten kullanılarak tasarlanan birçok sistem bulunmaktadır. Araştırılan anten yapılarından bazıları aşağıda sunulmuştur:

Negatif permitivite ve permeabiliteye sahip metamalzeme kullanarak üç bantlı (GSM 1800, 2.55 GHz WLAN ve 3.85 GHz WiMAX), küçük ve ucuz bir yama anten tasarlanmıştır [16]. Yine üç bantlı (GSM 1800, 2.4 GHz Wi-Fi ve 3.53 GHz WiMAX), yamasında U şeklinde iki yarık bulunduran bir mikroşerit yama antende TM01 ve TM02 modları uyarılmış ve üç rezonans frekansı elde edilmiştir [17]. Akıllı telefonlarda kullanıma yönelik olarak GSM 900 ve GSM 1800 bantları için tasarlanan, destek pimleri sayesinde tüm sistemin toprak düzleminden 5 mm yükseklikte yerleştirilen ve bu sayede diğer elektronik devre elemanları için ekstra yer sağlayan tek parça halinde üretilmiş bir yama anten ile %70' ten fazla ışıma verimliliğine ulaşılmıştır [18]. Benzer bir çalışmada yine akıllı telefonlar için GSM 900 ve GSM 1800 bantlarında çalışan, 4 mm alt taban kalınlıklı, destek pimleri ile tüm sistemin toprak düzleminden 4 mm yüksekliğe yerleştirilmiş ve yaklaşık olarak üçgen bir yarığa sahip yama ile istenen bantlarda iki rezonans frekansı elde edilmiştir [19].

8. SONUÇ

Mikroşerit yama antenlerin yapısı, besleme yöntemleri, kazanç ve bant genişliği iyileştirme yöntemleri, dikdörtgensel ve dairesel yamaya sahip mikroşerit yama antenlerde yama boyutunun hesaplanması adımları ile dikdörtgensel yamaya ait tasarım örneği, anten tasarımında kullanılan ticari benzetim programları, mikroşerit yama anten uygulamalarından olan GPS ve GSM ile ilgili bilgi ve literatür çalışması sunulmuştur. Gelecekte, mikroşerit yama antenlerin performans parametrelerinin çeşitli metodlarla iyileştirilmeye devam edilmesiyle kullanım alanlarının daha da gelişeceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Mohammed, A. S. B., Ahmad, Z. A., Kamal, S., Ullah, U. (2019). Microstrip patch antenna: A review and the current state of the art, *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 11, 510-524.
- [2] Kumar, A., Gupta, N., Gautam, P. C. (2016). Gain and bandwidth enhancement techniques in microstrip patch antennas: A review, *International Journal of Computer Applications*, 7, 9-14.
- [3] Kumar, A., Khandelwal, R., Singh, S., Kumar, A., Makhdumi, A. (2021). A review on gain enhancement techniques of microstrip antenna, *2nd International Conference on Intelligent Engineering and Management*, 474-477.
- [4] Khraisat, Y. S. H. (2018). Increasing microstrip patch antenna bandwidth by inserting ground slots, *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*, 10, 1-11.
- [5] Ahsan, Md. R., Islam, M. T., Ullah, M. H. (2015). A microstrip-fed reformed rectangular shape slotted patch antenna for simultaneous operation in GPS and WLAN bands, *Microwave and Optical Technology Letters*, 57, 2204-2207.
- [6] James, J. R., Hall, P. S. (1989). *Handbook of microstrip antennas*, Londra, The Institution of Electrical Engineers.
- [7] Ahsan, M. R., Ullah, M. H., Islam, M. T. (2014). Slot loaded rectangular patch antenna for dual-band operations on glass-reinforced epoxy laminated inexpensive substrate, *J. Comput. Electron.*, 13, 989-995.
- [8] Chen, M., Chen, C. C. (2013). A compact dual-band GPS antenna design, *IEEE Antennas Wireless Propagat. Lett.*, 12, 245-248.
- [9] Nasimuddin, X., Qing, X., Chen, Z. N. (2011). Compact asymmetric-slit microstrip antennas for circular polarization, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 59, 285-288.
- [10] Nishamol, M. S., Sarin, V. P., Tony, D., Aanandan, C. K., vd. (2011). Design of a circularly polarized rectangular microstrip antenna for GPS applications, *Microwave and Optical Technology Letters*, 53, 468-470.
- [11] Chen, M., Chen, C. C. (2013). A compact dual-band GPS antenna design, *IEEE Antennas Wireless Propagat. Lett.*, 12, 245-248.
- [12] Hou, M. J., Row, J. S. (2013). Compact circularly polarized microstrip antenna for GPS applications, *Microwave and Optical Technology Letters*, 56, 1293-1296.
- [13] Cai, Y. M., Li, C. K., Yin, Y. Z., Ren, X. (2015). Dual-band circularly polarized antenna combining slot and microstrip modes for GPS with HIS ground plane, *IEEE Antennas Wireless Propagat. Lett.*, 14, 1129-1132.
- [14] Liu, H. W., Qin, F., Lei, J. H., Wen, P., vd. (2014). Dual-band microstrip-fed bow-tie antenna for GPS and WLAN application, *Microwave and Optical Technology Letters*, 56, 2088-2091.

- [15] Agarwall, K., Nasimuddin, Alphones, A. (2014). Triple-band compact circularly polarised stacked microstrip antenna over reactive impedance meta-surface for GPS applications, *IET Microw. Antennas Propag.*, 8, 1057-1065.
- [16] Rahimi, M., Keshtkar, A., Zarrabi, F. B., Ahmadian, R. (2014). Design of compact patch antenna based on zeroth-order resonator for wireless and GSM applications with dual polarization, *International Journal of Electronics and Communications (AEÜ)*, 69, 163-168.
- [17] Sharma, D., Hashmi, M. S. (2014). A novel design of tri-band patch antenna for GSM/WiFi/WiMAX Applications, *IEEE International Microwave and RF Conference*, 156-158.
- [18] Wong, K. L., Chang, C. H., Row, J. S. (2007). Internal GSM/DCS patch antenna mounted above the system ground plane of the PDA phone, *Microwave and Optical Technology Letters*, 49, 2002-2006.
- [19] Wong, K. L., Lin, Y. C., Chen, B. (2007). Internal patch antenna with a thin air-layer substrate for GSM/DCS operation in a PDA phone, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 55, 1165-1172.



BÖLÜM 15

SÜRDÜRÜLEBİLİR VE YENİLİKÇİ TEKSTİL LİFLERİ

*Okşan ORAL¹
Esra DİRGAR²*

1 Doç. Dr., Ege Üniversitesi Emel Akın Meslek Yüksekokulu, Giyim Üretim Teknolojisi Programı, oksan.kansoy@ege.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4239-5381

2 Prof. Dr., Ege Üniversitesi Emel Akın Meslek Yüksekokulu, Giyim Üretim Teknolojisi Programı, esra.dirgar@ege.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8305-3113

1. GİRİŞ

Tekstil sektöründe sürdürülebilirlik konusu, doğal kaynakların giderek tükenmesi ve hem üretim hem de işgücü dikkate alındığında sektörün çok büyük olması açısından her geçen gün büyük önem kazanmaktadır. Tekstilde sürdürülebilirlik hem ekonomik hem de ekolojik açıdan değerlendirilmelidir, çünkü, doğal hammaddelerin kullanılması kimyasal hammaddelerin özellikle tarımda kimyasal ilaç, böcek zehirlerinin azaltılması veya kullanılmaması, uzun ömürlü ürünlerin kullanılması, geri dönüşüme önem verilmesi ve atıkların azaltılması bu kapsamda çok önemlidir. Üretim, insan ve atık ekolojisi olmak üzere 3 kapsamda incelenen tekstil ekolojisi, sürdürülebilirlik çalışmalarının temelini oluşturmaktadır. Bu bağlamda seçilen çevre dostu hammaddeler, insan ve doğaya zarar vermeyen tekstil ürünlerinin üretilmesi, üretim ve kullanım sonunda açığa çıkan atıkların geri dönüştürülmesi dikkate alınmalıdır. (Uludağ Tekstil İhracatçıları Birliği, 2020).

Sürdürülebilirlik, insan ile doğa arasında denge kurarak, doğal kaynakları tüketmeksizin, gelecek nesillerin ihtiyaçlarının karşılanmasına olanak sağlayacak şekilde, bugünün ve geleceğin yaşamını ve kalkınmasını programlama anlamını taşımaktadır (Hepbaşlı, 2010). Tekstil ve hazır giyim sektörü incelendiğinde, sektörde kullanılan zararlı kimyasallar (Greenpeace International, 2011& Choudhury, 2014), aşırı su tüketimi ve bunun sonucunda su kirliliği (Moore, 2009 & Oecotextiles, 2012), üretim süreci boyunca yüksek enerji tüketimi ve bununla bağlantılı olarak hava emisyonları (Choudhury, 2014, Reddy & Ray, 2011, Nagaraj, 2012, Rupp, 2008) başta olmak üzere nakliye (Choudhury, 2014), ve ambalajlama konusundaki sorunlar ile atıklar, çevresel açıdan sürdürülebilirliğin önündeki en büyük engellerdir.

Tekstil sanayi diğer birçok sektörde olduğu gibi hammadde seçimi ve üretim yönteminde sürdürülebilirliği destekleyecek çözümlerin arayışı içindedir.

Sürdürülebilir tekstil üretimi son yıllardaki en önemli konulardan birisidir. Tüketicilerin çevre bilincinin artması, ham madde kaynaklarındaki azalma, hızlı moda (fast-fashion) nedeniyle üreticiler tekstilde sürdürülebilir üretim yollarını araştırmaktadırlar. Bu bağlamda geri dönüşüm, asgari kaynak israfı çabaları kendini göstermeye başlamıştır.

Üreticiler sürdürülebilirlik kapsamında, kullanılan kumaşları yeniden kullanmaya çalışmışlar, doğada çözünebilir ürünleri tüketmeye daha çok dikkat etmişler ve sentetik ürünleri toplayarak sentetik elyaflar üretmek için çalışmaya başlamışlardır.

Üreticilerin bu emekleri karşılığını bulmaya başlamış, tüketiciler de sürdürülebilir ev tekstili ürünlerini ve giysileri tercih etmeye başlamışlardır.

Tekstil firmaları, daha çevre dostu liflere odaklanmak için, teknik tekstil

ürünlerinde kullanmak üzere, geri dönüştürülmüş malzemelerden ve doğal kaynaklardan elyaflar geliştirme yolunu seçmişlerdir (atillatekstil.com).

Günümüzde sürdürülebilir tekstil üretiminde hammadde açısından olaya yaklaşıldığında, kullanılan lifler ön plana çıkmaktadır. Doğal lif olarak kullanılan pamuk, keten, ipek ve yünün yanında, bunlara hem ek hem de alternatif olabilecek, farklı performans özelliklerine sahip farklı doğal lifler vardır. Ayrıca önemli bir nokta da, maliyetler açısından tercih edilen petrol esaslı sentetik lifler yerine alternatifi olabilecek doğal liflerin kullanılmasıdır. Olaya sadece tekstil materyali olarak bakılmamalı, tekstil liflerinin kullanıldığı tüm alanlarda sentetik lifler yerine alternatiflerinin kullanılması olarak düşünülmelidir. Örneğin kompozit malzemelerde güçlendirici olarak kullanılabilen çok fazla doğal lif türü bulunmaktadır (Devi, Bhagawan & Thomas, 1997). Unutulmaması gereken bir nokta, gelecekte petrol rezervleri son bulduğunda, yerine kullanılacak doğal kaynaklar hem ekonomi hem de çevre açısından avantaj getirecektir (Biswal, Mohanty, Nayak, 2009 & Saheb, Jog, 1999).

2. YENİ NESİL SÜRDÜRÜLEBİLİR LİFLER

2.1 Kenevir Lifi

Kenevir lifleri çok uzun yıllardan beri kullanılan doğal lifler grubundandır. Son yıllarda kenevir liflerine karşı talep hissedilir bir şekilde artmıştır. Bunun nedeni çevresel tehlike ve kaygılar sonucu sürdürülebilir hammaddeye yönelme eğilimidir. Kenevir lifi sağlamdır, yaş haldeki mukavemeti iyidir, lifte statik elektriklenme ve boncuklanma görülmez, yüksek sıcaklık derecelerine dayanıklıdır, 20 °C’de %65 bağıl nem altında %12 nem çeker. Keten ve pamuk ile karşılaştırıldığında bu özellikleri yüksektir. Kenevir lifi, bu sayılan ekolojik özellikleri ve organik tekstil üretim potansiyeli nedeniyle büyük öneme sahiptir. (Uludağ Tekstil İhracatçıları Birliği, 2020). Lif kullanımı oranı arttıkça, üretilen ürünün yumuşaklığı da artar. Kenevir lifi, küf, pas ve UV ışığına karşı yüksek dirence sahiptir.

Kenevir doğal liflerin sak (gövde) lifi grubuna girer. Lif bitkinin gövdesi içinde bulunur ve mekanik yöntemler ile lif gövdeden çıkarılır. Kenevir, aynı arazide pamuktan %250, lif üretimi ketene göre %600 oranında daha fazladır ve dönüm başına verimi en yüksek liftir.

Kenevir, farklı iklim koşullarında çok hızlı büyüyen yenilenebilir bir liftir. Büyümesi için tarım ilacı ya da gübre kullanılması gerekmez. (Balatekin, 2020). Kenevir, doğal yetiştirme yapısı nedeniyle su tüketimi, büyüdüğü ortamdaki havayı temizlemesi ve minimum kimyasal kullanımı gibi avantajları ile sürdürülebilir bir bitki türü ve sürdürülebilir bir liftir.



Şekil 1. Kenevir sakı ve lifi (Balatekin, 2020).

2.2 Muz Lifi

Muz lifi, %100 saf, muz ağacı gövdesinden üretilir. Ağacın gövde kısmının en iç ve en yumuşak kısmından elde edilen lifler kullanılır. Bu liflerin üretimi için, ekstra alan ya da suya ihtiyaç duyulmaz. Lifler, çoğunlukla Hindistan'da üretilir (Balatekin, 2020).

Muz lifi, doğal bir sak lifidir. Muz lifinin kimyasal bileşimi, selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşmaktadır. Muz lifleri, çok mukavim olup, yüksek nem emme özelliğine sahiptir. Nemi, hızla emmekte ve yine hızlı bir şekilde dışarı atmaktadır. Çabuk kurur ve nefes alabilir özelliktedir. Biyolojik olarak doğada parçalanabilir ve çevre dostu bir lif olarak sınıflandırılır. Lifler, ortalama olarak 2.400 nanometre (nm) inceliğindedir (bmusa.com).

Muz liflerinden yapılan kumaşlar, organik pamuk ve bambu gibi diğer doğal ve organik liflerle karşılaştırıldığında son derecede yumuşak, daha fazla nefes alan, dayanıklı, daha az su tüketen, toksik olmayan kumaşlardır. Üretilen bu kumaş “muz ipeği” olarak da adlandırılır. Muz ipeği normal ipek kumaşla aynı kaliteye sahiptir, makinada yıkanabilir ve kimyasal kuru temizleme işlemine gerek duymaz. Bu doğal kumaş, boyayı pamuğa kıyasla çok daha iyi emer ve böylelikle boyama işlemi esnasında daha az su tüketilir. Ayrıca bitki boyalarından gelen su, kapalı bir döngü sistemi oluşturan tesisi çevreleyen tarlaları sulamakta kullanılabilir (Balatekin, 2020). Lifterin düzgün, pürüzsüz yapıda olması ve dayanıklılığı nedeniyle, bu liflerden yapılan eşyalar uzun yıllar kullanılabilir. Üretilen kumaşlar terletmez. Üretim sürecinin tamamıyla doğal olması, tüketicinin ilgisini muz liflerine çekmektedir. Bitki artıklarını geri dönüştürerek, çevreye ve ekonomiye katkı sağlaması da, muz lifi üretiminin sürdürülebilirlik açısından önemli bir avantajıdır. Kaba dokuma kumaşlar, çadırlar, halatlar, sicimler, perdeler ve dokuma kumaş tuval, ayakkabılar ve alet çantaları, bu liflerden üretilir. Bu lifler, aynı zamanda yün ve pamuk ile karışım halinde kullanılabilir. Bu şekilde, battaniye, halı ve örtü yapımında kullanılabilir (bmusa.com).



Şekil 2. Muz lifi ve muz lifinden yapılmış kumaş (tekstilsayfasi)

2.3 Isırgan Otu Lifi

Avrupa'nın, Asya'nın ve Kuzey Amerika'nın ılıman bölgelerinde sık görülen bir bitkidir. Nemli alanlarda hızla gelişmesi nedeniyle yetiştiriciliği kolaydır ve diğer liflere göre daha fazla bulunur. Isırgan otunun çok yıllık bir türü olan *Urtica dioica*, lifi için yetiştirilir ve aynı araziden uzun yıllar verim alınabilen bir bitkidir. Isırgan otu hasat edildikten sonra havuzlama yöntemi ile lifler elde edilir.

Isırgan otu lifi, bir lifin tekstil lifi olması için gerekli tüm özelliklere (yüksek lif oranı, uzunluk, incelik, mukavemet, lifin germe davranışı, düşük yoğunluk...) sahiptir. Bitki yüksek kalitede lif içermektedir ve lifli kısım bitkinin %17'sini kapsar. Isırgan otu lifinin nem emme kabiliyeti çok yüksektir, bu da kıyafetler için önemli bir konfor parametresidir (Kurban, 2012). Lifin enine kesiti incelendiğinde, içi oyuk boşluklu (hollow) bir yapıda olduğu görülür. Bu lifin kendine özgü karakteristik özelliğidir. Bu yapı sayesinde boşluklarda kalan hava doğal bir yalıtım sağlamaktadır. Soğuk havalarda giyilecek kıyafetlerde, sıcaklığın sabit kalması amaçlanacağı için ipliklere daha düşük büküm verilip içi boşluklu oyuk lif yapısı korunur. Sıcak havalarda giyilecek kıyafetlerde ise, kıyafetin serin tutması için iplikler lifin merkezindeki boşlukları kapatacak şekilde bükülür (Uludağ Tekstil İhracatçıları Birliği, 2020). Bu lifler, üst giysi, ceket, erkek gömleği, masa örtüsü ve nevresim üretiminde, denim kumaşlarda, halılarda, doğal yastıklarda ve bahçe eşyalarında kullanım alanı bulmaktadır (Kurban, 2012).



Şekil 3. Isırgan otu lifinden üretilen tekstil ürünleri (Kurban, M., 2012)

2.4 Soya Lifi

Soya lifi, 100% doğa dostu bir lifdir. Protein esaslı, yenilenebilir bitkisel bir lif olan soya lifi, üretimi esnasında açığa çıkan atıklar soya yağı ve hayvan yemi olarak kullanılabilir. Sağlık ve konfor açısından bakıldığında, yeni doğal lifler arasında önemli bir yeri vardır. %100 soya elyafından üretilen ürünler, cildin rahat nefes almasını sağlamaktadır. İnsan vücudundaki kan dolaşımını dengeleyerek koku oluşumunu da engellemektedir. Deterjan kullanmaksızın soğuk su ile yıkandığında temizlenebilmektedir. Soya lifleri, anti bakteriyeldir, bakteri oluşumunu engeller, ıslaklığı hızla emer. Anti-ult-raviyole özelliği ile elektromanyetik dalgalardan da korumaktadır. Parlaklık açısından ipek lifine, tutum açısından kaşmir lifine, nem iletimi açısından pamuk lifine ve sıcak tutma açısından yün lifine benzer özelliklere sahiptir. Bu özellikleri ile soya lifi, 21. yüzyılın en sağlıklı ve konforlu doğal lifi olmaya güçlü bir adaydır. Soya lifi yapısı, özellikleri, tuşesi ile rahat kıyafetler grubuna girerken, aynı zamanda konforlu, güzel giyinme gereksinimlerini de karşılar. Bu lifler genellikle orta ve yüksek sınıf tüketici grubuna hitap eder (Uludağ Tekstil İhracatçıları Birliği, 2020 & myfikirler.org).

Bebek giysilerinde, t-shirtlerde, nevresimlerde, kazak ve süveterlerde, pamuk, yün, ipek, kaşmir, elastan ve sentetik lifler ile karışım olarak kullanılabilir (Yıldırım, Avinç, & Yavaş, 2015).



Şekil 4. Soya fasülyesi ve lifi (swicofil.com)

2.5 Lotus lifi

Kaynakların hızla azalması ve pamuk gibi doğal liflerin işlenmesi için kaynakların yoğun kullanılması ve akrilik, polyester, naylon ve spandeks gibi petrol bazlı liflerin çevre dostu olmaması göz önüne alındığında, lotus lifleri sürdürülebilir alternatifler lifler arasına girmektedir.

Lotus lifinden elde edile kumaş, ipek ve ham keten karışımı gibi hissettiren lüks bir kumaştır.

Lif eldesinde, nilüfer sapları göllerden toplanır, sapların ucu kesilir ve uzun, ince lifler merkezden çekilir. Lifler iplik haline getirilir, elde edilen iplikler yıkanır ve kuruması için asılır ve son olarak dokuma tezgahlarında el dokuması ile kumaş haline getirilir (fashionunited.uk).



Şekil 5. Lotus bitkisinin çeşitli aşamaları (29)

En önemli dezavantajı fiyatının yüksek olmasıdır ancak kalıcı giysiler, kalite ve düşük karbon ayak izi, müşteriler tarafından tercih sebebidir. Elde edilen kumaş, yumuşak, ipeksi ve nefes alabilen bir kumaştır. Çevre dostudur. Leke tutmaz özelliğe sahiptir. Bu sebeple çok sık yıkanması gerekmediği için uzun yıllar dayanır ve uzun ömürlü olmasını sağlayan ek özelliklere sahiptir (fashionunited.uk).

2.6 Kapok Lifi

Kapok lifleri çok uzun yıllar dolgu maddesi amacıyla tekstil lifi olarak kullanılmıştır. Kimyasal lif teknolojisinin gelişmesi, yaygınlaşması, zamanla sentetik liflerin üretim maliyetlerinin düşmesi, doğal dolgu liflerine göre bakımının kolay olması, yıkamaya dayanıklı olması, kapok liflerini geri plana itmiş, dolgu lifi olarak sentetik liflerinin kullanımını ön plana çıkarmıştır. Ancak sürdürülebilirlik bilincinin oluşması, yaygınlaşması ve günümüzde tüketicinin hayat biçimi haline gelmesi, tekstil endüstrisinde de geleceğe katkı sağlama arayışını doğurmuştur. Tekstil üretiminde sürdürülebilirlik için çok fazla yapılması gereken işlem ve süreç vardır. Bunların başında yenilenebilir, biyobozunur, çevre dostu doğal hammaddelerin kullanımı gelmektedir. Bu açıdan bakıldığında kapok lifleri fonksiyonel özellik gerektiren

teknik tekstil ürünlerinin üretiminde çok önemli bir yere sahiptir (Turkoglu, Kalaycı, Avınc & Yavas, 2019).

İçi boşluklu lif yapısı nedeniyle hafiftir ve yoğunluğu çok düşüktür (pamuktan 8 kat düşük). Bu özelliği sebebiyle suda batmama özelliğine sahiptir. İçi boşluklu lif yapısı havayı hapsettiği için termal ve ses yalıtım özelliği çok iyidir. Lifler kullanım sonrası şeklini korur. Lif yüzeyinde ince mumlu bir tabaka bulunmaktadır. Bu tabaka sayesinde leke tutmaz (Smole, Hribernik, Kleinschek, & Kreže, 2013), böcek ve organizmalara karşı koruyucudur. Doğal lifler grubunda olduğu için çevre dostudur. Ancak bazı dezavantajlara da sahiptir. Kolay kopan bir liftir, kırılındır. Lifin yüzeyini kaplayan mumlu tabakadan dolayı lifler kayganlaşır, bu da eğrilip bükülmesini, dokuma ve örme kumaş elde edilmesini zorlaştırır (Smole, Hribernik, Kleinschek, & Kreže, 2013, Hori & ark. 2000). Liflerin çok ince ve hafif olması çok kolay ve kısa zamanda havada uçuşmasına yol açar. Havada uçuşan lifler sağlık açısından çok tehlikelidir, ağız ve burun yoluyla ciğerlere kaçıp önemli sağlık sorunlarına yol açabilir. Bu sebepten dolayı işlenmeleri sırasında çok dikkati davranılması, sağlık ve güvenlik tedbirlerinin alınması gerekmektedir. Ayrıca boşluklu yapısından dolayı içeride hapsolan hava tutuşma özelliğini atır (Turkoglu, Kalaycı, Avınc & Yavas, 2019).



Şekil 6. Kapok lifi (fashionunited.uk/ 201804092900)

2.7 Ananas Lifi

Ananasa değerini veren meyvesidir. Ananasın tekstil amaçlı kullanılan kısmı, hasat edildikten sonra açığa çıkan yapraklarıdır. Ananas lifi atık olarak değerlendirilen yapraklarından elde edilir. Ananas lifleri günümüzde pek çok endüstride kullanılmaktadır. Bunun nedeni, sahip oldukları yüksek mukavemet, antibakteriyel, çevre dostu, biyobozunur, özellikler göstermesidir. Ananas liflerinin kullanıldığı endüstriler, tekstil, kompozit malzemelerin kullanıldığı endüstriler, deri endüstridir. Tekstilde, gelinlik, abiye kıyafetlerde, ev tekstilinde (halı, perde, yatak örtüsü, paspas, döşemelik kumaş...), özellikle medikal teknik tekstillerde kullanılan kompozit yapılarda olmak üzere çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Son yıllarda ananas lifleri büyük bir dönüşümden geçerek deri endüstrisinde kullanılmaya başlanmıştır.

Vegan deri olarak kullanılan bu malzeme ‘Pinatex’ adı ile bilinmektedir. Sürdürülebilir, doğa dostu bir malzeme olan bu derinin eldesinde, ananas lifleri önce dokusuz yüzey haline getirilir, ardından mekanik ve kimyasal işlemler uygulanır. Ananas yaprağından elde edilen deri, özellikle ayakkabı, çanta, mobilya ürünlerinde kullanım alanı bulmaktadır (Kalaycı & ark. 2016).

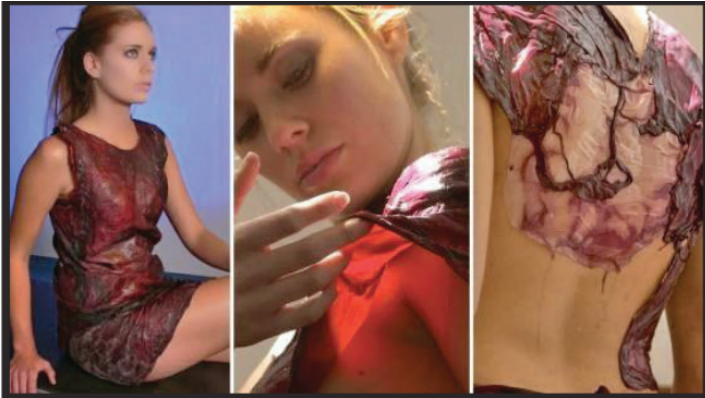


Şekil 7. Ananas lifinden tasarlanmış deri çanta ve koltuk (Berber & Keskin, 2021)

2.8 Üzüm Lifi

Üzümden şarap üretilirken açığa çıkan üzüm atıklarından (tohum, sap ve kabuk yan ürünlerinden) biyobazlı deri üretimi yapılmaktadır. Yiyecek atıklarının yeniden değerlendirilmesi yoluyla tekstil üretimi hedeflenmekle birlikte, çevre ve hayvan dostu bir amaca da hizmet eder.

Bir araya getirilen atıklar, kurutulduktan sonra uygun işlem basamaklarından geçirilmek suretiyle birleştirilir. Üzüm atıklarından tekstil materyali elde eden ilk firma olan Vegea Textile firması, endüstride öncüdür (tekstil-bilgi.net). Hayvan derisine alternatif olarak geliştirilen bu deri, hazır giyim ürünlerinde, aksesuarlarda ve otomobil iç mekanlarında tercih edilmektedir (Berber & Keskin, 2021).



Şekil 8. Üzümden üretilen elbise Donna Franklin ve bilim adamı Gary Cass (Berber & Keskin, 2021)

2.9 Mantardan Elde Edilen Deri

Mantarların yer altı kök yapısı olan miselyumdan üretilen, deri görünüm ve hissi veren vegan deri ürünüdür. Mantar glüten ve kimyasal içermez ve mermer, kadifemsi bir yüzeye sahiptir. Sadece görsel olarak hayvan derisine benzer, ancak yüksek emicilik, antibakteriyel ve antiseptik özelliklere sahiptir. Yüksek miktardaki hava, mantar derisine hafifliğini verir ve aynı zamanda yalıtkan bir etkiye sahiptir. Materyal, birçok süngerin yetiştiği yoğun ormanlık bir bölge olan Transilvanya, Romanya'dan temin edilmektedir. Mantarlar elle hasat edilir, böylece doğa dostu bir şekilde toplanır ve bir yıl kurutulur. Daha sonra soyulur ve özenli bir işlemle elle işlenir. (Fashionunit-ed.uk/2018051429598 & Berber & Keskin, 2021)



Şekil 9. Miselyum ayakkabı (Berber ve ark. 2021)

2.10 Kaktüs Derisi

Kaktüs derisi, Meksika'dan, Desserto markası ile dünya pazarına açılmıştır. İmalatında nopal kaktüs (dikenli incir) yaprakları kullanılmıştır. Vegan deridir ve hayvan derisine alternatif olarak geliştirilmiştir. Giysi, otomotiv, mobilya, çanta, ayakkabı, saat kayışı gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Geleneksel deriye çok benzer, uzun ömürlüdür, elastiktir, kalitesi yüksektir, bu nedenle hem hazır giyim sektöründe hem de mobilyalarda uygundur, kısmen biyolojik olarak parçalanabilir (Berber & Keskin, 2021)



Şekil 10. Kaktüs derisinden yapılmış çanta, ayakkabı (entdergi.com & cevrecigeek.com)

3. SONUÇ

Dünya ve insanlık dikkate alındığında, ekonomik, insani ve çevresel boyuttaki zararları olabilecek en alt seviyeye indirmek, tekstil ve hazır giyim sektörü açısından çok önemlidir. Bu kapsamda, tekstil ve hazır giyim sektöründe üretimde kullanılan hammadde ve kimyasal maddelerin azaltılması ve çevreye zarar vermemesi çok önemlidir. İçinde bulunduğumuz yüzyılda, üretim söz konusu olunca, çevre, insan, sosyal sorumluluk gibi faktörler öncelikli olarak değerlendirilmektedir. Günümüzde sürdürülebilirlik, ekonomik başarı, çevre kalitesi ve sosyal eşitliği aynı anda öngören çalışmaların tamamı olarak ifade edilmektedir. Çevreye duyarlı ve sürdürülebilir üretim, tüm süreçlerde kriter olmuştur.

Tekstil, hazır giyim ve moda endüstrisi dünyanın en eski ve en büyük sektörlerinden biridir. Günümüzde tekstil, hazır giyim ve moda sektörleri insan ve doğaya çok fazla zarar vermeye başlamıştır. Bu ciddi sorunu azaltmak ve ardından ortadan kaldırmak için sürdürülebilir malzemelerin ve süreçlerin kullanımı zorunludur. Bunun için konvansiyonel doğrusal malzeme akışı yerine döngüsel malzeme akış benimsenmeli ve çevreye zararı olmayan, biyobozunur, üretimlerinde su ve enerji tasarrufu sağlayan hammaddelerin ve geri dönüştürülmüş liflerin kullanımı tercih edilmelidir.

KAYNAKÇA

- Balatekin, S., 2020, Tanımanız Gereken Doğa Dostu Kumaş Çeşitleri, Sürdürülebilir Moda Eğitimleri, <https://modakariyeri.com>
- Berber, G. Ş. ve Keskin, E. 2021, Sürdürülebilir Modada Güncel Bir Yaklaşım: Vegan Deri. Uluslararası Kültürel ve Sosyal Araştırmalar Dergisi (UKSAD), 7 (2), Kış, s. 143-157
- Biswal, M., Mohanty, S., Nayak, S. K., 2009 “Influence of Organically Modified Nanoclay on the Performance of Pineapple Leaf Fiber- Reinforced Polypropylene Nanocomposites”, Journal of Applied Polymer Science, cilt 114, no. 6, pp. 4091-4103.
- Choudhury, A.K.R., (2014), Environmental Impacts of the Textile Industry and Its Assessment Through Life Cycle Assessment, in “Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing - Environmental and Social Aspects of Textiles and Clothing Supply Chain”, Ed: Muthu S.S., Springer Science-Business Media, Singapore.
- Devi, L. U., Bhagawan S., Thomas, S., 1997, “Mechanical Properties of Pineapple Leaf Fiber- Reinforced Polyester Composites”, Journal of Applied Polymer Science, cilt 64, no. 9.
- Greenpeace International, (2011), <http://www.greenpeace.org/international/en/publications/reports/Dirty-Laundry/>, erişim tarihi: 10.09.2015
- Hepbaşlı, A., (2010), Enerji Verimliliği ve Yönetim Sistemi, Yaklaşımlar ve Uygulamalar, Esen Ofset Matbaacılık, İstanbul, Türkiye.
- Hori, K., Flavier, M. E., Kuga, S., Lam, T. B. T., & Iiyama, K., 2000, “Excellent Oil Absorbent Kapok [Ceiba Pentandra (L.) Gaertn.] Fiber: Fiber Structure, Chemical Characteristics, and Application,” Journal of Wood Science, vol. 46, no. 5, pp. 401.
- Kalaycı, E., Avinc, O. O., Bozkurt, A., Yavaş, A., 2016, SAÜ Fen Bil Der 20. Cilt, 2. Sayı, s. 203-21
- Kurban, M., 2012, Isırgan otu lifinden üretilen kumaşların ön terbiye işlemlerinin araştırılması, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 88 s.
- Moore, S.B., Wentz, M., (2009), Systems Change for Sustainability in Textiles in “Sustainable Textiles: Life Cycle and Environmental Impact”, Ed: Blackburn R.S., Woodhead, Cambridge.
- muş lifleri ve üretimi, <https://tekstilsayfasi.blogspot.com/>
- Nagaraj, A.R., (2012), Energy Management in Textile Industry, <http://www.fibre-2fashion.com/industry-article/41/4066/energy-management1.asp>, erişim tarihi: 10.09.2015
- Oecotextiles, (2012), Textile Industry Poses Environmental Hazards, http://www.oecotextiles.com/PDF/textile_industry_hazards.pdf, erişim tarihi: 10.09.2015

- Reddy, B.S., Ray, B.K., (2011), Understanding Industrial Energy Use: Physical Energy Intensity Changes in Indian Manufacturing Sector, *Energy Policy*, 39, 11, 7234-7243.
- Rupp, J. (2008), Ecology and Economy in Textile Finishing, *Textile World*, http://www.textileworld.com/Issues/2008/November-December/Features/Ecology_And_Economy_In_Textile_Finishing, erişim tarihi: 10.09.2015
- Saheb, D. N., Jog, J., 1999, "Natural Fiber Polymer Composites: A Review", *Advances in Polymer Technology*, cilt 18, no. 4, pp. 351-363.
- Smole, M. S., Hribernik, S., Kleinschek, K.S., & Kreže, T., 2013, "Plant Fibres for Textile and Technical Applications," *Advances in Agrophysical Research*, Intechopen.
- Sürdürülebilir Tekstil Üretimi, <https://atillatekstil.com/tekstil-muhendisligi-arsivi/surdurulebilir-tekstil-nedir/>, Erişim tarihi: 14.06.2022
- Turkoglu, K. B., Kalaycı, E., Avıncı, A., Yavas, A., 2019, Oleofilik Buoyans Özellikli Kapok Lifleri ve Yenilikçi Yaklaşımlar, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7, 61-89
- Uludağ Tekstil İhracatçıları Birliği Ekolojik ve Sürdürülebilir Tekstiller Raporu, MART 2020, Uludağ İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterliği Ar-Ge Şubesi
- Yıldırım, F.F., Avıncı, O.O. ve Yavaş, A., 2015, Soya Fasulyesi Protein Lifleri Bölüm 2, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt 20, Sayı 1
- <http://www.bmusa.com.tr/tr/muz-lifi/muz-lifi-1>, Erişim Tarihi: 01.06. 2022
- <http://www.swicofil.com/soybeanproteinfiber.html>, Erişim Tarihi: 04.06. 2022
- <https://entdergi.com/kaktusten-yapilma-vegan-deri-hayvan-zulmune-son-verecek>, Erişim Tarihi: 14.06. 2022
- <https://fashionunited.uk/news/business/sustainable-textile-innovations-lotus-fibres/2017060924784>, Erişim Tarihi: 07.06. 2022
- <https://fashionunited.uk/news/business/sustainable-textile-innovations-mushroom-leather/2018051429598>, Erişim Tarihi: 13.06. 2022
- <https://fashionunited.uk/news/fashion/sustainable-textile-innovations-kapok-fibres/2018040929005> Erişim tarihi: 14.06.2020
- <https://tekstilbilgi.net/surdurulebilir-inovatif-tekstil-lifleri.html>, Erişim Tarihi: 08.06. 2022
- <https://www.cevrecigeek.com/bunu-da-yaptilar-kaktus-yapragindan-vegan-deri-ayakkabi>, Erişim Tarihi: 14.06. 2022
- <https://www.myfikirler.org/dogal>, Erişim Tarihi: 10.06. 2022



BÖLÜM 16

GIDALARI GIDA İLE RENKLENDİRMEK

Sevim Gürdaş MAZLUM¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Sivas. ORCID ID: 0000-0002-1166-422X

1. GİRİŞ

Renk, gıdaya çekicilik kazandırmanın yanında besinsel özellikleri ile de gıdanın tercih edilmesinde önemli rol oynar. Gıda ile ilgili ilk izlenim görseldir ve gıdanın rengi ile lezzeti arasındaki pozitif ilişki duysal açıdan rengin lezzet üzerinde beklenti yaratmasına neden olur (Stintzing ve Carle, 2004; Spence vd., 2010). Gıdanın güvenliği ile ilişkilendirildiğinden ve gıdaya has olmayan rengin, gıdanın bozulduğunu veya uygun bir şekilde üretilmediğini düşündürdüğünden renk önemli bir kalite kriteridir. Üretildiği hammaddenin özellikleri, üretim teknolojisi, depolama koşulları ve süresi gibi faktörler hakkında bilgi veren gıdanın rengi, tüketicinin duysal tercihi açısından önemlidir (Newsome, 1986).

Gıda endüstrisi, gıdaların orijinal rengini korumak ve gıdalara renk kazandırarak eski haline getirmek için yüzyıllardır yapay renklendiriciler kullanmaktadır. Yapay renklendiricilerin insan sağlığına olan olumsuz etkilerinin ortaya çıkmasıyla birlikte yapay renk maddelerine alternatif olarak doğal kaynaklardan elde edilen gıda renklendiricilerine talep artmıştır (Giusti ve Wrolstad, 2003). Bir gıdanın doğallığını olabildiğince koruma eğilimini takip eden “gıdaları gıda ile renklendirme” ilkesi son yıllarda üreticiler için büyük önem kazanmıştır (Stich, 2016). Gıdaların gıda ile renklendirilmesinde özellikle bitki kaynaklı renklendiricilerin kullanılmasının sağlığı iyileştirici etkisinin olduğunu düşünen tüketiciler için bu şekilde üretilen ürünlere olan talep her geçen gün daha da artmaktadır. Renklendirici gıdaların cazibesi sadece çekici renklerinden değil, sahip oldukları yüksek antioksidan aktivitelerinden de kaynaklanmaktadır (Giusti ve Wrolstad, 2003).

Çok çeşitli kimyasal formlara sahip olan renk pigmentleri, doğal gıdaların renklerini oluşturur. Renk pigmentleri, en çok bulundukları bitkilerden ekstrakte edilerek gıda boyası olarak kullanılan gıda katkı maddeleridir. Bitkilerin tohumlarında, meyvelerinde, çiçeklerinde, köklerinde ve kabuklarında yaygın olarak bulunan doğal pigmentler arasında flavonoidler, karotenoidler, betalainler ve klorofiller yer alır. Doğal renk maddelerine; üzüm kabuğu, kırmızı lahana gibi bitkilerde maviden kırmızıya kadar uzanan renk aralığında renk veren antosiyaninler, havuç kökünde bulunan açık sarıdan koyu kırmızıya kadar değişen tonlardaki renk oluşumundan sorumlu karotenoidler, çoğunlukla domates çekirdeği ve kabuğunda yer alan likopen örnek verilebilir (Downham ve Collins, 2000).

Gıda uygulamalarına ilave olarak, bu doğal renkli bileşiklerin tüketimi kanser, diyabet ve obezite gibi hastalıkların iyileştirilmesinde katkılarının olduğu görülmüştür (Li vd., 2016; Cooperstone ve Schwartz, 2016; Rodriguez vd., 2016; Shaddel vd., 2018). Doğal pigmentlerin antioksidan, antibakteriyel, antifungal, anti-leprotik, antiviral ve antienflamatuar aktiviteler gibi çeşitli biyoaktif özellikler sergilediği bildirilmiştir (He ve Giusti, 2010).

Sağlığı iyileştirici özellikleri, doğal pigmentlerin serbest radikalleri ve diğer reaktif oksijen türlerini temizleme yeteneği veya bunların mikrobiyal metabolizmaya müdahalesi ile gerçekleşmektedir.

2. RENKLENDİRİCİ GIDALAR

Günlük beslenmemizin bir parçası olan farklı yapılarda çeşitli meyve ve sebzelerin bileşiminde yer alan doğal renk maddeleri, bitkisel kaynaklardan elde edilen doğal pigmentlerdir. Fenolik bileşikler grubuna giren renk pigmentleri bitki hücrelerinin stoplazmasındaki plastidlerde bulunurlar. Başlangıçta renksiz olan plastidler, hücre ile beraber gelişerek, hücrenin yapacağı göreve uygun şekil ve renk kazanırlar (Cemeroğlu, 2004).

Meyve ve sebzeler, çekici renkleri ile doğal renk maddelerinin en önemli kaynağıdır ve sahip oldukları renk çeşitliği ile tüketicilerin ilgisini çekmektedir. Meyve ve sebzeler aynı zamanda insan sağlığı üzerindeki olumlu etkilerinden dolayı çok sayıda araştırmanın odak noktası olan fenolik bileşiklerin en zengin kaynakları arasındadır. Beslenmenin önemli bir parçası olan fenolik bileşikler, biyoaktif maddeler olarak bitkilerde aromatik aminoasit metabolizması esnasında sentezlenen ikincil metabolitler olup bitkilerde geniş bir dağılıma sahiptirler (Nacz ve Shahidi, 2004; Hatamnia vd 2014). Bitkilerin çiçek, tohum, yaprak, gövde ve dallarında bulunabilen fenolik bileşikler meyve ve sebzelerin kendilerine özgü acılık ve burukluk gibi iki önemli tadın oluşmasında etkilidir (Cemeroğlu, 2004). Polifenoller ya da diğer bir deyişle fenolik bileşikler benzen halkası içerirler ve kimyasal yapılarında aromatik halkaya bağlı bir veya birden fazla hidroksil grubu içerirler (Özdal vd., 2013). Sahip oldukları fenol halkalarının sayısına ve halkaları birbirine bağlayan yapılara göre sınıflandırılırsa fenolik asitler ve flavonoidler olarak iki temel yapıda incelenirler. Fenolik asitler; hidroksi benzoik asitler ve hidroksi sinamik asitler olarak; flavonoidler ise antosiyanidinler, flavon ve flavonoller, flavononlar, proantosiyandinler, kateşinler ve lökyoantosiyandinler olarak gruplandırılmaktadır (Cemeroğlu, 2004). Doğadan gelen pigmentler, fiziksel ve kimyasal özelliklerinde büyük farklılıklar gösterir. Birçoğu oksidasyona, pH değişimine ve ışığa duyarlıdır ve doğal çözünürlükleri büyük ölçüde değişir (Downham ve Collins, 2000; Stintzing ve Carle, 2004). Polifenollerin en büyük grubunu oluşturan flavonoidler birçok meyve ve sebzelerin renginden ve tadından sorumludur (Grotewold, 2006). Yüksek antioksidan aktiviteye ve şelatlama özelliği ile dikkat çeken flavonoidler insanlar tarafından sentezlenemeyen ikincil metabolitlerdir (Heim vd., 2002; Sivam vd., 2010). Halka yapılarına göre adlandırılan flavonoidlerin yapılarında bulunan hidroksil gruplarının sayısı, doymamışlık derecesi ve üçlü karbon segmentinin oksidasyon düzeyi flavonoidler arasındaki farkları oluşturur (Cemeroğlu, 2004). Gıda bileşeni olarak polifenoller, renk oluşumu ve değişimine olan katkıları, tat ve koku oluşumuna etkileri, antimikro-

biyal ve antioksidatif etkiye sahip olmaları ve farklı gıdalarda saflık kontrol kriteri olmak gibi çok önemli özelliklere sahiptirler (Cemeroğlu, 2004). Güçlü antioksidan kapasiteleri nedeniyle kanser, osteoporoz, katarakt, kardiyovasküler işlev bozuklukları, beyin hastalıkları ve immünolojik koşullara karşı güçlü etkiler gösterirler (Carocho ve Ferreira, 2013).

Gıdalar, özellikle meyve ve sebzeler, doğal olarak yeşil klorofiller, sarı-turuncu-kırmızı karotenoidler, kırmızı-mavi-mor flavonoidler ve kırmızı betalainler olmak üzere başlıca dört grup pigment tarafından renklendirilir (Rodriguez-Amaya, 2015, Sigurdson vd., 2017). Günlük beslenmede büyük miktarlarda birçok pigment, özellikle antosiyanin, karotenoid ve klorofil içeren meyve ve sebzeler tüketilir.

2.1. ANTOSİYANİNLER

Son yıllarda koyu renkli meyve ve sebzeler tüketiciler tarafından daha çok tercih edilmektedir. Meyve, sebze ve diğer bitki dokularındaki kırmızı, mavi ve mor renkleri veren bileşikler antosiyaninlerdir (Giusti ve Wrolstad, 2003). Antosiyaninler, çilek, üzüm, erik, nar, kırmızı lahana vb. gibi birçok meyve ve sebzelerin pembeden mora, parlak kırmızıdan maviye kadar değişen renklerini üreten ve gıda ürünlerini renklendirmek için kullanılan doğal pigmentlerdir (Cavalcanti vd., 2011). Gıda renklendiricileri arasında yer alan antosiyaninlerin gıda katkı maddesi olarak kullanımı çok eskilere dayanmaktadır. Antosiyaninler; klorofil ve karotenoidlerden sonra doğada en çok bulunan doğal pigmentleridir (Cemeroğlu, 2004). Antosiyanidinlerin glikozitleri olan antosiyaninler meyve ve sebzelerde en çok bulunan flavonoid bileşenleridir (Patras, 2010). Doğada bir veya birkaç şeker molekülü ile esterleşmiş olarak bulunan bu renk maddeleri vişne ve çilek gibi meyvelerin etinde ve kabuğunda, siyah üzüm ve bazı erik çeşitlerinde ise sadece meyvenin kabuğundadırlar (Cemeroğlu, 2004).

Kimyasal yapısı itibari ile antosiyaninler 2-fenilbenzopirilium'un (flavilium katyonu) polihidroksi ve polimetoksi türevlerinin glikozitleridir ve antosiyanidin (aglikon) olarak adlandırılan flavilium katyonu bu bileşiklerin temel kısmını oluşturmaktadır (Galvano vd., 2004; Ghosh ve Konishi, 2007; Bueno, vd.,2012; Dia vd., 2015).

Yapılan araştırmalarda 23'den fazla birbirinden farklı antosiyanidinin varlığından bahsedilmektedir. Gıdaların yenilebilir ve kullanılabilir kısımlarında siyanidin, delfidin, malvidin, peonidin, pelargonoidin ve petunidin olmak üzere altı adet antosiyanidin bulunmaktadır (Cemeroğlu, 2004; Khoo, vd., 2017). Bunların meyve ve sebzelerde %50 siyanidin, %12 delfinin, %12 pelargonidin, %12 peonidin, %7 petunidin ve %7 malvidin şeklinde bir dağılımları mevcuttur (Castaneda-Ovando, 2009). Doğal renklendiricilerin ticari olarak kullanılmaya başlandığından bugüne kadar 600'den fazla

antosiyenin olduğu bildirilmektedir (Downham ve Collins, 2000; Castaneda-Ovando, 2009).

Antosiyanınlerin bitkisel dokularda farklı renkte olmaları, moleküldeki hidroksil grubunun sayısı ve pozisyonu, hidroksil gruplarının metilasyon derecesi, bağlanma bölgesi ve şeker molekülüne bağlanmış alifatik veya aromatik asitlerden kaynaklanmaktadır (Galvano vd., 2004; Ghosh ve Konishi, 2007). Antosiyanınlerde hidroksilasyonun artması ile moleküldeki -OH sayısına göre mavi rengin sırasıyla pelargonidin, siyanidin ve delfidin antosiyanidinlerinde artışı görülürken glikosillenme ve metillenme ise renk kırmızıya döner. Kırmızı rengin siyanidinden peonidine doğru artması buna örnek olarak verilebilir. Antosiyanınlerde, üçüncü bir bileşenin moleküle bağlanabilmesi ise açillenme olarak adlandırılır (Cemeroğlu, 2004). Siyanidin kırmızımsı-mor (eflatun) renk veren bir pigmenttir. Böğürtlen, tatlı patates ve mor mısır gibi diğer meyve ve sebzelerdeki kırmızı renkli ana pigmenttir (Malien-Aubert vd., 2001; Jaakola, 2013). Delfidin, antosiyanidinlerin çoğuna benzer bir kimyasal özelliğe sahip olup bitkilerde mavi-kırmızımsı veya mor bir pigment olarak görünür (Katsumoto, 2007). Antosiyanidinlerin çoğundan farklı olan pelargonoidin doğada kırmızı renkli pigment olarak görünürken çiçeklere turuncu, bazı meyvelere kırmızı renk verir (Bakowska, 2005; Jaakola, 2013). Peonidin gibi metillenmiş antosiyanidin, bitkilerde bol miktarda bulunan başka bir antosiyanidin türüdür. Görünür eflatun rengine sahip olan peonidin, meyvelerde, üzümelerde ve kırmızı şaraplarda bol miktarda bulunur (Bakowska, 2005). Metillenmiş antosiyanidin olan malvidin mor renge sahiptir ve mavi renkli çiçeklerde çok miktarda bulunur ve ayrıca kırmızı şaraptaki ana kırmızı pigmenttir (Mazza, 1995; Tanaka, vd., 1998 Olgunlaşmış kırmızı şaraplarda daha koyu tozlu kırmızı olarak görünür (Barnard, vd., 2011). Petunidin, metillenmiş bir antosiyanidindir ve suda çözünen koyu kırmızı veya mor pigmenttir. Petunidin, kuş üzümü ve mor yapraklı çiçeklerde tespit edilmiştir (Slimestad, 2002; Bakowska, 2005).

Antosiyanınlerin renk tonu ve yoğunluğu ortamın fizikokimyasal özelliklerinden kaynaklanır ve en etkili parametre pH'dır. Antosiyanınler pH derecesine göre indikatör gibi davranırlar (Cemeroğlu, 2004). Antosiyanınlerdeki renk tonu pH değerinin düşmesiyle mor-kırmızı, artması ile yeşil-mavi bir renk alırlar. Ortam pH'sı 2'nin altında antosiyanın flavilyum katyonu ortama hakim olduğundan renk tonu kırmızıdır. pH 4-5 arasında, renksiz karbinol psödobaz formu hakimdir ve pH 5'in üzerinde kuinidal anhidrobaz formu oluştuğu için renk maviye döner (Cemeroğlu, 2004; Castaneda-Ovando, 2009; Khoo vd., 2017).

Meyvelerin ve sebzelerin çoğu çekici renkleri, hücre özsuyunda bulunan ve suda çözünebilen antosiyanınlerden kaynaklanır. Ahududu, böğürtlen, karadut, frenk üzümü, kızılçık, vişne ve yaban mersini gibi üzüm sü meyveler yüksek oranda antosiyanın içermeleri nedeniyle tüketilmesi önerilmektedir.

Antosiyaninlerin pH, ısı, ışık, kopigmentler, metalik iyonlar ve şekere karşı hassas olmaları nedeniyle yiyecek ve içeceklere eklenmesi sınırlanmaktadır (Rein, 2005).

Antosiyaninler gıda matrikslerinde oldukça kararsız moleküllerdir. Doymamış yapıları gereği stabil olmayan bu bileşikler işleme ve depolama sırasında sıcaklık, ışık, pH, askorbik asit, enzimler ve oksijen gibi çeşitli faktörlerden dolayı parçalanarak bozulmaya uğrarlar ve ürün albenisini kaybederler (Mazza ve Miniati, 1993; Rein, 2005; He ve Giusti, 2010; Khoo vd., 2017). Antosiyanin gibi renk maddelerinin gıda ile etkileştiğinde stabil kalması gıda endüstrisi için çok önemli bir konudur ve renk kararlılığının sürdürülmesi farklı yöntemlerle sağlanır (Rein, 2005).

Glikolizasyon, asilasyon ve kopigmentasyon gibi mekanizmalar antosiyaninlerin renk yoğunluğunu ve kararlılığını artırırken, sulu gıda ortamlarında pH, ışık, kopigment, sıcaklık, oksijen, metal iyonları, şekerler ve şekerlerin parçalanma ürünleri, askorbik asit gibi faktörler de kararlılık üzerine oldukça etkili oldukları yapılan çalışmalarla saptanmıştır (Malien-Aubert vd., 2001; Bakowska, 2005; Tiwari vd., 2009).

Antosiyanidinlere bağlı olan şekerler aromatik asitler veya alifatik asitler tarafından asillenmektedir ve asilasyon ise antosiyaninlerin stabilitesinin sağlanmasında çok önemlidir (Newsome, 1986). Antosiyaninlerin stabilitesinin sağlanmasında en önemli faktörlerden biri olan kopigmentasyon ise antosiyaninlerin diğer fenoliklerle kompleksler oluşturmalarıdır (Malien-Aubert vd., 2001). Antosiyaninlerle kompleks oluşturarak onların renklerini güçlendirip stabilize eden ve genelde renksiz olan kopigmentlerin başında flavonoidler gelmektedir (Cemeroğlu, 2004). Antosiyanin pigmentlerinin çoğu, bazlara kıyasla asidik koşullarda yüksek stabiliteye sahiptir ve bozunma daha yüksek pH'da gerçekleşir (Rein, 2005). Asidik durumda stabil olan antosiyanidinlere siyanidin ve delfinidin örnek olarak verilebilir (Katsumoto vd., 2007). Antosiyanin konsantrasyonunun artması da yüksek renk kararlılığı durumunu yaratır (Giusti ve Wrolstad, 2003; Khoo vd., 2017).

Doğal kaynaklardan elde edilen antosiyaninler, toksik olmayan, yapay renklendiricilerle kıyaslandığında daha yüksek dozlarda bile güvenle tüketilebilen doğal renklendiricilerdir ve gıdalara katkı maddesi olarak ilave edilirler (Malien-Aubert vd., 2001). Üzüm kabuğu gibi meyve antosiyaninlerinden elde edilen bu renk pigmentlerini Avrupa E163 kodu ile jöle, reçel, şekerleme ve meyve suları gibi ürünlerin renklendirilmesi amacı ile kullanılmasına, Japonya, Amerika Birleşik Devletleri ve diğer birçok ülkede de gıda ve içeceklerde gıda boyası olarak kullanılmasına izin verilmektedir (Eder, 2000; Khoo vd., 2017).

Ticari ölçekte antosiyaninler, üzüm kabuğu, mürver, frenk üzümü, böğürtlen, siyah havuç ve ahududu dahil olmak üzere çeşitli meyve ve sebze-

lerden elde edilir. Yüksek düzeyde antosiyanin içeren tek yaygın sebze patlıcandır (Horbowicz vd., 2008). Kırmızı turp, kırmızı patates, kırmızı lahana ve siyah havuç istenen renk ve stabilite özelliklerine sahip asillenmiş, tüketilebilir antosiyanin kaynaklarıdır (Giusti ve Wrolstad, 2003). Çilek marmelatlarının renginin uzun süre korunmasında marmelata siyah havuç konsantresi eklenmesinin etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca ahududu suyundan üretilen konsantreler gıdaların renklendirilmesinde kullanılır. Reçel, jöle, dondurma, yoğurt, konserve meyve, yiyecek süsleri, şekerlemeler, şuruplar, alkolsüz ve alkollü içecekler, süt ürünleri, toz karışımlar, unlu mamüller, tatlı soslar gibi gıda ürünlerinde geniş bir aralıkta renklendirici olarak antosiyaninler kullanılır (Krenn vd., 2007, Yousuf vd., 2016).

Renklendirme özelliklerine ek olarak gösterdikleri yüksek antioksidan aktiviteleri ile antosiyaninlerin mutlaka tüketilmesi önerilmektedir. Kanser hücrelerinin büyümesini engellediği, koroner kalp rahatsızlıklarının oluşumunun önlenmesinde, diyabet, nörolojik hastalıklar ve inflamasyonda etkili olduğu klinik çalışmalar ile gösterilmiştir (Khoo vd., 2017). Doğal renklendiriciler olarak katma değerli özelliklere sahip olan antosiyaninlerin damarları koruma, iltihap giderme, trombosit kümeleşmesini önleme, normal damar geçirgenliğini koruma, diyabet kontrolü, tümör gelişimini önleme (Sass-Kiss vd., 2005; Yousuf vd., 2016), daha iyi görme (Ghosh ve Konishi, 2007) ve UV radyasyona karşı koruma gibi olumlu anlamda çok farklı etkileri rapor edilmiştir (Giusti ve Wrolstad, 2003). Yine antosiyaninlerin E ve C vitaminlerinden daha yüksek antioksidan aktivite gösterdikleri belirlenmiştir. Sonuç olarak bu bileşenler, yapılarındaki hidrojen atomunu vererek serbest radikalleri etkisiz hale getirebilmekte ve canlılarda antikanserojen etki sergileyebilmektedirler (Castaneda-Ovando vd., 2009).

2.2. KAROTENOİDLER

Meyve ve sebzeler, birçok vitamin ve mineralin yanında beslenme için önemli olan gıda bileşenlerini içermektedir. Bu gıda bileşenlerinden biri olan karotenoidler yapısal farklılıkları ile çeşitli fonksiyonlarıyla doğadaki en önemli ve yaygın pigment gruplarını oluştururlar. Doğada yaklaşık 100.000.000 kadar farklı tona sahip olan karotenoidler; klorofilden sonra en çok bulunan renk maddeleridir (Cemeroğlu, 2004). Domates, kırmızı biber, havuç, kayısı, şeftali, portakal gibi meyve ve sebzelerin kendine has renklerinin kaynağı karotenoidlerdir (Rodriguez-Amaya, 2019). Meyve ve sebzelerde mikro bileşen olarak bulunan karotenoidler onlara sarı, turuncu ve kırmızı renk verirler ve bitkiler, fotosentetik bakteriler, alg ve funguslar tarafından sentezlenmektedir (Cemeroğlu, 2004). Karotenoid sentezini gerçekleştiremeyen hayvanlar karotenoidleri beslenme yolu ile alırlar ve modifiye ederek dokularında depolarlar (Cemeroğlu, 2004). Karotenoidler yeşil yapraklı sebzelerin ve meyvelerin yapılarında bulunmasına rağmen, renkleri fotosentetik dokulardaki klorofiller tarafından maskelenir (Von Elbe

ve Schwartz, 1996; Cemeroğlu, 2004). Olgunlaşma süresince meyvelerin klorofil değerleri azalırken içerdikleri karotenoidlerin miktarı artar ve klorofilin kaybolmasıyla karotenoidlerin rengi ortaya çıkar. Bitki gelişiminin son aşamasında karotenoid pigmentleri, çoğu çiçek, meyve ve havuç kökünün parlak renginin oluşmasında rol oynarlar. (Mercadante, vd., 2017)

Kloroplastlarda yer alan karotenoidlerin fotosentezde rol oynadığı ve fotosentetik organizmaları fotooksidatif hasarlara karşı koruduğu bilinmektedir. İkincil bitki pigmentleri olan karotenoidler, klorofil içeren bitki dokularında ışık enerjisini depolarlar. Ayrıca bazı karotenoidlerin kök ve yapraklarda bulunduğu ve büyüme düzenleyici görevi yapan absisik asidin ön maddesi olduğu bilinmektedir (Von Elbe ve Schwartz, 1996; Astorg, 1997).

Bitki dokularında serbest olarak ve yağlı ortamda çözünmüş olarak bulunan karotenoidler; yağ asitleriyle esterleşmiş veya şekerlerle ve proteinlerle ise birleşmiş olarak bulunabilirler. Laurik asit esteri olan kapsantin biberlerin yapısında bulunan karotenoid örnek olarak verilebilir. Karotenoidler proteinlerle bileşik oluşturdıklarında renkleri değişir. Kırmızı renkli olan astaksantin, proteinlerle yaptıkları bileşik sonucunda renkleri maviye döner. Glikozidik bağ ile şekerlere bağlanan karotenoidlere safranın bileşimindeki krosetin pigmentini örnek olarak gösterilebilir (Cemeroğlu, 2004).

Karotenoidler lipofilik bileşikler olduğu için kloroform, benzen, petrol eter gibi organik çözücülerde ve yağda çözünürken, alkolde çözünmezler. Işık ve oksijene karşı çok duyarlı olan bu bileşikler, çoklu doymamış yapıya ve ısı kararlılığına sahip olmakla birlikte yüksek sıcaklıklarda izomerizasyona uğramaktadırlar. Ortamda ışık ve oksijen bulunmuyorsa gıdaların pişirilmesi ve haşlanması esnasında bozulmazlar (Cemeroğlu, 2004).

Metil grupları bağlanmış alifatik bir konjuge çift bağ sisteminden oluşan karotenoid pigmentleri karotenler ve ksantofiller olarak ayrılabilirler. Karotenlerin yapıları karbon ve hidrojen atomlarından oluşurken, ksantofiller ise yapılarında en az bir oksijen atomu içerirler (Astorg, 1997; Mercadante, vd., 2017). Karotenler apolar özellikte olup en yaygın bulunanları; α -karoten, β -karoten ve likopendir. Polar özellikte olan ksantofillerin en yaygınları β -kriptoksantin, zeaksantin, astaksantin ve luteindir. Karotenoidler zincir uçlarında halka grubu içeriyorsa siklik (halkalı) içermiyorsa asiklik (halkasız) olarak adlandırılırlar (Cemeroğlu, 2004).

Bugüne kadar çeşitli meyve-sebzelerde 700'den fazla karotenoid tanımlanmış, bunlardan 60 tanesinin provitamin A aktivitesine sahip olduğu, yaklaşık 50 tanesinin insan beslenmesinin bileşeniyken, insan kanında ve dokularında yalnızca 20 tanesinin olduğu belirlenmiştir (Parker, 1989; Rao ve Rao, 2007). Ön maddesi olmadan vücut tarafından sentezlenemeyen A vitamini bu sebeple insanlar ve tüm memeli hayvanlar için dışarıdan alınması zorunlu olan vitamin çeşididir. A vitamini eksikliğinde vücudun gelişimi,

yenilenmesi ve oluşabilecek herhangi bir enfeksiyona karşı direnç olumsuz yönde etkilenmektedir (Tee ve Lee, 1992). Beslenmede önemli miktarda yer alan karotenoidler arasında β -karoten, α -karoten, likopen, lutein, zeaksantin ve kriptoksantin bulur (Cemeroğlu, 2004).

Organizmada A vitaminine (retinol) dönüşen β -karoten provitamin A olarak adlandırılır. Büyüme ve doku tamirinde önemli bir rol oynayan provitamin A kaynakları arasında β -karoten, α -karoten ve β -kriptoksantin bulunur (Cemeroğlu, 2004). α -karoten havuç, tatlı patates, bal kabağı, domates ve kırmızı biberde gibi turuncu sebzeler ve brokoli, yeşil fasulye, ıspanak gibi yeşil sebzelerde az miktarda bulunmaktadır. α -karotene zengin olan gıdalar β -karoten bakımından da zengindir. β -karotenin temel kaynağı havuçtur. Havuç dışında β -karoteni içeren gıdalar arasında karalahana, şalgam, maydanoz, ıspanak, marul, brokoli, yeşil turp gibi koyu yeşil sebzeler ile mango, kavun, biber, balkabağı, kayısı, havuç ve tatlı patates gibi sarı meyve ve sebzelerde bulunur (Holden vd., 1999).

Likopen, düz zincir yapıya sahip hidrokarbon bir bileşik olup ve domates ürünlerine karakteristik koyu-kırmızı rengi veren doğal pigmenttir. Likopen domates, karpuz, pembe greyfurt, kuşburnu ve guava gibi birçok meyve ve sebzede bulunur ve provitamin A aktivitesine sahip değildir (Holden vd., 1999). Aynı zamanda iyi bir antioksidan kaynağı olup kanser ve koroner kalp hastalığına yakalanma riskini azaltmada rol oynar. Bitki dokularında ışığa hassas olup hücreyi korur ve fotosentez sırasında ışığı absorbe eder (Hadley vd., 2002). β -karotenden iki kat daha fazla antioksidan kapasiteye sahip olan likopen yağda çözünen bir karotenoiddir. Dondurulmuş ve sterilize edilen gıdalar, normal depolama sıcaklıklarında raf ömürleri süresince iyi bir likopen stabilitesine sahiptirler (Shi ve Maguer, 2000).

Lutein ve stereo izomeri zeaksantin, ksantofil ailesinin üyeleridir. Serumda en sık görülen karotenoidlerden biri olan lutein, lens ve sarı bölgede yoğun olarak bulunur ve insan retinasındaki sarı noktanın oluşmasını sağlar. Lutein ve zeaksantin, gözü ışıktan koruyan retinada makular pigment olarak belirtilen sarı pigment oluşumundan sorumludur ve retinanın zarar görmesini engelleyebilmektedir (Alves-Rodrigues ve Shao, 2004). Lutein ve zeaksantin mısır, nektarin, portakal, papaya, erik, yaban mersini, ahududu, böğürtlen, siyah frenk üzümü, hurma ve kabak gibi bazı sarı, turuncu ve kıvrıcık, maydanoz, ıspanak, marul, fasulye, yeşil biber, hindiba, kivi, avokado, karalahana, mısır ve brokoli gibi yeşil yapraklı meyve sebzelerde bulunmaktadır (Holden vd., 1999). Yeşil yapraklı sebzeler, luteinin ana besin kaynağıdır.

Tereyağı ve peynirde renk maddesi olarak karoten kullanılır. Likopen, gıda üretimlerinde kullanılan doğal renk bileşenidir. Domates salçasının renginden sorumlu olmasıyla geniş bir kullanım alanına sahip olan likopen,

ticari olarak da önemli doğal bir pigmenttir. Ticari olarak üretilen lutein, kadife çiçeğinden elde edilir ve kanatlı endüstrisinde yumurta sarılarına ve piliçlerin derisine sarı renk vermek için kullanılır (Sowbhagya vd., 2004).

2.3. BETALAINLER

Betalainler farklı kaynaklardan elde edilebilmekte ve gıdalarda doğal renk maddesi olarak kullanılmaktadır. Antosiyaninler kadar kapsamlı şekilde araştırılmamıştır, ancak antosiyaninlerden üç kat daha fazla renklendirme gücüne sahip olduklarından gıda endüstrisinde doğal renklendirici olarak kullanılmaktadır (Stintzing ve Carle, 2004). Betalainler, gıdaların besin değerini artıran, rengini düzelteren veya gıdalara renk katmak amacıyla kullanılan katkı maddelerdir (Martins vd., 2017). Kırmızı pancarda yüksek miktarda bulunan, suda çözünebilen, azot içeren doğal pigmentlerdir (Herbach vd., 2006). Doğada en fazla kök, meyve ve çiçeklerde bulunan betalainlerin yapısı ve rengi, bitki çeşidine göre farklılık gösterebilmektedir. Kırmızı pancar kökü betalain pigmentlerinin ana ve ticari kaynağı olarak bilinmektedir (Stintzing ve Carle, 2004). Betalain pigmentleri kırmızı pancar dışında kaktüs armudu, ejder meyvesi (pitaya), amaranth çiçeği ve pazı gibi diğer bitkilerde de bulunmaktadır.

Antosiyaninlere çok benzeyen tirozin amino asidinden sentezlenen betalainler, kırmızı-mor renkli betasiyaninler ile sarı-turuncu renkli betaksantinler olmak üzere iki yapısal gruba ayrılmaktadır. Betasiyaninler betalainlerin optikçe aktif formlarıdır ve betaksantinlerin yapılarında indol çekirdeği amino asitle yer değiştirmiştir (Azeredo, 2009). Ortak yapı taşlarından biri de betalamik asit olan betalain pigmentlerinin 50-70 kadar farklı yapıya sahip olduğu ve bunların % 50'sinin betasiyaninlerden % 20'sinin ise betaksantinler olduğu bildirilmiştir (Cai vd., 2005; Kannan, 2011). Betasiyaninlerin kimyasal yapıları şekerlerinde ve açıl gruplarında çeşitlilik gösterirken, betaksantinler yapılarına bağlanan geniş amin çeşitliliği ve amino asit çeşitliliği gösterir (Delgado-Vargas vd., 2000). Betasiyaninlerin farklı bağlanma şekilleri kırmızı ve mor renklerin oluşmasına neden olur (Azeredo, 2009). Farklı protein ve protein olmayan yapıda amino asitler ile betalamik asitlerin aminle konjuge edilmiş parçalarından oluşan betaksantinler farklı amino asit veya amin yan zincirlerine sahiptir (Stintzing vd., 2002). Bitkilerin renklerini yapılarındaki baskın betasiyanin ve betaksantinler belirlemektedir. Doğadaki betalain kaynaklarında farklı betasiyanin ve betaksantin formları bulunabilmektedir. En yaygın görülen betasiyaninler; betanin ve isobetanin, betaksantinler ise; vulgaksantin, indiksantin ve miraksantindir (Gasztanyi vd., 2001).

Betanin çoğu sentetik boyadan daha güçlü renk yoğunluğuna sahip olan doğal renk maddesidir ve gıdalarda daha az miktarlarda kullanılır. Renkleri antosiyaninlere benzemekle birlikte renkleri pH değişimlerinden etkilenmez

(Henry, 1992; Stintzing ve Carle, 2004). Diğer yandan sıcaklık, betaninin gıda boyası olarak kullanılmasını etkileyen en önemli faktörlerden birisidir (Cai ve Corke, 1999). Ayrıca oksijen, ışık, SO ve metal iyonları (özellikle demir ve bakır) da betaninin stabilitesini etkilemektedirler. Betaninin gıda endüstrisinde gıda boyası olarak kullanıldığı, en önemli uygulama alanları süt ürünleri, özellikle dondurma ve aromalı yoğurtlar, şekerleme ürünleri ve toz haldeki ürünlerdir (Henry 1992).

Betalainler, stabilitesi düşük pigmentlerdir. Yüksek sıcaklık, ışık, oksijen varlığı, yüksek su aktivitesi, düşük glikozilasyon derecesi, düşük açılasyon ve metal iyonları varlığı gibi etkenler betalainlerin stabilitesine olumsuz etki ettiği belirtilmektedir. Ancak yüksek pigment içeriği, düşük sıcaklık ve su aktivitesi, antioksidan varlığı, yoğun azot ortamı, yüksek derecede glikozilasyon ve açılasyon betalainin stabilitesini olumlu yönde etkilediği bildirilmektedir (Herbach, vd., 2006).

Betalainler antosiyaninler gibi pH değişimlerinden etkilenirler. Betalainler 3-7 pH değerlerinde stabiliteyi korurken en uygun pH değeri 5-6 olarak belirlenmiştir. Yüksek sıcaklık uygulamalarında ise en stabil kaldığı pH değerinin 6 olduğu saptanmıştır (Azeredo, 2009). Betalain stabilitesinin etkilendiği parametrelerden biri de sıcaklıktır ve 80 °C ve üzerinde betalain bileşiklerinde bozunma meydana gelirken 4 °C gibi düşük sıcaklıklarda bozunma hızı düşer (Cejudo-Bastante vd., 2015). Işık yoğunluğu da betalainlerin stabilitesini etkiler. Ortamdaki ışık miktarının artması ile betalain bileşiklerde bozulma olduğu ve bunun renk değerinde azalmaya neden olduğu gözlenmiştir (Özcan ve Ersus Bilek, 2018). Oksijen konsantrasyonu ile betalain stabilitesi arasında ters orantı bulunmakta olup oksijen miktarının artması betalainin bozulma hızını da arttırmaktadır. Aynı şekilde hidrojen peroksitin de betalainin bozulma hızını arttırdığı, azotun ise azalttığı görülmüştür (Von Elbe, vd., 1974; Martins vd., 2017). Betalain konsantrasyonu ile stabilite arasında doğru orantı vardır ve ortamdaki betalain konsantrasyonunun artması stabiliteyi arttırmıştır (Khan ve Giridhar, 2014; Khan, 2016;).

Gıdaların renklendirilmesinde antosiyanin ve karotenoidlere göre daha az kullanılan betalainler zayıf asidik özellikteki ortamlarda antosiyaninlere oranla daha stabil olduğu için zayıf asidik ve nötr gıdaların renklendirilmesinde antosiyaninlerin yerine tercih edilmektedir (Stintzing ve Carle, 2004; Özcan ve Ersus Bilek, 2018). Ancak yüksek nitrat konsantrasyonuna sahip olmaları ve kötü koku veren geosmin nedeniyle betalainlerin kullanımı kısıtlanmaktadır (Downham ve Collins, 2000; Stintzing ve Carle, 2004).

Kırmızı pancar, doğal renk maddesi olarak çok iyi bir kaynaktır ve ticari olarak betalain üretilmesinde kullanılan tek üründür (Stintzing ve Carle, 2004). Pancar kırmızısı (E162) gıda endüstrisinde, dondurma, dondurulmuş tatlılar, yoğurt, peynir, sosis, toz içecekler, kurutulmuş meyve ve sebzeler,

jöleler, sert şekerler, sakız, kahvaltılık tahıllar gibi gıdaların renklendirilmesinde kullanılırlar ve kullanımı konusunda bir üst sınır da belirtilmemiştir (Delgado-Vargas vd., 2000).

Betalainler gıdaların renklendirilmesinin yanında, yüksek antioksidan aktivitelerinden dolayı kansere (Stintzing ve Carle, 2004) ve insanlardaki oksidatif stress kaynaklı bozukluklara karşı koruduğu bildirilmiştir (Kanner vd., 2001; Gentile vd., 2004). Ayrıca Betalainlerin diyabet, kardiyovasküler ve nörolojik hastalıklar üzerinde de etkilerinin olduğu rapor edilmiştir (Kaur vd., 2018).

2.4. KLOROFİLLER

Klorofiller, yaşam için hayati işlevi olan, bitkiler aleminde en bol bulunan pigmentlerdir. Birçok meyve olgunlaşana kadar fazla miktarda klorofil içerdikleri için renkleri yeşildir ancak olgunlaşmaya bağlı olarak klorofil yavaş yavaş kaybolurken sarı ve kırmızı karotenoidlere veya pembe mavi renkteki antosiyaninlere dönüşür (Takamiya vd., 2000). Yeşil renk maddesi olarak tanımlanan klorofiller bitkilerin hücre duvarlarındaki kloroplastın içinde yer alır. Bitkilerin, alglerin ve bazı fotosentetik bakterilerin fotosentezinde görev alan klorofil bitkilerin yaprak ve gövdelerinde bulunan renk pigmentlerdir. Klorofilin en önemli görevlerinden biri fotosentez sırasında güneş enerjisinin kimyasal enerjiye dönüşümünü sağlamasıdır (Zeren vd., 2017a,b).

Porfirin halkası ve fitol grubu olmak üzere iki temel yapıdan oluşan klorofilin porfirin halkası ise dört nitrojen atomunun Mg merkez metal atomuna bağlıdır (Streitweiser ve Heathcock, 1981). Klorofilin a, b, c, d ve e olmak üzere beş formu olup çeşitli bitki dokularında ve meyvelerde en çok klorofil a ve b formu bulunur (Von Elbe and Schwartz, 1996). Bunlardan klorofil a (mavi-yeşil) ve klorofil b (sarı-yeşil) yeşil sebzelerin renginden sorumludur, meyve ve sebzelerde yaklaşık 3:1 oranında bulunurlar (Cemeroğlu, 2004). Bu oran meyve ve sebzelerin türüne, yetiştirildiği toprağın cinsine, yetiştirme koşullarına, olgunluk derecesine ve hasat zamanına göre değişebilir (Schwartz ve Von Elbe, 1983; Hoff ve Ames, 1991; Cemeroğlu, 2004). Klorofil a ve b yapılarında bulunan magnezyum parçalandığında feofitin a ve b yapıları oluşur ve zeytin yeşili bir renk görülür. Klorofil molekülündeki Mg^{+2} nin yerine Sn^{+2} ve Fe^{+3} gibi metal iyonlarının geçmesiyle birlikte renk yeşilden gri-kahverengiye döner (Cemeroğlu, 2004). Klorofilin klorofilaz enzimi tarafından parçalanması ile klorofilidler (klorofilid a ve klorofilid b) ve feofitinlerin enzimatik parçalanması durumunda ise feoforbite-a ile feoforbite-b yapıları oluşur (Cemeroğlu, 2004). Klorofilin feofitine ve feoforbide dönüşmesi ile renk parlak yeşilden mat zeytin yeşili veya zeytin sarısına değişir ve bu, tüketici tarafından kalite kaybı olarak değerlendirilir (Gupte vd., 1963; Van Loey vd., 1998). Klorofilin zayıf asit ortamda ısıtılırsa yapısında

bulunan Mg ayrılır ve yerine hidrojenin gelmesiyle birlikte feofitinler oluşur. Klorofil yeşil rengini kaybederek sarı kirli yeşil renge dönüşür (Cemeroğlu, 2004).

Klorofiller, sebzelerin işlenmesi esnasında kimyasal ve fiziksel değişikliklere karşı hassas oldukları için kolayca parçalanabilmektedir (Gökmen vd., 2002; Cemeroğlu, 2004). Sağlam bir hücrede klorofil, klorofilaz enzimi ve asitler farklı organellerde bulundukları için birbirleri ile temas edemezler ve herhangi bir reaksiyon da gerçekleşemez (Eder, 2000). Kloroplast içinde kararlı bir yapıya sahip olan klorofiller herhangi bir nedenle zarar görürse kararsız hale dönüşür. Isı, ışık, sıcaklık, su aktivitesi (aw), oksijen, enzimler, pH ve bazı metal iyonlarının etkisiyle bu dönüşümden sonra klorofil çeşitli türevlerine dönüşerek kendine özgü rengini kaybetmektedir (Von Elbe and Schwartz, 1996; Takamiya vd., 2000; Funamoto vd., 2002; Minguez-Mosquera vd. 2002).

Sebzelerin yeşil renginin kaybolmasının nedenlerinden biri de klorofil parçalayan klorofilaz enzimidir. Üründe rengin korunması için klorofilaz enziminin inaktive hale getirilmesi gerekir. Özellikle meyve ve sebzelerin dondurulmasında yeşil rengin korunması için klorofilaz enzimi haşlama ile inaktive edilir (Cemeroğlu, 2004).

Klorofiller (E 140), ticari olarak, çimen, ısırgan otu, ıspanak gibi çeşitli bitkilerin kurutulmasıyla öğütülmesi ve çözücü ekstraksiyonuyla elde edilir (Downham ve Collins, 2000). Gıda endüstrisinde var olan beş farklı klorofilden sadece ikisi (a ve b) renklendirici olarak kullanılmaktadır. Kullanılan ticari klorofil renklendiricileri yoncadan ekstrakte edilir ve süt ürünleri, çorbalar, içecekler ve şekerlemelerde kullanılmıştır (MacDougall, 2002). Klorofiller, AB ülkelerinde renk katkısı maddesi olarak kullanılmaktadır. Suda çok iyi çözünabiliyor olmaları klorofillerin diğer renklendiricilerle birlikte kullanılmasını kolaylaştırır. Klorofil, pH 7'nin altında ve 120°C de stabil oldukları için peynir çeşitleri, dondurma, alkolsüz içecekler, diğ macunu, şekerlemeler, çikolata ve bisküvi dolgularında renklendirici olarak tercih edilmesine neden olur (MacDougall, 2002).

Klorofilin yara iyileştirici, antijenotoksik ve antimutajenik özelliklere sahip olduğu gösterilmiştir. Ayrıca vücut kokusunu ve ağız kokusunu azaltmak için bir koku giderici olarak belirtilmiştir (Downham and Collins, 2000).

3. SONUÇLAR

Renk, gıdaların cazibesini arttıran önemli bir parametredir. Yiyecek ve içeceklerin endüstriyel olarak üretilmeye başlandığından günümüze kadar rengin gıdalar için önemi anlaşılmıştır. Çünkü gıdaların üretiminden tüketimine kadarki süreçte renk kayıpları gözlenmektedir. Bu renk kayıpları ise yapay gıda boyaları ile telafi edilmeye çalışılmaktadır. Yapay gıda boyaları

üretim kolaylığı, ekonomik oluşları ve kararlı olmaları gibi avantajları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda yapay gıda renklendiricilerinin güvenilirliğinin tartışılması tüketiciyi olumsuz etkilemiştir. Bu nedenle gıda endüstrisi doğal gıda renklendiricilerini gıda üretimde daha fazla kullanmaya başlamıştır. Doğal gıda renklendirici özelliği taşıyan bitkiler ile ilgili çok fazla çalışmalar yapılmıştır ve bu çalışmalar hala da devam etmektedir.

Günlük beslenmemizde tükettiğimiz sarı, kırmızı, turuncu, mavi ve yeşil renkli meyve ve sebzelerinde gıda renklendiricisi olarak kullanılması, gıdaların renklendirilmesini başka bir boyuta taşımıştır. Çünkü gıdaların gıdalar ile renklendirilmesi gıdanın tüketiciler açısından tercih edilebilirliğini arttırmıştır. Doğal beslenme kavramının popüler hale geldiği bir dönemde meyve ve sebzelerin, gıdaların renklendirilmesinde kullanılması güvenli gıda üretiminde oldukça önemlidir. Meyve ve sebzeler, doğal olarak bulunan yeşil klorofiller, sarı-turuncu-kırmızı karotenoidler, kırmızı-mavi-mor flavonoidler ve kırmızı betalainler olmak üzere başlıca dört grup pigment tarafından renklendirilir. Meyve ve sebzelerden elde edilen renklendirici gıdaların cazibesi sadece çekici renklerinden değil, sahip oldukları yüksek antioksidan aktivitelerinden de kaynaklanmaktadır. Sağlığı koruyucu ve iyileştirici etkileri nedeniyle beslenmemizin önemli bir bölümünü oluşturan meyve ve sebzelerin, gıdaların renklendirilmesinde kullanılması gıdayı fonksiyonel hale dönüştürmektedir. Bitki kaynaklı renklendiricilerin stabilite sorunları giderilirse gıdaların gıdalar ile renklendirilmesi gıda endüstrisi tarafından daha çok uygulanacak ve tüketiciler renkli yiyecek ve içecekleri güvenle tüketecektir.

KAYNAKLAR

- Alves-Rodrigues, A., Shao, A. (2004). The science behind lutein. *Toxicol Lett.*, 150: 57–3.
- Astorg, Konings, E.J.M., Romans, H.H.S. (1997). Evaluation and validation of an LC method for the analysis of carotenoids in vegetables and fruit. *Food Chemistry*, 59: 599-603
- Azeredo, H.M.C. (2009). “Betalains: properties, sources, applications, and stability-a review”, *International Journal of Food Science and Technology*, 44: 2365-2376.
- Bąkowska-Barczak, A. (2005). Acylated anthocyanins as stable, natural food colorants – A review. *Pol J Food Nutr Sci.*14/55(2):107–116.
- Barnard, H., Dooley, A.N., Areshian, G.(2011). Chemical evidence for wine production around 4000 BCE in the Late Chalcolithic Near Eastern highlands. *J Archaeol Sci*, 38(5):977–984.
- Bueno, J. M.; Sáez-Plaza, P.; Ramos-Escudero, F.; Jiménez, A. M.; Fett, R.; Asuero, A. G. (2012). Analysis and Antioxidant Capacity of Anthocyanin Pigments. Part II: Chemical Structure, Color, and Intake of Anthocyanins. *Crit. Rev. Anal. Chem.* 42:126–151. DOI: 10.1080/10408347.2011.632314.
- Cai, Y., Corke, H. (1999). *Amaranthus* betacyanin pigments applied in model food systems. *Journal of Food Science*, 64 (5):869–873.
- Cai, Y.Z., Sun, M., Carke, H. (2005). HPLC characterization of betalains from plants in the Amaranthaceae. *Journal of Chromatographic Science*, 43: 454-460, Cambridge, England, p 179-221.
- Carocho, M., Ferreira, I.C.F.R. (2013). The role of phenolic compounds in the fight against cancer- a review. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*, 13:1236-1258
- Cavalcanti, R.N., Santos, D.S., Meireles, M. A. A. (2011). Non-thermal stabilization mechanisms of anthocyanins in model and food systems- An overview. *Food Research International*, 44: 499-509.
- Castaneda-Ovando, A., Pacheco-Hernandez, Ma. de L., Paez-Hernandez, Ma E., Rodriguez, J.A., Galan-Vidal, C.A., (2009). Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*, 113(4) :859-871.
- Cejudo-Bastante, M. J., Hurtado, N., Heredia, F. J. (2015). Potential use of new Colombian sources of betalains. Colorimetric study of red prickly pear (*Opuntia dillenii*) extracts under different technological conditions. *Food Research International*, 71: 91-99.
- Cemeroğlu, B., (2004). Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Cilt 1, Başkent Kilise Matbaacılık, 670 s. Ankara.
- Cooperstone, J.L., Schwartz, S.J. (2016). Recent insights into health benefits of ca-

- rotenoids. In: Carle R, Schweiggert RM, editors. Handbook on natural pigments in food and beverages: industrial applications for improving food color. *Woodhead Publishing*. p 473–97
- Delgado-Vargas, F., Jimenez, A.R., Paredes-Lopez, O. (2000). Natural pigments: Carotenoids, anthocyanins, and betalains-Characteristics, biosynthesis, processing, and stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40:3: 173-289,
- Dia, V.P, Wang, Z., West, M., Singh, V., West, L., Gonzalez de Mejia E. (2015). Processing method and corn cultivar affected anthocyanin concentration from dried distillers grains with solubles. *J Agric Food Chem* 63: 3205– 18.
- Downham, A. , Collins, P. (2000). Colouring our foods in the last and next millennium *International Journal of Food Science and Technology*, 35 (1) :5-22
- Eder, R. (2000). “Pigments”. In *Food analysis by HPLC. 2nd revd ed*, Edited by: Nollet, LML. 825–880. New York, NY: Marcel Dekker.
- Funamoto, Y., Yamauchi, N., Shigenaga, T., Shigyo, M. (2002). Effects of heat treatment on chlorophyll degrading enzymes in stored broccoli (*Brassica oleracea* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 24:163-170.
- Galvano, F., Fauci, L., Lazzarino, G., Fogliano, V., Ritieni A., Ciappellano, S., Battistini, C., N., Barbara, T., Galvano, G. (2004). Cyanidins: metabolism and biological properties, *Journal of Nutritional Biochemistry*, 15: 2–11
- Gasztonyi, M.N., Daood, H., Hájos, M.T., Biacs, P. (2001). Comparison of red beet (*Beta vulgaris* var. *conditiva*) varieties on the basis of their pigment components. *J. Sci. Food Agric.* 81:932–933.
- Gentile, C., Tesoriere, L., Allegra, M., Livrea, M.A., D’Alessio, P. (2004). Antioxidant betalains from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) inhibit endothelial ICAM-1 expression. *Annals of the New York Academy Science*, 1028:481–486.
- Ghosh, D., Konishi, T. (2007). Anthocyanins and anthocyanin-rich extracts: role in diabetes and eye function. *Asia Pac J Clin Nutr* 16(2): 200– 8.
- Giusti, M.M., Wroslstad, R.E. (2003). Acylated anthocyanins from edible sources and their applications in food system. *Biochemical Engineering Journal*, 14: 217-225.
- Gökmen, V., Bahçeci, S., Acar, J. (2002). Liquid chromatographic method for the determination of chlorophylls, carotenoids and their derivatives in fresh and processed vegetables. *Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies*, 25(8), 1201-1213.
- Grotewold, E. (2006). The Genetics and Biochemistry of Floral Pigments. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 57: 761–780.
- Gupte, S.M., El-Bisi, H.M., Francis, F.J. (1963) Kinetics of thermal degradation of chlorophyll in spinach puree. *J Food Sci* 29:379–382
- Hadley, C.W., Miller, E.C., Schwartz, S.J., Clinton, S.K. (2002). Tomatoes, lycopene, and prostate cancer: Progress and promise. *Exp Biol Med.*, 277: 869–880.

- Hatamnia AA., Abbaspour, N., Darvishzadeh, R. (2014). Antioxidant activity and phenolic profile of different parts of Bene (*Pistacia atlantica subsp. kurdica*) fruits. *Food Chemistry* 145: 306-311.
- He, J., Giusti, MM. (2010). Anthocyanins: natural colorants with health promoting properties. *Annual Review of Food Science and Technology*, 1 (1): 163– 187.
- Heim, KE., Tagliaferro, AR., Bobilya DJ. (2002). Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 13: 572-584.
- Henry, B. S. (1992) Natural food colours. In Natural Food Colorants, G.A.F. Hendryand J.D. Houghton (Eds.), Blackie and Son Ltd., pp: 39-78, New York.
- Herbach, K.M., Stintzing, F.C., Carle, R. (2006). Betalain stability and degradation-structural and chromatic aspects. *Journal of food science*, 71(4): R41-R50.
- Hoff, A.J., Ames, J. (1991). Visible absorption spectroscopy of chlorophylls. In: Chlorophylls, H., Scheer (Edt), CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, Boston, London, 723-738.
- Holden, J.M., Eldridge, A.L., Beecher, G.R., Buzzard, I.M., Bhagwat, S., Davis, C.S., Douglass, L.W., Gebhardt, S., Haytowitz, D., Schake, S.I. (1999). Carotenoid content of U.S. foods: An update of the database. *J Food Compos Anal.*, 12: 1696–196.
- Horbowicz, M., Kosson, R., Grzesink, A. and Debski, H. (2008). Anthocyanin of Fruits and Vegetables-Their Occurrence, Analysis and Role in Human Nutrition. *Vegetable Crops Res. Bull.*, 68: 5–22.
- Jaakola, L. (2013). New insights into the regulation of anthocyanin biosynthesis in fruits. *Trends Plant Sci*, 18(9):477–483.
- Kannan, V. (2011). Extraction of bioactive compounds from whole red cabbage and beetroot using pulsed electric fields and evaluation of their functionality”. Master of Science. *University of Nebraska-Lincoln*, 148 p,
- Kanner, J., Harel, S., Granit, R. (2001). Betalains—a new class of dietary cationized antioxidants. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 49:5178–5185.
- Katsumoto, Y., Fukuchi-Mizutani, M., Fukui, Y. (2007). et al. Engineering of the rose flavonoid biosynthetic pathway successfully generated blue-hued flowers accumulating delphinidin. *Plant Cell Physiol.* 48(11):1589–1600.
- Kaur, G., Thawkar, B., Dubey, S., Jadhav, P. (2018). Pharmacological potentials of betalains. *Journal of Complementary and Integrative Medicine* 15 (3):1–9. doi: 10.1515/jcim-2017-0063.
- Khan, M. I. (2016). Stabilization of betalains: A review. *Food Chemistry*, 197: 1280-1285
- Khan, M.I., Giridhar, P. (2014). Enhanced chemical stability, chromatic properties and regeneration of betalains in *Rivina humilis* L. berry juice. *LWT-Food Science and Technology*, 58(2): 649-657.

- Khoo H. E., Azlan A., Tang S.T., Lim S.M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food & Nutrition Research* 61 (1):1361779–21. doi: <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>.
- Krenn, L., Steitz, M., Schlicht, C., Kurth, H., Gaedcke, F.(2007). Anthocyanin- and Proanthocyanidin-Rich Extracts of Berries in Food Supplements-Analysis with Problems. *Pharmazie*, 62(11):803–812.
- Li X., Xu, J., Tang, X., Liu Y., Yu, X., Wang, Z., Liu, W. (2016a). Anthocyanins inhibit trastuzumab resistant breast cancer *in vitro* and *in vivo*. *Molecular Med Repor* 13:4007–13.
- MacDougall, D.B. (2002). Colour in Food Improving Qality. *Woodhead Publishing Limited*.
- Malien-Aubert, C., Dangles, O., Amiot, M.J., (2001). Color stability of commercial anthocyanin-based extracts in relation to the phenolic composition. Protective effects by intra and intermolecular copigmentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 170-176.
- Martins, N., Lobo Roriz, C., Morales, P., Barrosa, L., Ferreira,İ. (2017). Coloring attributes of betalains: a key emphasis on stability and future applications. *Food Funct*, 8:1357–1372.
- Martins, N., Roriz C. L., Morales P., Barros L. and Ferreira I. C. F. R. (2017). Coloring attributes of betalains: A key emphasis on stability and future applications. *Food and Function*, 8(4): 1357-1372.
- Mazza G, Francis FJ. (1995). Anthocyanins in grapes and grape products. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 35(4):341–371.
- Mazza, G., Miniati, E. (1993). Anthocyanins in fruits, vegetables, and grains. CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo
- Mercadante, A.Z., Rodrigues, D.B., Petry, F.C., Mariutti, L.R.B. (2017). Carotenoid ewsters in foods-A review and practical direction on analysis and occurrence. *Food Research International*, 99 : 830-850, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.018>
- Minguez-Mosquera, M.I., Gondul-Rojas, B., Gallardo-Guerrero, L. and Jaren-Galan, M.(2002). Methods of Analysis for Functional Foods and Nutraceuticals, Hurst, W.J. (ed.), *CRC Pres LLC*, 416 p., Florida.
- Nacz, M., Shaidi, F. (2004). Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of Chromatography A*, 1054 :95-111.
- Newsome, R.L. (1986). Food colors. *Food Technology*, 40: 49-56.
- Özcan, K., ve Ersus Bilek, S. (2018). Kırmızı pancardan renk maddesi üretimi ve stabilitesinin sağlanması”, *Akademik Gıda*, 16(4): 439-449.
- Özda, T., Çapanoğlu E., Altay F., (2013). A review on protein-phenolic interactions and associated changes. *Food Research International* 51: 954-970.

- Parker, R.S. (1989). Carotenoids in human blood and tissues. *J. Nutr.* 119:101–104.
- Patras, A., Brunton, N.P., O'Donnell, C., Tiwari, B.K., (2010). Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science & Technology*, 21: 3-11.
- Rao, A.V.; Rao, L.G. (2007). Carotenoids and human health. *Pharmacol. Res.*, 55:207–216.
- Rein, M. (2005). Copigmentation Reactions and Color Stability of Berry Anthocyanins. *University of Helsinki, Helsinki, Finland*, pp. 10–14.
- Rodriguez, EB., Vidallon, MLP., Mendoza, DJR., Reyes CT. (2016). Health-promoting bioactivities of betalains from red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton and Rose) peels as affected by carbohydrate encapsulation. *J. Sci. Food Agric* 96(14):4679–89.
- Rodriguez-Amaya, D.B. (2019). Update on natural food pigments - a mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains, *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 124:200-205,
- Rodriguez-Amaya, D.B. (2015). Carotenes and Xanthophylls as Antioxidants. In *Handbook of Antioxidants for Food Preservation*, Shahidi, F. Ed.; Sawston, United Kingdom: *Horwood Publishing*. pp 17–50. doi:10.1016/B978-1-78242-089-7.00002-6
- Sass-Kiss, A., Kiss, J., Milotay, P., Kerek, M.M., Toth-Markus, M. (2005). Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetables. *Food Research International*, 38: 1023-1029.
- Schwartz, S.J., Von Elbe, J.H. (1983) Kinetics of chlorophyll degradation to pyropheophytin in vegetables. *J Food Sci* 48:1303–1306
- Shaddel, R., Hesari, J., Azadmard-Damirchi, S., Hamishehkar, H., Fathi-Achachlouei, B., Huang, Q. (2018). Double emulsion followed by complex coacervation as a promising method for protection of black raspberry anthocyanins. *Food Hydrocolloids*, 77 : 803-816, 10.1016/j.foodhyd.2017.11.024
- Shi, J., Maguer, L.M. (2000). Lycopene in tomatoes: Chemical and physical properties affected by food processing. *Crit Rev Biotech.*, 20(4): 293–334.
- Sigurdson, G.T.; Tang, P.; Giusti, M.M. (2017). Natural Colorants: Food Colorants from Natural Sources. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 8, 261–280. doi:10.1146/annurev-food-030216-025923.
- Sivam, AS., Sun-Waterhouse, D., Quek, S., Perera, CO. (2010). Properties of bread dough with added fiber polysaccharides and phenolic antioxidants: a review. *Journal of Food Science*, 75: 163-174.
- Slimestad, R., Solheim, H. (2002). Anthocyanins from black currants (*Ribes nigrum* L.). *J Agric Food Chem*, 50(11):3228–3231.
- Sowbhagya, H.B., Sampathu, S.R., Krishnamurthy, N. (2004). Natural colorant from marigold: Chemistry and technology. *Food Rev Int.*, 20(1): 33–50.

- Spence, C., Levitan, C.A., Shankar, M.U. (2010). Does Food Color Influence Taste and Flavor Perception in Humans?. *Chem. Percept.* 3,: 68–84.
- Stich, E. (2016) Food color and coloring food. Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages, Elsevier pp. 3-27,
- Stintzing, F. C., Schieber, A., Carle, R. (2002). Identification of betalains from yellow beet (*Beta vulgaris* L.) and cactus pear [*Opuntia ficus-indica*(L.) Mill.] by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization mass spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 2302-2307.
- Stintzing, F.C., Carle, R. (2004). Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food and in human nutrition. *Trends Food Science Technology*, 15(1):19–38.
- Streitweiser, A., Heathcock, C.H. (1981) Introduction to Organic Chemistry. 2nd. edn. MacMillan New York, p 306
- Takamiya, K., Tsuchiya, T. and Ohta, H. (2000). Degradation pathways of chlorophyll: What has gene cloning revealed?. *Trends in Plant Science*, 5:426-431.
- Tanaka, Y., Tsuda, S., Kusumi, T. (1998). Metabolic engineering to modify flower color. *Plant Cell Physiol*, 39(11):1119–1126.
- Tee, E.S., Lee, C.Y. (1992). Carotenoids and retinoids in human nutrition. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 31(1-2), 103-163.
- Tiwari, B.K., O'Donnell, C.P., Cullen, P.J. (2009). Effect of non thermal processing technologies on the anthocyanin content of fruit juices. *Trends in Food Science & Technonology*, 20: 137-145.
- Van Loey, A., Ooms, V., Weemaes, C., Van den Broeck, Il., Ludikhuyze, L., Denys, S., Hendrickx, M. (1998). Thermal and pressure temperature degradation of chlorophyll in broccoli (*Brassica oleracea* L. *italica*) juice: a kinetic study. *J Agric Food Chem* 46(12):5289–5294
- Von Elbe, J.H., Maing, I., Amundson, C.H. (1974). Colour stability of betanin. *Journal of Food Science*, 39, 334–337.
- Von Elbe, J.H., Schwartz, S.J. (1996). Colorants. In “Food Chemistry”, O.R. Fenema (Ed). Chapter 10. pp: 651–722. Marcel Dekker Inc., New York.
- Yousuf, B., Gul, K., Wani, A.A. Singh, P. (2016). Health benefits of anthocyanins and their encapsulation for potential use in food systems: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 56 (13):2223–30. doi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.805316>
- Zeren, I., Cesur, A., Keskin, R., Akarsu, H. (2017b). Bazı Peyzaj Bitkilerinde Klorofil Miktarının Değişimi: Samsun Örneği, *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences* 19 (2): 174-182
- Zeren, I., Cesur, A., Saleh, E.A.A., Mossi, M.M.M. (2017a). Variation of Chlorophyll Amount in Some Landscape Plants: a case study of Rize, *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences*, 7(3): 807-817.



BÖLÜM 17

BARTIN ÇAYI KUMLARINDA YENİLME ZARFI EĞRİSELLİĞİNİN ŞEV STABİLİTE ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Ermedin TOTİÇ¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi Bartın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü ermedintotic@bartin.edu.tr ORCID: 0000-0002-4073-0265

1.GİRİŞ

Şev genel anlamda doğal ya da yapay oluşturulmuş bir zemin kitlesini sınırlayan eğik yüzey olarak tarif edilmektedir. Gerek doğal olaylardan, gerekse insan faaliyetlerden dolayı yer yüzeyi sürekli olarak yapısını değiştirmektedir. Arazilerin doğal yapısının değişmesi şev stabilite problemlerine neden olmaktadır. Bozulan denge çoğu kez kütle toprak kaymaları gibi kütle hareketleri ile sonuçlanmaktadır. Bu kütle hareketleri doğal yamaçlarda, açık işletme şevinde, pasa yığının da, oto-yol yarma ve dolgularında, temel kazısında ve dolgu baraj gövdesi gibi yapılarda meydana gelebilmektedir. Kütle hareketleri yerleşim alanlarına, rezervuar alanlarına, ulaşım yapılarına, maden işletme sahalarına ve tarıma uygun alanlara zarar verebilmektedir. İklim değişikliği, kentleşme ve kontrolsüz arazi kullanımı heyelan riskini daha da artırmıştır. Türkiye’de meydana gelen afet olay sayılarında %45 ile heyelanların birinci sırada olduğu Gökçe vd. (2008) tarafından rapor edilmiştir. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) istatistiklerine göre, dünyadaki tüm doğal afetlerden kaynaklanan ölümlerin en az %17’si toprak kaymaları sonucu meydana gelmektedir (Grahn ve Jaldell, 2017). Bu nedenle şev stabilitesinin değerlendirilmesi geoteknik mühendisliğinin en önemli araştırma konularından biri haline gelmiştir. Geçen birkaç on yıl içinde şev davranışı ile ilgili yapılan çalışmalar zeminlerin karmaşık davranışının anlaşılmasını ve önemli zemin mekaniği ilkelerinin ortaya çıkmasını sağlamış, şev stabilite problemlerinin çözümü için kullanılan bilgisayar yazılımların geliştirilmesine olanak tanımıştır. Bugüne kadar yapılan çalışmalara rağmen şev stabilitesinin değerlendirilmesi önem hâlen verilmesi gereken konulardan biridir. Jeolojik yapıya ve zemin koşulları standartlarına göre değerlendirilmiş ve stabilite analizinde daha önceki uygulamalarda etkili olan yöntemler kullanılsa bile telafisi zor durumlarla karşılaşılması mümkündür.

Şev stabilitesi için temel şart zeminin kesme dayanımının denge için gerekli kesme gerilmesinden büyük olmasıdır. Güvenilir bir şev stabilite analizi üç ayrı aşama içerir: a) zemin koşullarını yansıtacak kayma gerilmesi parametrelerin deneysel olarak belirlenmesi, b) deneysel sonuçlara en uygun yenilme zarfının belirlenmesi ve c) ortaya çıkan yenilme zarflarını kullanılan şev stabilite analizi yöntemine entegre ederek, kritik kayma yüzeyi için kaymaya karşı güvenlik sayısının belirlenmesidir. Şev stabilite analizleri sonucunda belirlenen kaymaya karşı güvenlik sayısı zemin kesme mukavemetini veya yenilme zarfını tanımlamak için kullanılan parametrelerin tipine ve büyüklüğüne bağlıdır.

Geoteknik uygulamalarında kayma dayanımı gibi önemli bir zemin özelliğinin güvenilirliği son derece önemlidir. Tüm geoteknik uygulamalarında olduğu gibi şev stabilitesini değerlendirmede doğrusal Mohr-Coulomb yenilme kriteri pratik olmasından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır

(Duncan, 1996; Dawson, Roth, & Drescher, 1999; Liu, C., & Evett, 2008; Das, 2021; Steward, Sivakugan, Shukla & Das, 2011). Limit denge analiz yöntemlerinin çoğu (Bishop, Fellnus ve Petteson, Janbu, Morgenstern ve Price, Spencer) bu kriter üzerine kurulmuştur. Ancak birçok zeminin yenilme zarfının özellikle düşük normal gerilme aralığında doğrusal olmadığı ve Mohr gerilme diyagramının orijininin geçtiği uzun zamandır bilinmektedir (Terzaghi & Peck, 1948).

Efektif normal gerilme ile kesme gerilmesi ($\sigma' - \tau$) ilişkisini tanımlamak için literatürde birkaç ampirik eğrisel mukavemet fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyonlara çift doğrusal fonksiyonlar (Lefebvre, 1981), üç doğrusal fonksiyonlar (De Mello, 1977), kuvvet fonksiyonları (De Mello, 1977; Charles & Watts, 1980; Charles & Soares, 1984; Collins vd., 1988; Baker, 2004), yarı logaritmik fonksiyonlar (Nobari & Duncan, 1972; Barton, 1976; Barton & Choubey 1977) ve hiperbolik fonksiyonlar (Maksimovic, 1989) örnek verilebilir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan kuvvet fonksiyonu;

$$\tau = A(\sigma')^b \quad (1)$$

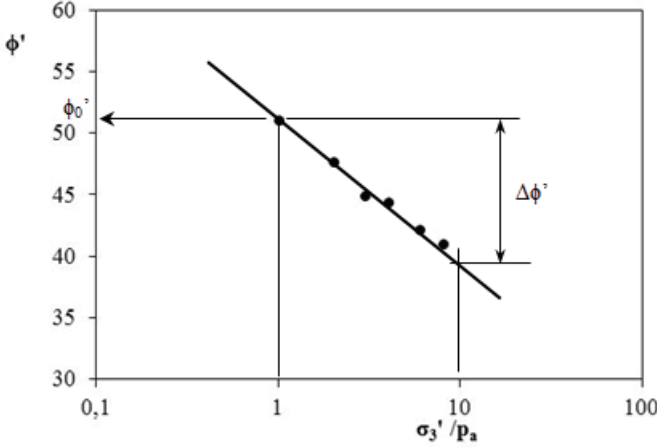
şeklinde ifade edilir. Burada A ve b birimsiz sabitlerdir. Herhangi bir σ' değerinde τ 'nın büyüklüğü, A katsayısı ile doğru, yenilme zarfının eğrilik derecesi olan b katsayısı ile ters orantılıdır. Eğri kesme mukavemeti kırılma zarfını en iyi temsil eden kuvvet yasası ilişkisini oluşturmak için gereken A ve b değerlerini belirlemek için eğri uydurma yöntemleri kullanılmalıdır. Bu ilişki orijindeki yenilme zarfına dikey bir teğeti tanımlar, bu da fonksiyonu sıfır gerilme seviyesinde kullanılamaz hale getirir. Ayrıca, A ve b sabitleri kullanılan birimlere bağlıdır ve fiziksel bir anlamları yoktur.

Nobari ve Duncan (1972) tarafından eğrisel yenilme zarfı yarım logaritmik eksen sisteminde Eşitlik (2) ile doğrusal olarak ifade edilmiştir.

$$\phi' = \phi_0 - \Delta\phi \log(\sigma_3'/p_a) \quad (2)$$

Buradaki parametrelerin geometrik anlamı Şekil 1'de gösterilmiştir. Burada, ϕ' efektif gerilme sekant içsel sürtünme açısını, ϕ_0 terimi ϕ' 'nin $\sigma_3' = 1$ atmosferdeki değerini, ϕ çevre basıncında 10 kat artış (bir logaritmik bölge) için ϕ' değerindeki azalma miktarını, σ_3' çevre basıncını ve p_a atmosferik basıncı ifade etmektedir. Şekil 1'de görüldüğü gibi bu yaklaşım, sekant içsel sürtünme açısını düşük normal efektif gerilmeler için büyük, çok yüksek normal efektif gerilmeler için ise gerçeğinden daha küçük tahmin etmektedir.

Önerilen bu yenilme kriterlerinin dezavantajı sınırlı gerilme aralığında geçerli ve ilgili zemine özgü olmalarıdır.



Şekil 1. Efektif gerilme, sekant içsel sürtünme açısı (ϕ') ve çevre basıncı (σ_3') arasındaki ilişki

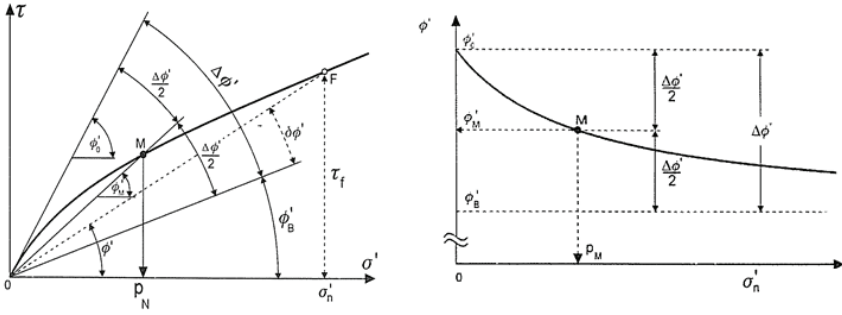
Efektif gerilmelerle ifade edilen kayma mukavemeti, bir başka deyişle yenilme zarfı fonksiyonunun aşağıdaki koşulları sağlaması istenmektedir.

- Sıfırdan başlayarak geniş gerilme aralıklarında geçerli olması,
- Bütün zemin türlerinde uygulanabilir olması,
- Matematiksel olarak basit olması,
- İçerdiği parametrelerin fiziksel olarak anlamlı olması ve laboratuvarında belirlenebilmesi,
- Mevcut teorilerde kabul edilen temel kavramlarla uyumlu olmasıdır.

Maksimovic (1989) çoğu zemin türü için sıfırdan pratik olarak sonsuza kadar mümkün olan en geniş gerilme aralığında doğrusal olmayan yenilme zarfını üç parametrelili hiperbolik bir ifade Eşitlik (3) ile tanımlamıştır.

$$\tau_f = \sigma_n' \tan(\phi_B' + \Delta\phi' / (1 + (\sigma_n' / p_N))) \quad (3)$$

Burada her parametrenin anlamı Şekil 2'de gösterilmektedir. ϕ_B' temel sürtünme açısı olup, dilatasyon etkisinin bastırıldığı sabit hacimdeki kesme direncini temsil etmektedir. Bu açının taneler arasındaki fiziksel sürtünme açısına yaklaşık olarak eşit olduğu düşünülmektedir. $\Delta\phi'$ dilatasyon açısını ifade eder ve zeminin kesme esnasında genişlemeye karşı gösterdiği direncin bir ölçüsüdür. p_N medyan açı normal gerilmesi olup sıfır normal gerilme için dilatasyon açısının yarısına eşit olan normal gerilmedir. Önerilen bu biçimindeki yenilme zarfının analitik çözümü kil, silt, kum, çakıl, kaya dolgu ve kaya süreksizliklerinin en geniş gerilme aralığı için geçerlidir (Fannin, Eliadorani, & Wilkinson, 2005).

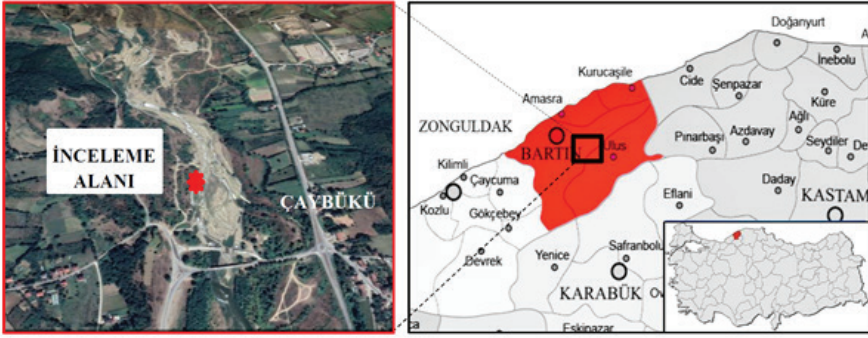


Şekil 2. Doğrusal olmayan yenilme zarfı parametrelerinin tanımı (Maksimovic, 1989)

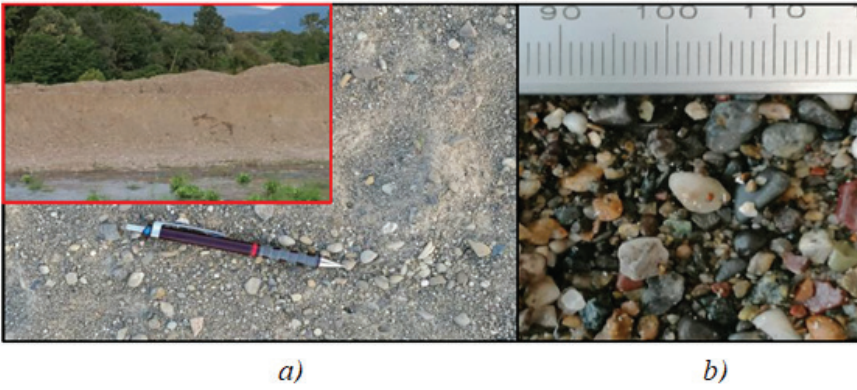
Bu çalışmada deneysel verilere dayalı doğrusal ve eğrisel yenilme zarfları kullanılarak sabit geometriye sahip homojen bir kum dolgusunun farklı su seviyeleri için gerçekleştirilen elde edilen analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca, şev stabilite analizlerinin değerlendirildiği bilimsel çalışmalarda ve pratik uygulamalarda sıklıkla karşılaşılan kohezyon kullanımının önemi de vurgulanmıştır. Analizler Bishop yöntemi uygulanarak Geo5 programı ile gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Jeolojik ve jeomorfolojik özellikler ele alındığında Türkiye’de başta Karadeniz bölgesi olmak üzere, Doğu Anadolu ve Orta Anadolu bölgeleri heyelanların sıkça geliştiği alanları kapsamaktadır. Ağustos 2021 yılında Batı Karadeniz bölgesinde etkili olan aşırı yağış sonucu meydana gelen sel ve su baskını toprak kaymalarına ve yol dolguların göçmesine neden olmuştur. Örneğin, Bartın-Karabük karayolunda meydana gelen göçme bu iki il arasında ulaşımı kesintiye uğratmıştır. Bartın Çayı drenaj ağı Kretase yaşlı sedimanter serilerden oluşan Batı Pontidler dağ kuşağında yer almaktadır. Suyun aşındırma ve taşıma faaliyeti sonucu kum ve çakıl boyutlarında oluşan kırıntılı malzeme Bartın Çayı yatağını oluşturmaktadır. Bölgede yol yapımında dolgu malzemesi olarak genelde bu malzeme kullanılmaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmada bu malzeme seçilmiştir. Kum numune Bartın Merkezinde yaklaşık 10km güneyinde bulunan Çaybükü Köyü civarında Bartın Çayı yatağından alınmıştır (Şekil 3). Yapılan gözlemlerde yaklaşık %70-80 kumtaşı, geriye kalan oranda ise kireçtaşı, kuvars ve az da olsa magmatik kayalardan türemiş taneler tespit edilmiştir. Şekil 4’te görüldüğü gibi tane şekli genelde yuvarlak ve yarı yuvarlaktır. Alınan numune deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere 4 No’lu elekten geçirilmiştir. Elekten geçen malzemeye elek analizi, tane birim hacim ağırlığı ve Standart Proktor deneyi uygulanmıştır. Ayrıca malzemenin doğal haldeki tane boyu dağılımı da belirlenmiştir.

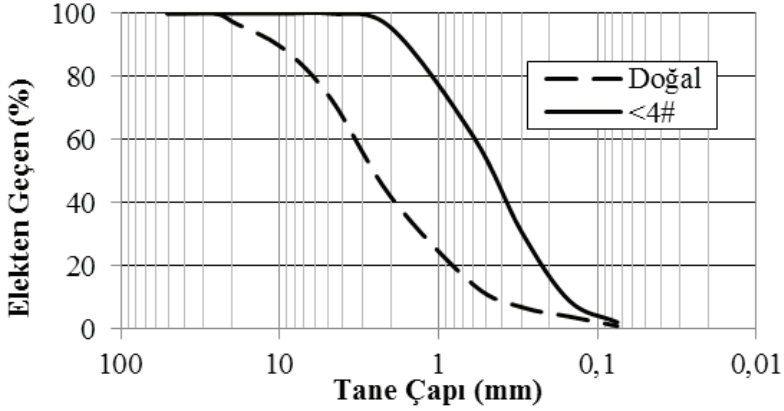


Şekil 3. İnceleme alanına ait yer bulduru haritası



Şekil 4. Çalışmada kullanılan kumun görünümü; a) arazi ve b) 4 No'lu elekten geçen numune

Yapılan elek analizi sonucunda doğal haldeki malzemenin % 27 oranında çakıl boyutunda tane içerdiği tespit edilmiştir. Bu malzemenin üniformluk katsayısı (C_u) ve derecelenme katsayısı (C_c) değerleri sırayla 9.72 ve 1.34 olarak bulunmuş ve malzeme Bileştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemine (USCS) göre iyi derecelenmiş kum (SW) olarak sınıflandırılmıştır. Çakıl tanelerinden arındırılan kum numunesinin C_u ve C_c katsayıları sırayla 3.53 ve 0.88 değerlerini almış ve malzeme USCS'ye göre kötü derecelenmiş kum (SP) zemin sınıfına girmiştir. Her iki durum için tane boyu dağılım eğrileri Şekil 5'te sunulmuştur. Tane birim hacim ağırlığı $26,8 \text{ kN/m}^3$ olarak bulunmuştur. Altı farklı su muhtevasında yapılan Standart Proktor deneyi neticesinde kum zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığı $18,3 \text{ kN/m}^3$ ve optimum su muhtevası %14 olarak belirlenmiştir.

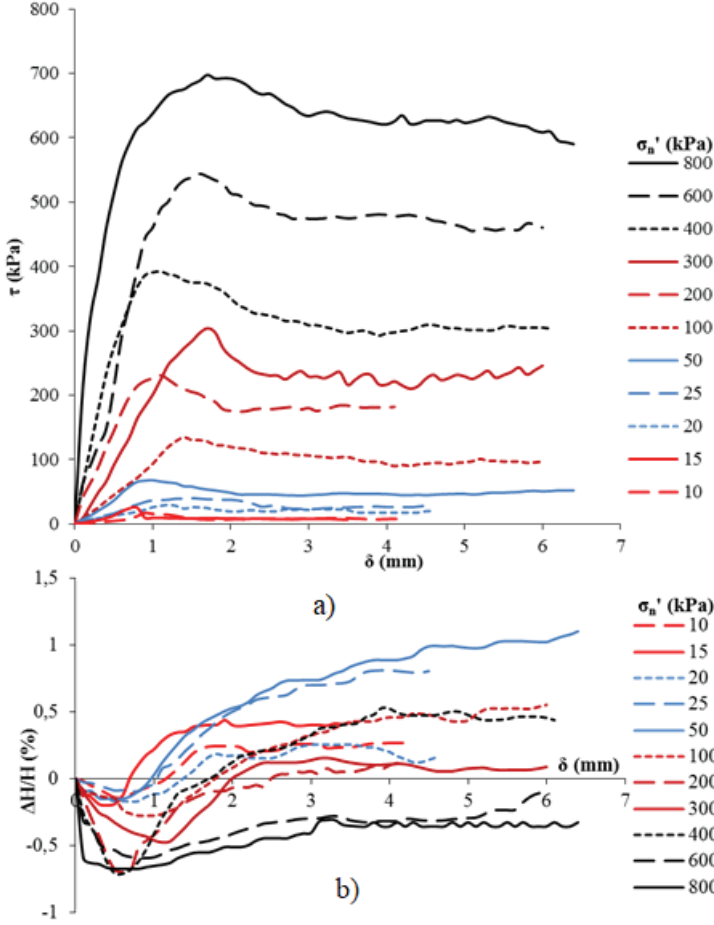


Şekil 5. Deneysel çalışmalarda kullanılan kum numunesine ait tane boyu dağılımı

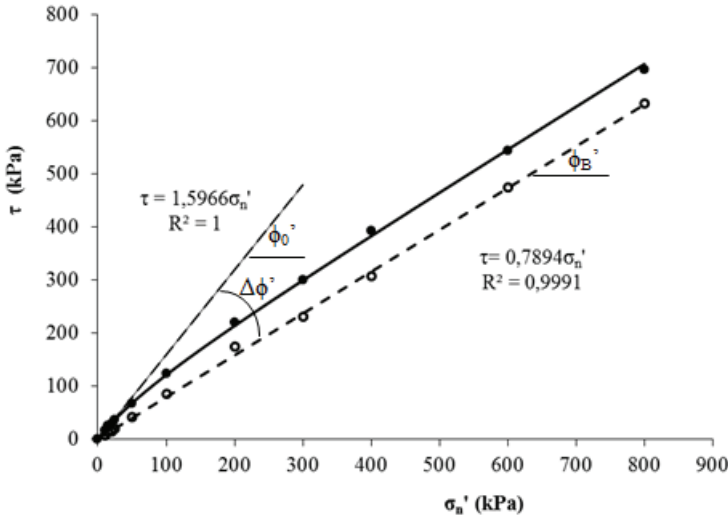
Fiziksel özellikleri belirlendikten sonra maksimum kuru birim hacim ağırlığında sıkıştırılmış kum numunesi üzerinde 10 kPa ile 800 kPa aralığında toplam 11 farklı normal gerilme altında kesme kutusu deneyi uygulanmıştır. Düşük gerilmelerde yenilme zarfı eğriliğinin daha belirgin olmasından dolayı deneylerde bu aralıklar daha küçük tutulmuştur. Deneylerde 60 mm daire tabanlı kesme kutusu kullanılmıştır. Deney numuneleri maksimum kuru birim hacim ağırlığında olacak şekilde hidrolik bir pres yardımıyla sıkıştırılmıştır. Kesme kuvveti dakikada 1mm hızla uygulanmış, yatay ve düşey deformasyonlar ölçülmüştür. Deney sonucunda Maksimovic (1989) modeline göre yenilme zarfı oluşturulmuştur.

Çalışmanın son aşamasında farklı su seviyeleri için Şekil 6'da gösterilen geometrideki homojen kum dolgusunun şev stabilite analizi yapılmıştır. Analizler Bishop yöntemi kullanılarak doğrusal ve eğrisel yenilme zarfları için Geo5 programı ile gerçekleştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Analizlerde dolgunun birim hacim ağırlığının, maksimum birim hacim ağırlığına eşit olduğu ve dolgu derinliği boyunca artan efektif gerilmeden etkilenmeyeceği kabul edilmiştir. Bununla birlikte, içsel sürtünme açısı eğrisel yenilme kriterine göre derinlik boyunca artan gerilme ile azalacaktır. Ancak, Geo5 analiz programı eğrisel yenilme zarflarını kullanacak biçimde tasarlanmış bir program değildir. Alternatif olarak Şekil 6'da gösterilen dolgunun derinliği boyunca tabakalı olduğu varsayılmış ve tabakaların her birine deneysel veriler kullanılarak hesaplanan içsel sürtünme açıları atanmıştır. Böylelikle, aynı malzeme için dolgu derinliği boyunca farklı içsel sürtünme açısı değerleri kullanılmıştır. Ek olarak drenajlı şartlarda kohezyon varlığının şev stabilitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

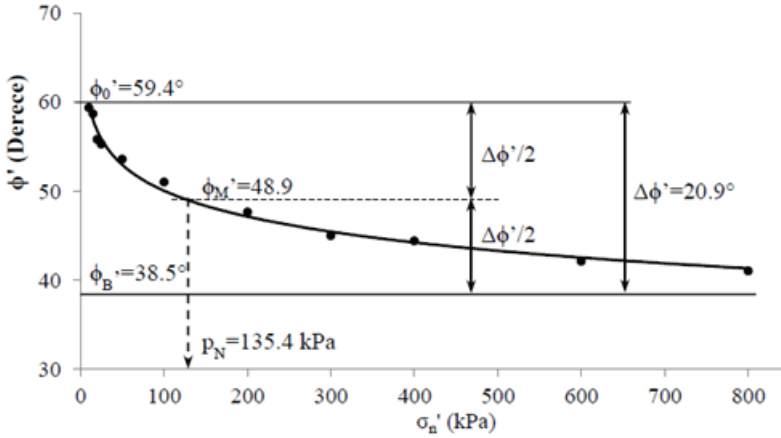
muneler üzerinde yapılan elek analizi deneylerinde tane boyu dağılımında önemli bir değişiklik olmadığı görülmüştür (Şekil 10). Önemseyecek miktarda görülen farkların malzemenin homojen olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 7. Doğrudan kesme deneyinden elde edilen a) yanar yer değiştirme-kayama gerilmesi ve b) yanar yer değiştirme-düşey deformasyon arasındaki ilişkiler

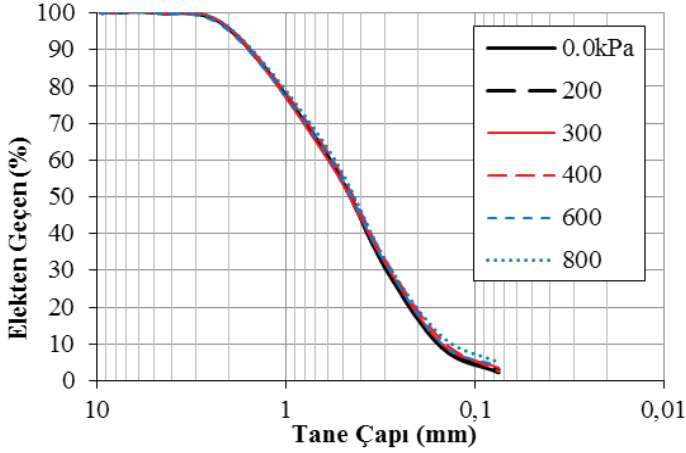


Şekil 8. Efektif normal gerilme – kayma gerilmesi ilişkisi

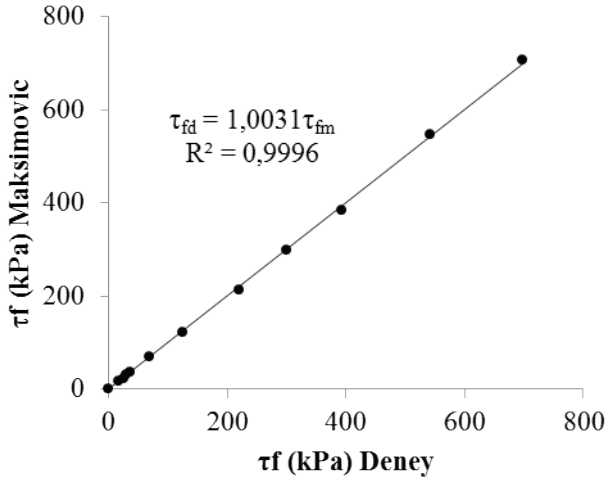


Şekil 9. Efektif normal gerilme – sürtünme açısı ilişkisi

Şekil 9'da verilen efektif normal gerilme-sekant sürtünme açısı diyagramında dilatasyon açısının yarısına karşılık gelen medyan açı normal gerilme (p_N) değeri 134.5 kPa olarak bulunmuştur. Bulunan ϕ_B' , $\Delta\phi'$ ve p_N değerleri Eşitlik 3'te yerine yazılarak Şekil 8'de verilen efektif normal gerilme-kayma gerilmesi yenilme zarfı elde edilmiştir. Elde edilen eğri deney sonuçlarıyla Şekil 11'de karşılaştırılmış ve sonuçların oldukça örtüştüğü görülmüştür.

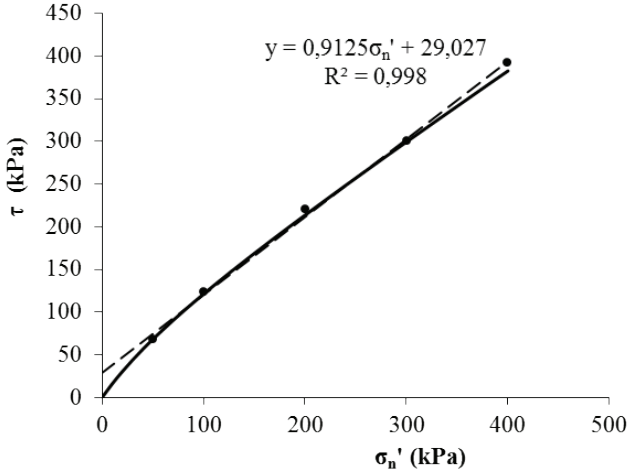


Şekil 10. Kesme deneyi yapılan numunelerin farklı efektif normal gerilmelerdeki tane boyutu dağılımı



Şekil 11. Maksimovic (1989) yöntemi ile elde edilen kayma gerilmesi değerlerinin deney sonuçlarıyla karşılaştırılması

Şekil 12’de verilen diyagramda 50 – 400 kPa efektif normal gerilme aralığı için elde edilen doğrusal yenilme zarfı kesikli çizgiyle gösterilmiştir. Şev stabilize analizinde karşılatırma yapmak için elde edilen bu doğrusal yenilme zarfında efektif kohezyon katsayısı (c') 29 kPa ve efektif sürtünme açısı (ϕ') 42° olarak bulunmuştur.



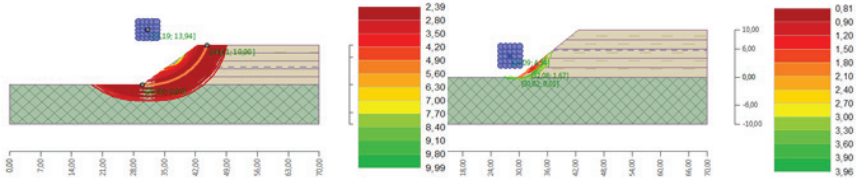
Şekil 12. Efektif normal gerilme ve kayma gerilmesi ilişkisi

3.2. Analiz Sonuçları

Yapılan şev stabilite analizlerinde farklı su seviyeleri için doğrusal ve eğrisel yenilme zarfı kullanılarak güvenlik sayısı elde edilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde su seviyesi (Hw) düştükçe her iki yenilme kriterinde de güvenlik sayısı azalmıştır. Ele alınan su seviyeleri için doğrusal yenilme zarfı kullanılarak elde edilen güvenlik sayıları, eğrisel yenilme zarfı için elde edilen güvenlik sayılarından büyüktür. Bu durumun nedeni, doğrusal yenilme zarfında kohezyonun kullanımıdır. Bununla birlikte, Şekil 13'te sunulan analiz sonuçlarında doğrusal yenilme zarfının kullanıldığı durumda kayma yüzeyinin daha derin olduğu, eğrisel zarfın kullanıldığı durumda ise kayma yüzeyinin şev yüzeyine oldukça yaklaştığı görülmektedir. Tablo 2'de kuru dolgu için kohezyonun artmasıyla güvenlik sayısındaki artış verilmektedir.

Tablo 1. Farklı su seviyeleri kaymaya karşı güvenlik sayıları

Hw (m)	Güvenlik Sayısı	
	Doğrusal Yöntem	Eğrisel Yöntem
0	2,84	1,25
1,72	2,71	0,84
3,23	2,62	0,8
4,56	2,39	0,81
5,74	2,29	0,84
6,8	2,19	0,76



Şekil 13. Hw: 3.23 metre için a) doğrusal ve b) eğrisel kritik kayma yüzeyleri

Tablo 2. Farklı su seviyeleri kaymaya karşı güvenlik sayıları

c (kPa)	Güvenli Sayısı
0,0	1,25
0,1	1,33
0,5	1,45
1,0	1,53
3,0	1,74
5,0	1,88
10,0	2,18

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada Bartın Çayı yatağından alınan kum numunesinin fiziksel özellikleri deneysel olarak belirlenmiştir. Direk kesme deneyi ile mekanik özellikleri elde edilmiş ve eğrisel yenilme zarfı oluşturulmuştur. Elde edilen eğrisel yenilme zarfı ve doğrusal yenilme zarfı uygulanarak şev stabilite analizi yapılmıştır ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kohezyon etkisi şevin davranışını gerçek durumdan uzaklaştırarak daha yüksek güvenlik sayılarının bulunmasına yol açmaktadır. Kohezyonsuz durumda 1.25 olan güvenlik sayısı düşük sayılabilecek 10 kPa kohezyon durumunda yaklaşık iki katına çıkmaktadır. Bu şartlarda tasarlanmış şevlerde beklenmedik göçmeler meydana gelebilmektedir. Bu nedenle şev stabilite analizlerinde zemin koşullarına uygun parametreler seçilmelidir.

KAYNAKÇA

- Baker, R. (2004). Nonlinear Mohr envelopes based on triaxial data. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 130(5), 498-506.
- Barton, N. (1976). The shear strength of rock and rock joints. In *International Journal of rock mechanics and mining sciences & Geomechanics abstracts* (Vol. 13, No. 9, pp. 255-279). Pergamon.
- Barton, N., & Choubey, V. (1977). The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock mechanics*, 10(1), 1-54.
- Charles, J. A., & Soares, M. M. (1984). The stability of slopes in soils with nonlinear failure envelopes. *Canadian Geotechnical Journal*, 21(3), 397-406.
- Charles, J. A., & Watts, K. S. (1980). The influence of confining pressure on the shear strength of compacted rockfill. *Geotechnique*, 30(4), 353-367.
- Chen, W. F., & Liu, X. L. (1990). *Limit analysis in soil mechanics*. Amsterdam: Elsevier Science.
- Collins, I. F., Gunn, C. I. M., Pender, M. J., & Yan, W. (1988). Slope stability analyses for materials with a non-linear failure envelope. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 12(5), 533-550.
- Das, B. M. (2021). *Principles of geotechnical engineering*. 7th ed. Stamford, CT: Cengage Learning
- Dawson, E. M., Roth, W. H., & Drescher, A. (1999). Slope stability analysis by strength reduction. *Geotechnique*, 49(6), 835-840.
- De Mello, V. F. (1977). Reflections on design decisions of practical significance to embankment dams. *Geotechnique*, 27(3), 281-355.
- Duncan, J. M. (1996). State of the art: limit equilibrium and finite-element analysis of slopes. *Journal of Geotechnical engineering*, 122(7), 577-596.
- Fannin, R. J., Eliadorani, A., & Wilkinson, J. M. T. (2005). Shear strength of cohesionless soils at low stress. *Geotechnique*, 55(6), 467-478.
- Gökçe, O., Özden, Ş., & Demir, A. (2008). Türkiye’de afetlerin mekansal ve istatistiksel dağılımı afet bilgileri envanteri. *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü*.
- Grahn, T., & Jaldell, H. (2017). Assessment of data availability for the development of landslide fatality curves. *Landslides*, 14(3), 1113-1126.
- Hoek, E., & Bray, J. D. (1981). *Rock slope engineering*. London: The Institution of Mining and Metallurgy, London.
- Hosseini, S. M. R., & Jesmani, M. (2014). Effect of normal stress and relative compaction on secant friction angle of sands. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 38(3), 382-391
- Lefebvre, G. (1981). Fourth Canadian Geotechnical Colloquium: Strength and slo-

- pe stability in Canadian soft clay deposits. *Canadian Geotechnical Journal*, 18(3), 420-442.
- Lefebvre, G. (1981). Fourth Canadian Geotechnical Colloquium: Strength and slope stability in Canadian soft clay deposits. *Canadian Geotechnical Journal*, 18(3), 420-442.
- Liu, C., & Evett, J. B. (2008). *Soils and foundations*. 7th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Maksimovic, M. (1989). Nonlinear failure envelope for soils. *Journal of Geotechnical Engineering*, 115(4), 581-586.
- Nobari, E. S., & Duncan, J. M. (1972). Effect of Reservoir Filling on Stresses and Movement in Earth and Rockfill Dams. A Report of an Investigation. California Univ Berkeley Coll of Engineering.
- Steward, T., Sivakugan, N., Shukla, S. K., & Das, B. M. (2011). Taylor's slope stability charts revisited. *International Journal of Geomechanics*, 11(4), 348-352.
- Taşkıran, T., Yavuz, V. S., & Keskin, M. S. (2015). Şev stabilitesinin iki ve üç boyutlu modeller ile incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 6(1), 1-8.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1948). *Soil mechanics in engineering practice*. John Wiley & Sons. Sons, Inc., New York.
- Zoback, M. D., & Byerlee, J. D. (1976). Effect of high-pressure deformation on permeability of Ottawa sand. *AAPG Bulletin*, 60(9), 1531-1542.



BÖLÜM 18

BIG DATA PROCESSİNG MODEL AND DATA MİNİNG

Engin OĞUZAY¹

¹ Maltepe Üniversitesi, Computer Programming Department, University of Maltepe enginoguzay@maltepe.edu.tr

1 GİRİŞ

Büyük Veri çağında yaşıyoruz [13]. Her gün 2,5 kentilyon bayt veri oluşturulmakta ve bugün dünyadaki verilerin yüzde 90'ı son birkaç sene içinde üretilmiştir [12]. Veri üretme kabiliyetimiz, 19.yüzyılın başlarında bilgi teknolojisinin icadından bu yana hiç bu kadar güçlü ve muazzam olmamıştı. Başka bir örnek olarak, 2012'de, Başkan Barack Obama ve Vali Mitt Romney arasındaki ilk başkanlık tartışması 2 saat içinde 10 milyondan fazla tweet'i tetikledi [20]. Tüm bu tweet'ler arasında, en çok tartışmaya neden olan belirli anlar, sağlık hizmetleri ve kuponlar. Bu tür çevrimiçi tartışmalar, halkın çıkarlarını algılamak ve gerçek zamanlı geri bildirim üretmek için yeni bir yol sağlar ve çoğunlukla radyo veya TV yayıncılığı gibi jenerik medyaya kıyasla daha çekicidir. Başka bir örnek, herkese açık bir resim paylaşım sitesi olan Flickr'dır.

Günde ortalama 1,8 milyon fotoğraf ve her fotoğrafın boyutunun 2 megabayt (MB) fazla tweet'i tetikledi. Bu, her gün 3,6 terabayt (TB) depolama alanı gerektirir. Aslında, eski bir sözün ifade ettiği gibi: "bir resim bin kelimeye bedeldir", Flickr'daki milyarlarca resim, insan toplumunu, sosyal olayları, kamu işlerini, felaketleri vb. keşfetmemiz için bir hazine deposudur.

Yukarıdaki örnekler, veri toplamının muazzam bir şekilde büyüdüğü ve yaygın olarak kullanılan yazılım araçlarının "tolere edilebilir bir geçen süre" içinde yakalama, yönetme ve işleme yeteneğinin ötesinde olduğu Büyük Veri uygulamalarının yükselişini göstermektedir. Büyük Veri uygulamaları için en temel zorluk, büyük hacimli verileri keşfetmek ve gelecekteki eylemler için yararlı bilgiler veya bilgiler elde etmektir [17]. Pek çok durumda, bilgi çıkarma sürecinin çok verimli ve gerçek zamana yakın olması gerekir çünkü gözlemlenen tüm verilerin depolanması neredeyse imkansızdır. Sonuç olarak, benzeri görülmemiş veri hacimleri, bu tür Büyük Veriler için hızlı yanıt ve gerçek zamanlı sınıflandırma elde etmek için etkili bir veri analizi ve tahmin platformu gerektirir.

Makalenin geri kalanı aşağıdaki gibi yapılandırılmıştır:

Bölüm 2, Büyük Veri özelliklerini modellemek için bir HACE teoremi anlatılmaktadır.

Bölüm 3 ve Bölüm 4'de temel zorluklar ve ilgili çalışmalar özetlenmektedir:



Şekil 1. Kör adamlar ve dev fil: her kör adamın yerelleştirilmiş (sınırlı) görünümü önyargılı bir sonuca götürür.

2. BÜYÜK VERİ ÖZELLİKLERİ: HACE TEOREMİ

HACE Teoremi. Büyük Veri, dağıtılmış ve merkezi olmayan kontrole sahip büyük hacimli, heterojen, özerk kaynaklarla başlar ve veriler arasındaki karmaşık ve gelişen ilişkileri keşfetmeye çalışır. Bu özellikler, Büyük Veriden yararlı bilgileri keşfetmeyi son derece zor hale getirir. Saf bir anlamda, bir dizi kör adamın dev bir fili boyutlandırmaya çalıştığını hayal edebiliriz (Şekil 1), bu bağlamda Büyük Veri olacak. Her kör erkeğin amacı, işlem sırasında topladığı bilgi kısmına göre filin bir resmini (veya sonucunu) çizmektir. Her bir kişinin görüşü kendi yerel bölgesi ile sınırlı olduğundan, kör adamların her birinin bağımsız olarak fili bir ip, hortum veya duvar gibi “hissettiği” sonucuna varması şaşırtıcı değildir. Sorunu daha da karmaşık hale getirmek için, 1) filin hızla büyüdüğünü ve duruşunun sürekli değiştiğini ve 2) her kör adamın, kendisine önyargılı bilgi veren kendi (olası güvenilmez ve yanlış) bilgi kaynaklarına sahip olabileceğini varsayalım. Fil hakkında bilgi (örneğin, bir kör adam fil hakkındaki duygularını başka bir kör adamla değiş tokuş edebilir, burada bilgi alış verışı doğası gereği önyargılıdır). Bu senaryoda Büyük Veriyi keşfetmek, filin gerçek hareketini gerçek zamanlı olarak ortaya çıkarmak için mümkün olan en iyi resmi çizmeye yardımcı olmak için farklı kaynaklardan (kör adamlar) gelen heterojen bilgileri bir araya getirmeye eşdeğerdir. Aslında, bu görev, her bir kör adamdan fil hakkındaki duygularını tarif etmesini istemek ve ardından bir uzmanın, her bireyin farklı bir dil konuşabileceğine ilişkin tek bir resmi tek bir resim çizmesini sağlamak kadar basit değildir ve bilgi alışverişi sürecinde kasıtlı olarak aldıkları mesajlarla ilgili gizlilik endişeleri bile olabilir.

Heterojen ve Farklı Boyutlarla Büyük Veriler

Büyük Verinin temel özelliklerinden biri, heterojen ve çeşitli boyutlar. Bunun nedeni, farklı bilgi toplayıcıların veri kaydı için kendi şemalarını veya protokollerini tercih etmeleridir ve farklı uygulamaların doğası da çeşitli veri temsilleriyle sonuçlanır. Örneğin,

biyomedikal bir dünyadaki her bir insan, cinsiyet, yaş, aile hastalığı geçmişi vb. gibi basit demografik bilgiler kullanılarak temsil edilebilir. Her bireyin röntgen muayenesi ve taraması için, sonuçları temsil etmek için görüntüler veya videolar kullanılır, çünkü doktorlara detaylı muayeneler yapmaları için görsel bilgiler sağlarlar. DNA veya genomik ile ilgili bir test için, mikro dizi ifade görüntüleri ve dizileri, genetik kod bilgisini temsil etmek için kullanılır, çünkü mevcut tekniklerimizin verileri elde etme yolu budur. Bu koşullar altında, heterojen özellikler, aynı bireyler için farklı temsil türlerine atıfta bulunur ve çeşitli özellikler, her bir gözlemi temsil etmek için dahil edilen özelliklerin çeşitliliğine atıfta bulunur.

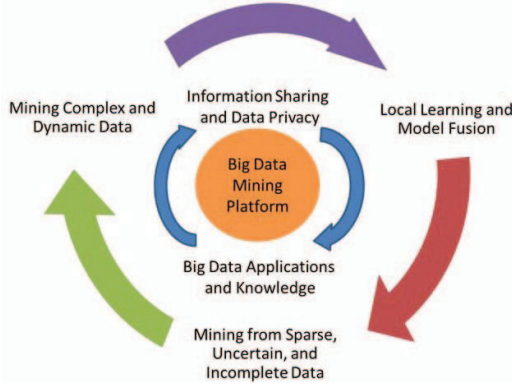
Dağıtılmış ve Merkezi Olmayan Kontrollü Otonom Kaynaklar

Dağıtılmış ve merkezi olmayan kontrollere sahip özerk veri kaynakları, Büyük Veri uygulamalarının temel bir özelliğidir. Dağıtılmış ve merkezi olmayan kontrollere sahip otonom veri kaynakları, Büyük Veri uygulamalarının temel bir özelliğidir. Özerk olan her veri kaynağı, herhangi bir merkezi kontrolü dahil etmeden (veya bunlara güvenmeden) bilgi üretebilir ve toplayabilir. Bu, her web sunucusunun belirli bir miktarda bilgi sağladığı ve her sunucunun diğer sunuculara bağlı olmaksızın tam olarak çalışabildiği World Wide Web (WWW) ayarına benzer. Google, Flickr, Facebook ve Walmart gibi Büyük Veri ile ilgili büyük uygulamalar için, yerel pazarlar için kesintisiz hizmetler ve hızlı yanıtlar sağlamak için dünyanın her yerinde çok sayıda sunucu çiftliği konuşlandırılmıştır. Bu tür özerk kaynaklar sadece teknik tasarımların çözümleri değil, aynı zamanda farklı ülke / bölgelerdeki mevzuat ve düzenleme kurallarının sonuçlarıdır. Örneğin, Walmart'ın Asya pazarları, mevsimsel promosyonlar, en çok satılan ürünler ve müşteri davranışları açısından Kuzey Amerika pazarlarından doğal olarak farklıdır. Daha spesifik olarak, yerel yönetim düzenlemeleri de toptan yönetim sürecini etkiler ve yerel pazarlar için yeniden yapılandırılmış veri temsilleri ve veri ambarları ile sonuçlanır.

Karmaşık ve Gelişen İlişkiler

Büyük Verinin hacmi artarken, karmaşıklık ve verinin altındaki ilişkiler de artıyor. Veri merkezileştirilmiş bilgi sistemlerinin erken bir aşamasında, her bir gözlemi temsil etmek için en iyi özellik değerlerinin bulunmasına odaklanılır. Bu, her bir bireyi karakterize etmek için yaş, cinsiyet, gelir, eğitim geçmişi vb. gibi bir dizi veri alanını kullanmaya benzer. Bu tür örnek-özellik temsili, doğası gereği her bireyi sosyal bağlantılarını dikkate almadan bağımsız bir varlık olarak ele alır ki bu, en önemli faktörlerden biridir. insan

toplumu. Arkadaş çevrelerimiz ortak hobilere göre oluşturulabilir veya insanlar biyolojik ilişkilerle birbirine bağlanır. Bu tür sosyal bağlantılar genellikle yalnızca günlük faaliyetlerimizde değil, aynı zamanda siber dünyalarda da çok popülerdir. Örneğin; Facebook veya Twitter gibi büyük sosyal ağ siteleri esas olarak arkadaş bağlantıları ve takipçiler (Twitter’da) gibi sosyal işlevlerle karakterize edilir. Bireyler arasındaki korelasyonlar, doğal olarak tüm veri temsilini ve veriler üzerindeki herhangi bir muhakeme sürecini karmaşıktırır.



Şekil 2. Bir Büyük Veri işleme çerçevesi: Araştırma zorlukları, üç katmanlı bir yapı oluşturur ve düşük seviyeli veri erişimi ve hesaplama odaklanan “Büyük Veri madenciliği platformu” (Seviye I) etrafında merkezlenir. Bilgi paylaşımı ve gizliliğiyle ilgili zorluklar ve üst düzey anlambilim, uygulama alanı bilgisi ve kullanıcı gizliliği konularına odaklanan Büyük Veri uygulama alanları ve bilgi formu Seviye II. En dıştaki daire, gerçek madencilik algoritmalarındaki Seviye III zorlukları gösterir.

3. BÜYÜK VERİLERLE VERİ MADENCİLİĞİ

Akıllı bir öğrenim veritabanı sisteminin Büyük Veriyi işleyebilmesi için temel anahtar, olağanüstü büyük veri hacmine kadar ölçeklendirmek ve yukarıda bahsedilen HACE teoreminin öne çıkardığı özellikler için işlemler sağlamaktır. Şekil 2; veri erişimi ve hesaplama (Seviye I), veri gizliliği ve alan bilgisi (Seviye II) ve Büyük Veri madenciliği algoritmaları (Seviye III).

Seviye I’deki zorluklar, veri erişimine odaklanır ve aritmetik hesaplama prosedürleri. Büyük Veri genellikle farklı yerlerde depolandığından ve veri hacimlerinde sürekli büyüyen etkili bir bilgi işlem platformu, bilgi işlem için dağıtılmış büyük ölçekli veri depolamayı dikkate almak zorunda kalacaktır. Örneğin, tipik veri madenciliği algoritmaları, tüm verilerin ana belleğe yüklenmesini gerektirir, ancak bu, Büyük Veri için açık bir teknik engel haline gelmektedir.

Seviye II'deki zorluklar, farklı Büyük Veri uygulamaları için anlambilim ve alan bilgisi etrafında odaklanır. Bu tür bilgiler, madencilik sürecine ek faydalar sağlayabileceği gibi, Büyük Veri erişimine ve madencilik algoritmalarına teknik engeller ekleyebilir. Örneğin, farklı etki alanı uygulamalarına bağlı olarak, veri üreticileri ile veri tüketicileri arasındaki veri gizliliği ve bilgi paylaşım mekanizmaları önemli ölçüde farklı olabilir. Su kalitesi izleme gibi uygulamalar için sensör ağ verilerinin paylaşılması tavsiye edilmezken, mobil kullanıcıların konum bilgilerinin yayınlanması ve paylaşılması, uygulamaların tümü olmasa da çoğunluğu için açıkça kabul edilemez. Seviye III'te veri madenciliği zorlukları, Büyük Veri hacimlerinin, dağıtılmış veri dağıtımlarının ve karmaşık ve dinamik veri özelliklerinin getirdiği zorlukların üstesinden gelmede algoritma tasarımlarına odaklanır. Seviye III'teki çember, üç aşama içerir. İlk olarak, seyrek, heterojen, belirsiz, eksik ve çok kaynaklı veriler, veri birleştirme teknikleriyle önceden işlenir. İkinci olarak, karmaşık ve dinamik veriler ön işlemeden sonra çıkarılır. Üçüncüsü, yerel öğrenme ve model füzyonu ile elde edilen küresel bilgi test edilir ve ilgili bilgiler ön işleme aşamasına geri gönderilir. Ardından geri bildirimle göre model ve parametreler ayarlanır. Tüm süreçte, bilgi paylaşımı sadece her aşamada sorunsuz bir gelişme vaadi değil, aynı zamanda Büyük Veri işlemenin bir amacıdır.

Seviye I: Büyük Veri Madenciliği Platformu

Tipik veri madenciliği sistemlerinde, madencilik prosedürleri, veri analizi ve karşılaştırmalar için hesaplama yoğun hesaplama birimleri gerektirir. Bu nedenle, bir bilgi işlem platformunun en az iki tür kaynağa verimli erişime sahip olması gerekir: veri ve bilgi işlem işlemcileri. Küçük ölçekli veri madenciliği görevleri için, sabit disk ve CPU işlemcileri içeren tek bir masaüstü bilgisayar yeterlidir.

Veri madenciliği hedeflerini gerçekleştirmek aslında, birçok veri madenciliği algoritması bu tür problem ayarları için tasarlanmıştır. Orta ölçekli veri madenciliği görevleri için, veriler tipik olarak büyüktür ve ana belleğe sığdırılamaz. Yaygın çözümler, farklı kaynaklardan verileri örneklemek ve toplamak için paralel hesaplama [18] veya toplu madenciliğe [6] dayanmak ve daha sonra madencilik sürecini yürütmek için paralel hesaplama programlamasını (Mesaj Geçiş Arayüzü gibi) kullanmaktır.

Seviye II: Büyük Veri Anlambilim ve Uygulama Bilgisi

Büyük Veri'deki anlam ve uygulama bilgisi, düzenlemeler, politikalar, kullanıcı bilgisi ve alan bilgisi ile ilgili çok sayıda yönü ifade eder. Bu aşamadaki en önemli iki konu şunları içerir: 1) veri

paylaşımı ve gizlilik; ve 2) alan ve uygulama bilgisi. İlki, verilerin nasıl korunduğu, erişildiği ve paylaşıldığı konusundaki endişeleri çözmek için yanıtlar sağlar; ikincisi ise “temelde yatan uygulamalar nelerdir?” ve “kullanıcıların verilerden keşfetmeyi amaçladığı bilgi veya kalıplar nelerdir?” gibi soruları yanıtlamaya odaklanır.

Bilgi Paylaşımı ve Veri Gizliliği

Bilgi paylaşımı, birden çok partiyi içeren tüm sistemler için nihai hedeftir [11]. Paylaşma motivasyonu açık olsa da, gerçek dünyadaki bir endişe, Büyük Veri uygulamalarının bankacılık işlemleri ve tıbbi kayıtlar gibi hassas bilgilerle ilgili olmasıdır. Basit veri alışverişi veya iletimleri gizlilik endişelerini çözmez [9]. Örneğin, insanların konumlar ve bunların tercihleri, çeşitli yararlı konuma dayalı hizmetleri etkinleştirebilir, ancak bir bireyin konumlarının / hareketlerinin zaman içinde kamuya açıklanmasının gizlilik açısından ciddi sonuçları olabilir. Gizliliği korumak için, iki yaygın yaklaşım şunlardır: 1) veri girişlerine sertifika veya erişim kontrolü eklemek gibi verilere erişimi kısıtlamak, böylece hassas bilgilere yalnızca sınırlı bir kullanıcı grubu erişebilir ve 2) hassas bilgiler bireysel bir kayda işaretlenemez [8]. İlk yaklaşım için, ortak zorluklar, hiçbir hassas bilginin yetkisiz kişiler tarafından kötüye kullanılamayacağı şekilde güvenli sertifikasyon veya erişim kontrol mekanizmaları tasarlamaktır. Verilerin anonimleştirilmesi için temel amaç, bir dizi gizlilik hedefini sağlamak için verilere rastgelelik katmaktır. Uygulamada bu gizliliği koruyan madencilik hedefi, aşağıdakileri içeren iki tür yaklaşımla çözülebilir:

1) Yao’nunki gibi özel iletişim protokollerini kullanarak protokol [25], her bir kaydın gerçek değerlerini talep etmek yerine tüm veri setinin dağıtımını talep etmek veya 2) anonim verilerden bilgi elde etmek için özel veri madenciliği yöntemleri tasarlamak.

Alan ve Uygulama Bilgisi

Etki alanı ve uygulama bilgisi, Büyük Veri madenciliği algoritmalarını ve sistemlerini tasarlamak için gerekli bilgileri sağlar. Basit bir durumda, alan bilgisi, altta yatan verileri modellemek için doğru özelliklerin belirlenmesine yardımcı olabilir (örneğin, kan şekeri seviyesi, Tip II diyabet teşhisinde vücut kütlesinden açıkça daha iyi bir özelliktir). Etki alanı ve uygulama bilgisi, Büyük Veri analitik tekniklerini kullanarak ulaşılabilir iş hedeflerinin tasarlanmasına da yardımcı olabilir. Örneğin, borsa verileri, her saniyede teklifler, satın almalar ve satışlar gibi sürekli olarak büyük miktarda bilgi üreten tipik bir etki alanıdır. Piyasa sürekli olarak genişir ve yerel ve uluslararası haberler, hü-

kümet raporları ve doğal afetler gibi farklı faktörlerden etkilenir. Çekici bir Büyük Veri madenciliği görevi, önümüzdeki bir veya iki dakika içinde pazarın hareketini tahmin etmek için bir Büyük Veri madenciliği sistemi tasarlamaktır. Bu tür sistemler, tahmin doğruluğu rastgele tahminden biraz daha iyi olsa bile, geliştiricilere önemli iş değerleri getirecektir. Doğru alan bilgisi olmadan, piyasa hareketini karakterize etmek için etkili matrisler / ölçüler bulmak açık bir zorluktur ve bu tür bilgiler genellikle veri madencilerinin aklının ötesindedir, ancak son zamanlarda yapılan bazı araştırmalar, Twitter gibi sosyal ağları kullanmanın, Hisse senedi piyasasının yukarı / aşağı trendlerin iyi bir doğrulukla tahmin etmek mümkündür.

Seviye III: Büyük Veri Madenciliği Algoritmaları

Çoklu Bilgi Kaynakları için Yerel Öğrenme

Büyük Veri uygulamaları, otonom kaynaklar ve merkezi olmayan kontrollerle öne çıkarıldığından, dağıtılmış veri kaynaklarının madencilik için merkezi bir sitede toplanması, potansiyel iletim maliyeti ve gizlilik endişeleri nedeniyle sistematik olarak engel teşkil eder. Öte yandan, her bir dağıtılmış sahada her zaman madencilik faaliyetleri yürütebiliyor olsak da, her sahada toplanan verilerin önyargılı görünümü, tıpkı fil ve kör adamlar vakası gibi, genellikle önyargılı kararlara veya modellere yol açar. Böyle bir durumda, bir Büyük Veri madenciliği sistemi, tüm dağıtılmış sitelerin (veya bilgi kaynaklarının) küresel bir optimizasyon hedefine ulaşmak için birlikte çalışabilmesini sağlamak için bir bilgi alışverişi ve füzyon mekanizmasını etkinleştirmelidir. Model madenciliği ve korelasyonlar, birden fazla bilgi kaynağından keşfedilen modellerin veya modellerin küresel madencilik hedefini karşılamak için temel adımlardır. Model veya model seviyesinde, her saha yerel kalıpları keşfetmek için yerelleştirilmiş verilere göre yerel madencilik faaliyetleri yürütebilir. Birden fazla kaynak arasında model alışverişi yaparak, tüm sitelerdeki modelleri bir araya getirerek yeni küresel modeller sentezlenebilir [22].

Seyrek, Belirsiz ve Eksik Verilerden Madencilik

Yedek, belirsiz ve eksik veriler, Büyük Veri uygulamaları için özellikleri tanımlar. Seyrek olduğundan, veri noktalarının sayısı güvenilir sonuçlar çıkarmak için çok azdır. Belirsiz veriler, her veri alanının artık deterministik olmadığı, ancak bazı rasgele / hata dağılımlarına tabi olduğu özel bir veri gerçekliği türüdür. Bu, esas olarak hatalı veri okumaları ve koleksiyonları olan alana özgü uygulamalarla bağlantılıdır. Örneğin, GPS ekipmanından üretilen ve-

riler doğası gereği belirsizdir, çünkü esas olarak cihazın teknoloji engeli, verilerin hassasiyetini belirli seviyelerle (1 metre gibi) sınırlandırır. Sonuç olarak, her biri kayıt yeri, bir ortalama değer artı beklenen hataları belirtmek için bir varyans ile temsil edilir. Veri gizliliği ile ilgili uygulamalar için [16], kullanıcılar anonim kalmak için kasıtlı olarak verilere rasgelelik / hatalar ekleyebilir.

Belirsiz veriler için en büyük zorluk, her veri ögesinin tek bir değer olarak değil, örnek dağılımlar olarak temsil edilmesidir, bu nedenle mevcut veri madenciliği algoritmalarının çoğu doğrudan uygulanamaz. Yaygın çözümler, model parametrelerini tahmin etmek için veri dağılımlarını dikkate almaktır.

Örneğin, hataya duyarlı veri madenciliği [21], sınıflandırma için bir Bayes modeli oluşturmada her bir veri ögesine ilişkin ortalama ve varyans değerlerini kullanır. Karar ağaçları veya veritabanı sorguları için de benzer yaklaşımlar uygulanmıştır. Eksik veriler, bazı örnekler için veri alanı değerlerinin eksikliğine işaret eder. Eksik değerler, bir sensör düğümünün arızalanması gibi farklı gerçeklerden veya bazı değerleri kasıtlı olarak atlamak için bazı sistematik politikalardan (örneğin, iletim için güç tasarrufu sağlamak için bazı sensör düğümü okumalarını düşürmek) neden olabilir. Modern veri madenciliği algoritmalarının çoğu, eksik değerleri ele almak için yerleşik çözümlere sahipken (eksik değerlere sahip veri alanlarını göz ardı etmek gibi), veri isnatımı, gelişmiş modeller üretmek için eksik değerleri hesaplama-ya çalışan yerleşik bir araştırma alanıdır.

Madencilik Karmaşık ve Dinamik Veriler

Büyük Verinin yükselişi, karmaşık verilerin hızla artması ve bunların hacim ve doğadaki değişimlerinden kaynaklanmaktadır. WWW sunucularında, internet omurgalarında, sosyal ağlarda, iletişim ağlarında ve ulaşım ağlarında vb. yayınlanan belgelerin tümü karmaşık veriler içerir. Verilerin altındaki karmaşık bağımlılık yapıları, öğrenme sistemlerimiz için zorluğu artırırken, aynı zamanda basit veri temsillerinin başaramadığı heyecan verici fırsatlar da sunar. Örneğin, araştırmacılar, depresyon ve büyük sosyal etkinlikler gibi olayları neredeyse gerçek zamanlı hızda ve çok yüksek doğrulukla tespit etmek için iyi bilinen bir sosyal ağ sitesi olan Twitter'ı başarıyla kullandılar. Karmaşık verileri kullanmak, Büyük Veri uygulamaları için büyük bir zorluktur, çünkü karmaşık bir ağdaki herhangi iki taraf, sosyal bir bağlantıyla potansiyel olarak birbirleriyle ilgilenir. Böyle bir bağlantı ağdaki düğüm sayısına göre ikinci derecedendir, bu nedenle bir milyon düğüm ağı bir trilyon bağlantıya tabi olabilir.

Yalnızca büyük miktarda yapılandırılmış veriyle karşı karşıya kalırlarsa, kullanıcılar sorunu daha fazla depolama alanı satın alarak veya depolama verimliliğini artırarak çözebilirler. Bununla birlikte, Büyük Veri karmaşıklığı, karmaşık heterojen veri türleri, verilerdeki karmaşık içsel anlamsal ilişkiler ve veriler arasındaki karmaşık ilişki ağları dahil olmak üzere birçok yönden temsil edilir. Başka bir deyişle, Büyük Verinin değeri karmaşıklığındadır.

Karmaşık heterojen veri türleri

Büyük Veri’de veri türleri, yapılandırılmış verileri, yapılandırılmamış verileri ve yarı yapılandırılmış verileri vb. içerir. Özellikle, tablo verileri (ilişkisel veritabanları), metin, hiper metin, görüntü, ses ve video verileri vb. Vardır. Mevcut veri modelleri, bu veri modellerinin karmaşıklığına göre artan sırada listelenen anahtar-değer depolarını, büyük tablo klonlarını, belge veritabanlarını ve grafik veritabanlarını içerir. Geleneksel veri modelleri, Büyük Veri bağlamında karmaşık verileri işleyemez. Şu anda, Büyük Veriyi işlemek için kabul edilmiş etkili ve verimli bir veri modeli bulunmamaktadır.

Verilerdeki karmaşık içsel anlamsal ilişkiler

Web’deki haberler, Twitter’daki yorumlar, Flickr’daki resimler ve YouTube’daki video klipleri aynı zamanda akademik ödüllü bir etkinlik hakkında tartışabilir. Hiç şüphe yok ki bu verilerde güçlü anlamsal ilişkiler var. “Metin-görüntü-video” verilerinden karmaşık anlamsal ilişkilendirmeler yapmak, arama motorları veya öneri sistemleri gibi uygulama sistemi performansının iyileştirilmesine önemli ölçüde yardımcı olacaktır. Bununla birlikte, Büyük Veri bağlamında, semantik özellikleri verimli bir şekilde tanımlamak ve çeşitli heterojen veri kaynaklarının anlamsal boşluğunu kapatmak için anlamsal ilişki modelleri oluşturmak büyük bir zorluktur.

Büyük Veri, bireyler arasında ilişkiler vardır. İnternette bireyler web sayfalarıdır ve birbirlerine köprüler aracılığıyla bağlanan sayfalar karmaşık bir ağ oluşturur. Facebook, Twitter, LinkedIn ve diğer sosyal medyadan [4], [7] büyük ilişki verileri gibi karmaşık sosyal ağlar oluşturan bireyler arasında, çağrı detay kayıtları, cihazlar ve sensör bilgileri [1], [19], GPS ve coğrafi kodlu harita verileri, dosya aktarımını yönet protokolü tarafından aktarılan büyük görüntü dosyaları, web metni ve tıklama akışı verileri [2], bilimsel bilgiler, e-posta [14] ve benzeri üzerinde. Karmaşık ilişki ağlarıyla başa çıkmak için ortaya çıkan araştırma çabaları, yapı ve evrim, kalabalıklar ve etkileşim ve bilgi ve iletişim konuları.

4. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Büyük Veri Madenciliği Platformları (Kademe I)

Dağıtılmış bir ortamda yer alan uygulama verilerinin çok kaynaklı, büyük, heterojen ve dinamik özellikleri nedeniyle, Büyük Verinin en önemli özelliklerinden biri, petabayt (PB), hatta eksabayt (EB) düzeyinde hesaplama yapmaktır. karmaşık bir bilgi işlem sürecine sahip veriler. Bu nedenle, dağıtılmış verileri verimli bir şekilde analiz etmek ve incelemek için paralel bir bilgi işlem alt-yapısı, ona karşılık gelen programlama dili desteği ve yazılım modellerini kullanmak, Büyük Veri işlemenin “nicelikten” “kaliteye” geçmesi için kritik hedeflerdir.

Şu anda, Büyük Veri işleme, esas olarak MapReduce gibi paralel programlama modellerine bağlı olmanın yanı sıra, halk için Büyük Veri hizmetleri için bir bulut bilişim platformu sağlamaya dayanmaktadır. MapReduce, toplu iş odaklı bir paralel hesaplama modelidir. İlişkisel veri tabanlarının performansında hala belli bir boşluk var. MapReduce’un performansını iyileştirmek ve büyük ölçekli veri işlemenin gerçek zamanlı doğasını geliştirmek, birçok makine öğrenimi ve veri madenciliği algoritmasına uygulanan MapReduce paralel programlamasıyla önemli miktarda ilgi gördü. Veri madenciliği algoritmalarının genellikle model parametrelerini çözmek veya optimize etmek için istatistik elde etmek için eğitim verilerini taraması gerekir. Büyük ölçekli verilere sık sık erişmek için yoğun bilgi işlem gerektirir.

Büyük Veri Semantiği ve Uygulama Bilgisi

Büyük verilerin gizliliğinin korunmasında Ye ve arkadaşları [26], farklı genelleme seviyelerinin ürettiği taneciklik değişikliğini doğru bir şekilde tanımlayabilen ve anonimleştirme sürecindeki veri etkinliği kriterlerini ölçmek için teorik bir temel sağlayan çok katmanlı bir kaba küme modeli önerdi ve gizlilik ile veri kullanımını dengelemek için dinamik bir mekanizma tasarladı. Sınıflandırma için optimal genelleme/iyileştirme sırasını çözmek için Büyük Veride gizliliğin korunmasına ilişkin yakın tarihli bir makale [3], toplama , gizleme (yani, hassas değerlerin silinmesi), veriler dahil olmak üzere, kamuya açık verileri korumaya yönelik bir dizi yöntemi özetlemektedir.

Ortak çözümler, verileri korumak için bazı gizliliği koruyan yaklaşımlara veya şifreleme mekanizmalarına güvenmektir. Lorch ve arkadaşları [15], kullanıcıların “veri erişim modellerinin” de ciddi veri gizliliği sorunlarına sahip olabileceğini ve coğrafi olarak aynı konumdaki kullanıcıların veya ortak ilgi

alanlarına sahip kullanıcıların ifşa edilmesine yol açabileceğini belirtir. Sistemlerinden kullanıcıların sunuculardan gelen veri erişim modelleri sanal diskler kullanılarak gizlenir. Sonuç olarak, kullanıcı gizliliğinden ödün vermeden mikroblog arama ve sosyal ağ sorguları gibi çeşitli Büyük Veri uygulamalarını destekleyebilir.

Büyük Veri Madenciliği Algoritmaları

Çok kaynaklı, dinamik Büyük Veriye uyum sağlamak için araştırmacılar, tek kaynaklı bilgi keşif yöntemlerinin verimliliğinin artırılması [5] ve çok kaynaklı bir perspektiften bir veri madenciliği mekanizması tasarlama [22] dahil olmak üzere mevcut veri madenciliği yöntemlerini birçok yönden genişlettiler [23]. Büyük verilerden bilgi keşfetmenin ana motivasyonu, tek kaynaklı madencilik yöntemlerinin verimliliğini artırmaktır. Wu [22], çok kaynaklı veri madenciliğinde küresel bilgi keşfi için bir temel oluşturan yerel model analizi teorisini önerdi ve kurdu. Bu teori, yalnızca tam arama sorununa değil, aynı zamanda geleneksel madencilik yöntemlerinin bulamadığı küresel modelleri bulmak için de bir çözüm sağlar. Veri işlemenin yerel örüntü analizi, merkezi bilgi işlem gerçekleştirmek için farklı veri kaynaklarını bir araya getirmekten kaçınılabilir.

Veri akışları finansal analizde, çevrimiçi ticarete, tıbbi testlerde vb. yaygın olarak kullanılmaktadır. Statik bilgi keşif yöntemleri, süreklilik, değişkenlik, hız ve sonsuzluk gibi dinamik veri akışlarının özelliklerine uyum sağlayamaz ve kolayca yararlı bilgilerin kaybına yol açabilir. Bu nedenle, veri akışı madenciliğini desteklemek için etkili teorik ve teknik çerçevelere ihtiyaç vardır.

5. SONUÇLAR

Gerçek dünya uygulamaları ve önemli endüstriyel paydaşlar tarafından yönlendirilen ve ulusal finansman kurumları tarafından başlatılan Büyük Veri'yi yönetmek ve madenciliği yapmak, zorlu ama çok zorlayıcı bir görev olduğunu göstermiştir. Büyük Veri terimi kelimenin tam anlamıyla veri hacimleriyle ilgili olsa da, HACE teoremi, Büyük Verinin temel özelliklerinin 1) heterojen ve çeşitli veri kaynaklarıyla çok büyük olduğunu, 2) dağıtılmış ve merkezi olmayan kontrol ile özerk ve 3) veri ve bilgi ilişkilerinde karmaşık ve gelişen. Bu tür birleştirilmiş özellikler, Büyük Veri'nin verileri maksimum değerler için birleştirmek için "büyük bir zihin" gerektirdiğini göstermektedir.

Büyük Veriyi keşfetmek için veri, model ve sistem seviyelerinde çeşitli zorlukları analiz ettik. Büyük Veri madenciliğini destek-

lemek için, Büyük Verinin tüm gücünü ortaya çıkarmak için sistematik tasarımlar uygulayan yüksek performanslı bilgi işlem platformları gereklidir. Veri düzeyinde, özerk bilgi kaynakları ve veri toplama ortamlarının çeşitliliği, genellikle eksik / belirsiz değerler gibi karmaşık koşullara sahip verilerle sonuçlanır. Diğer durumlarda, değiştirilmiş veri kopyaları üretmek için verilere gizlilikle ilgili endişeler, gürültü ve hatalar eklenebilir. Güvenli ve sağlam bir bilgi paylaşım prosedürü geliştirmek büyük bir zorluktur. Model düzeyinde temel zorluk, yerel olarak keşfedilen kalıpları birleştirerek birleştirici bir görünüm oluşturarak küresel modeller oluşturmaktır. Bu, dağıtılmış siteler arasındaki model korelasyonlarını analiz etmek için dikkatlice tasarlanmış algoritmalar ve Büyük Veriden en iyi modeli elde etmek için birden fazla kaynaktan alınan kararları birleştirir. Sistem düzeyinde temel zorluk, bir Büyük Veri madenciliği çerçevesinin zaman ve diğer olası faktörlerle gelişen değişiklikleri ile birlikte örnekler, modeller ve veri kaynakları arasındaki karmaşık ilişkileri dikkate alması gerektiğidir. Bir sistemin dikkatli bir şekilde tasarlanması gerekir, böylece yapılandırılmamış veriler, karmaşık ilişkiler aracılığıyla faydalı modeller oluşturacak şekilde bağlanabilir ve veri hacimlerinin ve öge ilişkilerinin büyümesi, eğilimi ve geleceği tahmin etmek için meşru modeller oluşturmaya yardımcı olmalıdır.

Büyük Veriyi yükselen bir trend ve ihtiyaç olarak görüyoruz. Büyük Veri madenciliği için tüm bilim ve mühendislik alanlarında ortaya çıkmaktadır. Büyük Veri teknolojileri ile, toplumumuzu gerçek zamanlı olarak daha iyi anlamak için en alakalı ve en doğru sosyal algılama geri bildirimini sağlayabileceğimizi umuyoruz. Toplumsal ve ekonomik olaylar için veri üretim döngüsüne kamu izleyicilerinin katılımını daha da teşvik edebiliriz.

REFERENCES

- [1] R. Ahmed and G. Karypis, “Algorithms for Mining the Evolution of Conserved Relational States in Dynamic Networks,” *Knowledge and Information Systems*, vol. 33, no. 3, pp. 603-630, Dec. 2012.
- [2] M.H. Alam, J.W. Ha, and S.K. Lee, “Novel Approaches to Crawling Important Pages Early,” *Knowledge and Information Systems*, vol. 33, no. 3, pp 707-734, Dec. 2012.
- [3] A. Machanavajjhala and J.P. Reiter, “Big Privacy: Protecting Confidentiality in Big Data,” *ACM Crossroads*, vol. 19, no. 1, pp. 20-23, 2012.
- [4] S. Banerjee and N. Agarwal, “Analyzing Collective Behavior from Blogs Using Swarm Intelligence,” *Knowledge and Information Systems*, vol. 33, no. 3, pp. 523-547, Dec. 2012.
- [5] E.Y. Chang, H. Bai, and K. Zhu, “Parallel Algorithms for Mining Large-Scale Rich-Media Data,” *Proc. 17th ACM Int’l Conf. Multimedia*, (MM ’09,) pp. 917-918, 2009.
- [6] R. Chen, K. Sivakumar, and H. Kargupta, “Collective Mining of Bayesian Networks from Distributed Heterogeneous Data,” *Knowledge and Information Systems*, vol. 6, no. 2, pp. 164-187, 2004.
- [7] Y.-C. Chen, W.-C. Peng, and S.-Y. Lee, “Efficient Algorithms for Influence Maximization in Social Networks,” *Knowledge and Information Systems*, vol. 33, no. 3, pp. 577-601, Dec. 2012.
- [8] G. Cormode and D. Srivastava, “Anonymized Data: Generation, Models, Usage,” *Proc. ACM SIGMOD Int’l Conf. Management Data*, pp. 1015-1018, 2009.
- [9] G. Duncan, “Privacy by Design,” *Science*, vol. 317, pp. 1178-1179, 2007.
- [10] D. Gillick, A. Faria, and J. DeNero, *MapReduce: Distributed Computing for Machine Learning*, Berkley, Dec. 2006.
- [11] D. Howe et al., “Big Data: The Future of Biocuration,” *Nature*, vol. 455, pp. 47-50, Sept. 2008.
- [12] “IBM What Is Big Data: Bring Big Data to the Enterprise,” [http:// www-01.ibm.com/software/data/bigdata/](http://www-01.ibm.com/software/data/bigdata/), IBM, 2012.
- [13] A. Labrinidis and H. Jagadish, “Challenges and Opportunities with Big Data,” *Proc. VLDB Endowment*, vol. 5, no. 12, 2032-2033, 2012.
- [14] W. Liu and T. Wang, “Online Active Multi-Field Learning for Efficient Email Spam Filtering,” *Knowledge and Information Systems*, vol. 33, no. 1, pp. 117-136, Oct. 2012.
- [15] J. Lorch, B. Parno, J. Mickens, M. Raykova, and J. Schiffman, “Shoroud: Ensuring Private Access to Large-Scale Data in the Data Center,” *Proc. 11th USENIX Conf. File and Storage Technologies (FAST ’13)*, 2013.

- [16] T. Mitchell, "Mining our Reality," *Science*, vol. 326, pp. 1644-1645, 2009.
- [17] A. Rajaraman and J. Ullman, *Mining of Massive Data Sets*. Cambridge Univ. Press, 2011.
- [18] J. Shafer, R. Agrawal, and M. Mehta, "SPRINT: A Scalable Parallel Classifier for Data Mining," *Proc. 22nd VLDB Conf.*, 1996.
- [19] A. da Silva, R. Chiky, and G. He'brail, "A Clustering Approach for Sampling Data Streams in Sensor Networks," *Knowledge and Information Systems*, vol. 32, no. 1, pp. 1-23, July 2012.
- [20] "Twitter Blog, Dispatch from the Denver Debate," <http://blog.twitter.com/2012/10/dispatch-from-denver-debate.html>, Oct. 2012.
- [21] X. Wu and X. Zhu, "Mining with Noise Knowledge: Error-Aware Data Mining," *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, Part A*, vol. 38, no. 4, pp. 917-932, July 2008.
- [22] X. Wu and S. Zhang, "Synthesizing High-Frequency Rules from Different Data Sources," *IEEE Trans. Knowledge and Data Eng.*, vol. 15, no. 2, pp. 353-367, Mar./Apr. 2003.
- [23] X. Wu, C. Zhang, and S. Zhang, "Database Classification for Multi-Database Mining," *Information Systems*, vol. 30, no. 1, pp. 71-88, 2005.
- [24] X. Wu, K. Yu, W. Ding, H. Wang, and X. Zhu, "Online Feature Selection with Streaming Features," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 35, no. 5, pp. 1178-1192, May 2013.
- [25] A. Yao, "How to Generate and Exchange Secretes," *Proc. 27th Ann. Symp. Foundations Computer Science (FOCS) Conf.*, pp. 162-167, 1986.
- [26] M. Ye, X. Wu, X. Hu, and D. Hu, "Anonymizing Classification Data Using Rough Set Theory," *Knowledge-Based Systems*, vol. 43, pp. 82-94, 2013.