

# DOĞA VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİNDE GÜNCEL TARTIŞMALAR

# 4

HİKMET Y. ÇOĞUN  
ZEYNEL KARACAGİL  
SUNA KIZILYILDIRIM



Bütün Yayın Hakları Saklıdır

Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

ISBN: 978-625-7799-55-3

1.Baskı

2022

Doğa ve Mühendislik Bilimlerinde Güncel Tartışmalar 4

Türkçe ve İngilizce yayın hakları Bilgin Kültür Sanat Yayın Dağıtım Pazarlama Ltd. Şti.'e aittir. Fikir ve sanat eserleri yasası gereğince yazılı izin alınmadan kısmen ya da tamamen alıntı yapılamaz, hiçbir şekilde kopya edilemez, çoğaltılamaz ve yayımlanamaz.

#### **Editörler**

Hikmet Y. ÇOĞUN

Zeynel KARACAGİL

Suna KIZILYILDIRIM

#### **Yayınlayan**

Engin DEVREZ

Bilgin Kültür Sanat Yayınları

Sertifika No: 20193

Selanik Cd. No: 68/10 06640 Kızılay / Ankara

Telefon: 0 (312) 419 85 67 – Fax: 0 (312) 419 85 68

<https://www.bilginyayinevi.com>



## Contents

Kalenderleme Prosesi Kullanılarak Polivinil Klorür Karışımlarının Hazırlanması .....	7
Abdullah Tayyib AKÇAY .....	7
H. Aylin Karahan TOPRAKCI .....	7
Ozan TOPRAKCI .....	7
Modern Bir Ring İplikçilik İşletmesinde Elyaf ve İplik Hazırlık Süreçleri .....	12
Ahmet ZEYBEK .....	12
Kuyumculukta Değerli Metal Kaplama Teknikleri Kullanımı ve Yeni Ürün Karakterizasyonu.....	24
Alaaddin GÜNDEŞ .....	24
Mehmet Hakan MORÇALI .....	24
Erkan TUĞRAL .....	24
Alpaslan II Hidroelektrik Santralinde Bara Gerilimi Regülasyonu.....	30
Arif KESİK.....	30
Altuğ BOZKURT.....	30
Trafik Sinyalizasyon Gecikmeleri ile Trafik Akımları Arasındaki İlişki .....	40
Ayşenur HİSAR .....	40
Mesut TİĞDEMİR.....	40
Yolo V4 ile Sahadaki Personelin Yelek Tespiti.....	56
Bilal GÜREVİN.....	56
Sema EĞRİ.....	56
Ramazan GÜL.....	56
Furkan GÜLTÜRK.....	56
Muhammed YILDIZ .....	56
Abdalrhman ALQUAARY .....	56
Literatür Araştırması .....	57
5G Uygulamaları için Milimetre Dalga Anten Tasarımları Üzerine Bir İnceleme.....	66
Cem GÜLER.....	66
Sena Esen BAYER KESKİN.....	66
5G Uygulamaları için Milimetre Dalga Yama Anten Tasarımı.....	84
Cem GÜLER.....	84
Sena Esen BAYER KESKİN.....	84
Krom Stresine Maruz Kalan Aspir (Carthamus tinctorius L.) Çeşitlerinde Bazı Yağ Asitleri Dönüştürücü Genlerin Ekspresyon Analizleri .....	95
Ekrem BÖLÜKBAŞI.....	95
Bursa Uludağ Üniversitesi'nde Katı Atık Karakterizasyonu ve Geri Dönüşüm Potansiyelinin Belirlenmesi .....	110
Ezgi GÖZEN.....	110
N.Kamil SALİHOĞLU.....	110

---

Nötr Akımın Dengesiz Yükler ve Harmonikler ile Etkileşimi .....	128
Faruk KÜRKER .....	128
Biyel Kollarına Uygulanan Isıl İşlem Parametrelerinin Yapıya ve Mekanik Özelliklere Etkilerinin Araştırılması.....	135
Onur Cihan BOYUNEĞMEZ .....	135
Gizem KARABULUT .....	135
Nuray BEKÖZ ÜLLEN .....	135
Motor Yataklama Elemanlarında Isıl İşlem Uygulamalarının Yüzey ve İç Yapı Karakteristiğine Etkisi....	146
Onur Cihan BOYUNEĞMEZ .....	146
Gizem KARABULUT .....	146
Nuray BEKÖZ ÜLLEN .....	146
2024 ve 7075 Alüminyum Alaşımlarında Kaynak İşlemleri ve Özelliklere Etkisi.....	158
İlayda TÜRKMAN.....	158
Selin AK.....	158
Gizem KARABULUT.....	158
Nuray BEKÖZ ÜLLEN .....	158
Fıstık Kabuğundan Elde Edilen Aktif Karbonun Morfolojik, Yapısal Ve Yüzey Alanı Özelliklerinin İncelenmesi.....	171
Hacer DOLAŞ.....	171
DD13 Kalite Sac Levha Üzerine Tva Yöntemi ile Çinko Selenyum Kaplamanın Korozyon Etkisi .....	180
Hafızittin Hakan YUDAR.....	180
Suat PAT .....	180
Otomotiv Parçaları İçin Alt Tabaka Olarak Sac Üzerindeki Çinko Nano Kaplamanın Korozyon Davranışı .....	186
Hafızittin Hakan YUDAR.....	186
Suat PAT .....	186
Ankastre Fırın Taşıyıcı Elemanlarında Frekans Analizleri ve Geometrik Optimizasyonu.....	192
Halit AKDOĞAN .....	192
Hamdi TAPLAK .....	192
19 Mayıs 2011 Simav Depremi ( $M_w=5.9$ ) Öncesi ve Sonrası Coulomb Gerilme Değişimleri.....	199
Hatice DURMUŞ.....	199
Examining the Factors Affecting Travel Behaviour: Literature Review .....	211
Zeliha YAPICI .....	211
İrem AYHAN SELÇUK.....	211
Yalın, Katmanlar Arası ve Katman İçi Açılı Cam/Karbon Karma Kompozitlerin Çekme Yükü Altındaki Davranışları.....	222
Mehmet Çağrı TÜZEMEN .....	222
Antik Tahıllar ve Günümüzdeki Kullanım Alanları.....	231

Mehmet KÖTEN .....	231
Ali Mücahit KARAHAN .....	231
Mustafa SATOUF.....	231
Suriye'de Tüketilen Besleyici Özel Bir Yemek: Falafel .....	257
Mustafa SATOUF.....	257
Mehmet KÖTEN .....	257
Ali Mücahit KARAHAN .....	257
Mermer Blok Üretiminde Kullanılan Zincirli Kollu Kesme Makinesinin Maliyetinin Faaliyet Tabanlı Maliyetleme Yöntemi İle Değerlendirilmesi: Bir Uygulama .....	264
Merve KARAABAT VAROL .....	264
M.Saim SARAÇ.....	264
Merve YILDIZ.....	273
Oğuzhan YILMAZ.....	273
Resnet50 ve Xception Derin Öğrenme Modellerinin Diyabetik Retinopati'nin Derecelendirilmesindeki Başarı Seviyelerinin Karşılaştırılması .....	281
Muhammed Akif Yenikaya.....	281
Erdal Güvenoğlu.....	281
Termoelektrik Güvenlik Sistemi .....	291
Özge BAKAR.....	291
Raşit AHISKA.....	291
Makine Öğrenmesi Topluluk Sınıflandırma Modeli Kullanarak Meme Kanseri ve Tiroid Kanseri Arasındaki İlişkinin Gösterilmesi.....	301
Pınar Karadayı Ataş .....	301
Duygu Kırkık.....	301
Demiryollarında Travers Geometrisinin Yük Transferine Etkisi .....	309
Sait GÜL .....	309
Mesut TİĞDEMİR.....	309
CuO Katkılı Nanolif Yapıların Üretimi ve Karakterizasyonu .....	318
Özlem ERDEM YILMAZ.....	318
Haberleşme Sistemleri için Farklı Yama Şekilleri ile Mikroşerit Anten Tasarımlarının Karşılaştırılması ...	325
Serdal KARAHAN.....	325
Ahmet Arif ULUSLU.....	325
Iatf 16949:2016 Otomotiv Kalite Yönetim Sistemi ve Yalın Yönetim Üzerine Bir Kıyaslama Çalışması .	343
Atakan GERGER.....	343
Veri Madenciliği Algoritmalarının Sağlık Verileri Üzerinde Karşılaştırılması .....	364
Abdullah BAYKAL.....	364
Cengiz COŞKUN .....	364
Yapıştırıcılar ve Yapıştırıcıların Genel Özellikleri .....	374

---

Nürettin AKÇAKALE .....	374
Yeraltısuyu Akış Modellemesinin Hazırlık Ve Dizayn Aşamaları.....	390
İbrahim İskender SOYASLAN .....	390
Yeraltısuyu Kirlilik Mekanizması, Etüt ve İyileştirme Çalışmalarının İncelenmesi.....	402
İbrahim İskender SOYASLAN .....	402
Mikroalglerde Allelopati .....	414
Gamze DOĞDU .....	414

## Kalenderleme Prosesi Kullanılarak Polivinil Klorür Karışımlarının Hazırlanması

Abdullah Tayyip AKÇAY<sup>1</sup>  
H. Aylin Karahan TOPRAKCI<sup>2</sup>  
Ozan TOPRAKCI<sup>3</sup>

### GİRİŞ

Polimerlerin işlenmesi pek çok farklı türde polimer için genellikle benzer temel adımlar üzerinden gerçekleşir. Farklı türlerde işleme yöntemleri (tek ve çift vidalı ekstrüder, kalenderleme, enjeksiyonla kalıplama, toplu karıştırıcılar vb.) olsa bile, bu işleme yöntemlerinde kullanılan adımlar genellikle ortaktır. Bu adımlar şu şekilde sıralanabilir;

- Granül, toz, aglomerat, vb. gravimetrik olarak besleme için hazırlanır.
- Eritme veya yumuşatma bu adım polimerin işleme yöntemi ve hızına bağlıdır.

Polimerlerin camsı geçiş sıcaklığı, erime sıcaklığı, degradasyon sıcaklığı ve viskozitesi işleme adımı için çok önemlidir.

- Basınçlandırma, pompalama veya gravimetrik besleme yöntemiyle polimerlerin taşınması sağlanır. Bu durum ise işlenecek polimerin işleme ortamına taşınmasında önemlidir.
- Karıştırma ve homojenizasyon, bu adımda ise katkı, diğer polimerler veya polimere özellik kazandıracak diğer malzemelerin karıştırılması için önemlidir.
- Yabancı malzemelerin uzaklaştırılması, bu adımda polimerleşmemiş monomerlerin ve malzeme içerisinde bulunan uçucu malzemelerin sistemden uzaklaştırılması sağlanır. (Baird, 2003)

Bu adımların sonunda temel amaç eritilen termoplastik malzemelerin veya termoset malzemelerin bir kalıp veya şekil verici sistemler sayesinde son şeklinin verilmesi, termoplastik malzemeler için soğutulularak camsı geçiş sıcaklığının altına soğutulması ve termoset malzemeler için çapraz bağlanmanın tamamlanması hedeflenmektedir. (Baird, 2003)

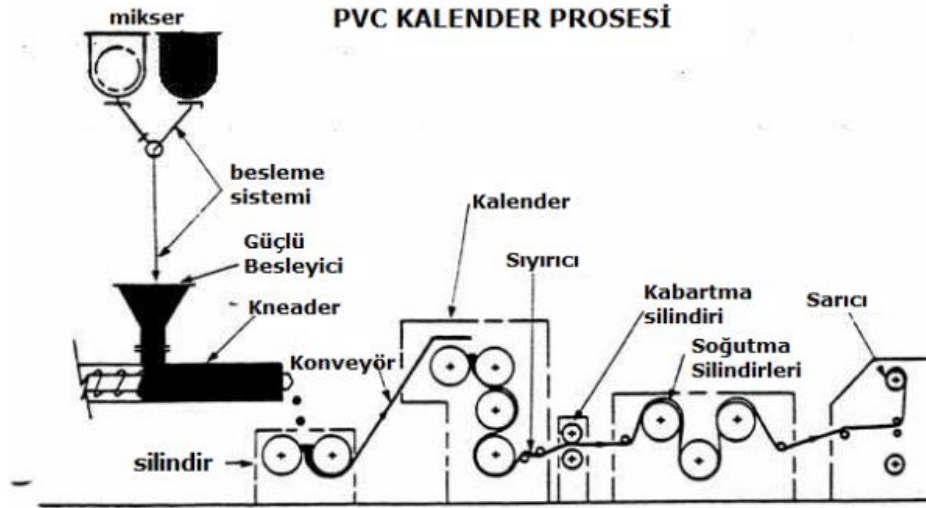
Kalender polimer eriyiklerinin, levha veya film oluşturulmasını sağlayan silindirlerden oluşan sistemler bütünüdür. Şekil 1'de kalenderleme işlemi şematik olarak gösterilmiştir. Kalender ilk bulunduğu zamanlar yalnızca kauçuk işlemede kullanılmasına rağmen günümüz teknolojilerinde termoplastiklerin işlenmesi için de kullanılmaya başlanmıştır. Temel olarak basit bir yapı üzerinde düşünülse de kalenderleme prosesinde bazı büyük zorluklar vardır. Bunların temelinde silindirlerin ısılarının kontrolü yatmaktadır. Polimerin işlenirken silindirlerin ısılarının sürekli olarak sabit olması ve polimerin aynı özelliklerde işlenmesi sağlanmalıdır. (Xanthos, 2000)

---

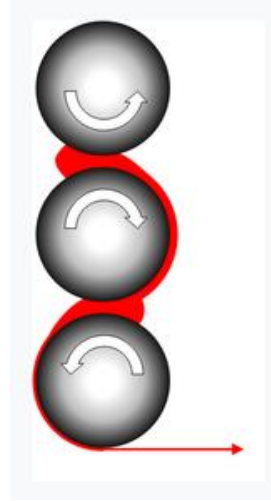
<sup>1</sup> Yüksek Lisans Öğrencisi, Yalova Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Polimer Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Yalova Üniversitesi, Polimer Malzeme Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0001-7078-9690

<sup>3</sup> Doç. Dr., Yalova Üniversitesi, Polimer Malzeme Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0001-7944-4269



Şekil 1. Kalenderleme işleminin şematik gösterimi



Şekil 2. Silindirlerin şematik görünümü

Kalenderlemede basit olarak, polimerin sıcaklık yardımıyla yumuşatılması ve eritilmesi sağlanır, iki veya daha fazla silindirin arasından geçirilerek silindirler arasında bank adı verilen yığın oluşturulması sağlanmalıdır. Oluşan banklar sayesinde sürekli olarak film veya levha halinde işlenmiş polimerler elde edilebilir (Şekil 2). (Chanda, 2006)

PVC dünya üzerinde üçüncü en fazla üretilen termoplastik polimerdir. PVC genellikle boru üretim sektöründe yaygın bir şekilde kullanılan bir polimerdir. Boru üretiminin haricinde; inşaat, mobilya sektörü, elektrik kablo sektörü ve sağlık sektörü gibi birçok alanda da kullanılmaktadır. PVC beyaz renkli, toz veya granül halde bulunabilen bir polimerdir. Genellikle farklı katkıları ile modifiye edilerek kullanılır. Kullanım şekli kullanılan katılara göre değişiklik gösterir. PVC ile birlikte stabilizatörler, iç/dış kaydırıcılar, dolgular, darbe modifiye ediciler, pigmentler kullanılabilir. (Plastics Europe, 2018)

PVC yapısı gereği yumuşak ve sert PVC olarak ikiye ayrılır. Sert PVC ile daha sert ürünler yapılırken, yumuşak PVC ile masa örtüsü, yer döşemeleri, elektrik kabloları gibi esneklik isteyen ürünler üretilir. Sert ve yumuşak PVC'nin özellikleri değişiklik göstermektedir. (Plastics Europe, 2018) Aşağıdaki tabloda PVC'nin özellikleri yer almaktadır:



Tablo 1 – PVC'nin çeşitli fiziksel özellikleri (Titow, 1984)

Özellikler	Yumuşak PVC	Sert PVC
<b>Fiziksel Özellikler</b>		
Yoğunluk	1.3 – 1.7g/cm <sup>3</sup>	1.35 – 1.5g/cm <sup>3</sup>
Camsı Geçiş Sıcaklığı	-5 – -5°C	60 – 100°C
<b>Mekanik Özellikler</b>		
Young Modülü	0.001 – 1.8 GPa	2.4 – 4 GPa
Eğilme Modülü	0.001 – 1.8 GPa	2.1 – 3.5 GPa
Kopma Uzaması	100 – 400%	25 – 80%
<b>Kullanım Sıcaklıkları</b>		
Maksimum Sürekli Kullanım Sıcaklığı	50 – 80°C	50 – 80°C
Minimum Sürekli Kullanım Sıcaklığı	-40 – -5°C	-10 – 1°C

#### PVC/PE karışımları:

Sombatsompop vd. yaptıkları çalışmada, Polietilen hammaddesi ile Poli(vinil klorür hammaddesi karıştırılmıştır, çalışma sonucunda yapılan karışımın ekstrüzyon prosesinden geçirilerek molekül ağırlığındaki değişim, renk değişimleri, camsı geçiş ve bozunma sıcaklıkları gibi değerleri incelemişlerdir. Bu çalışmada kullanılan yöntemde ekstrüzyon prosesi ele alınmış ve incelenmiştir. Kalenderleme prosesine göre ve işlenebilirliğin incelenmesi adına bir çalışma yürütülmemiştir. (Sombatsompop, 2004). Thongpin vd. yaptıkları çalışmada PE hammaddesi ile PVC hammaddesi karıştırılmıştır, çalışma sonucunda yapılan karışım PE'nin eriyik akış indeksi (MFI) değerine göre incelenmiş ve ayrılmıştır. Çalışma sonucunda yapılan karışımın bozunma sıcaklığı, camsı geçiş sıcaklığı, polien indeksi ve karışımdaki PVC'nin morfolojik durumu incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan yöntemle malzemenin bozunması üzerinde durulmuş, yöntemde karışım hazırlanarak bozunma ve camsı geçiş sıcaklığına önem verilmiş ve işlenebilirlik açısından bir yorum yapılmamıştır. (Thongpin, 2006)

#### PVC/PP karışımları:

Bu yapılan çalışmalara ilave olarak PVC ve PP karışımlarını incelendiğinde;

Roussi vd.'nin yaptığı çalışmada, high impact polistiren (HIPS), akrilonitril bütadien stiren (ABS), polikarbonat (PC) hammaddelerinin PP ve PVC ile karışımları incelenmiş ve pirolotik bozunma kinetiği incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda termogravimetrik piroliz analizde, HIPS ve

PC karışımlarının tek bir tepe noktası veriyorken diğer karışımların kısmen birbiri içerisine geçmiş iki tepe noktası verdiği görülmüştür. Bu çalışmada kullanılan termogravimetrik piroliz analizinde farklı hammaddelerin birbiri ile karışabilirliği incelenmiş ve işlenebilirlik hakkında bir yorumda bulunulmamıştır. (Roussi, 2020)

### **PVC/PMMA karışımları:**

Bu yapılan çalışmalara ilave olarak polivinil klorür ve PMMA karışımlarını inceleyecek olursak; Gulalkari vd. yaptığı çalışmada, PVC ile PMMA hammaddeleri karıştırılarak 40°C ile 80°C arasında oluşturulan karışımın iletkenlik özellikleri ölçülmüştür. Poole-Frenkel, Fowler-Nordheim, Schottky, log(J)-T grafiği ve Arrhenius grafiği ışığında analiz yapılmıştır. Bu çalışmada yapılan analizler karışımın tamamen elektriksel iletkenliği üzerinde durulmuştur. (Gulalkari, 2007)

### **Kalenderleme prosesi ile ilgili yapılmış diğer çalışmalar:**

Järvelä ve Järvelä, PVC'nin kalenderleme prosesinde en yaygın kullanılan polimer olduğunu, ASA, ABS gibi polimerlerin de kalenderlenebildiği ve son zamanlarda polipropilenin kalenderleme prosesi üzerinde araştırmalar olduğunu belirtmişlerdir. Kalenderleme prosenin iki ısıtılmış silindirin birbirinin tersine dönerek malzemeyi eritip, film oluşturulması olarak belirtmişlerdir. (Järvelä, 1999) Wang vd. yaptığı çalışmada, PE hammaddesinin farklı kompozisyonlarla, yüksek yoğunluk ve düşük yoğunluklu PE hammaddeleriyle kalenderleme proseslerini incelemiştir. Yüksek yoğunluklu PE hammaddesi lif formunda beslenmiş, düşük yoğunluklu PE ile kompozit oluşturulmuştur. Yapılan çalışmada farklı parametre değerleri ile çekme kopma sonuçlarında gözle görülür bir fark görülmüştür. En iyi değeri ise, 78.8 MPa değerinde kopma mukavemetiyle gözlemlenmiştir. Bu değerler %11'lik elyaf katkısıyla gözlemlenmiştir. (Wang, 2018) Agassant vd.'nin yaptığı çalışmada, kalenderleme prosesinde iki silindir arasında bulunan bankın dönüş kinetiği araştırılmıştır. Çalışmada bankın dönüş yönleri ve bank içindeki vorteks oluşumları incelenmiştir. Çalışma sonucunda, bankın içerisinde de farklı yönlerde hareketlerin ve dönmelerin olduğu gözlemlenmiştir. Silindirden geçirilen polimerin ve katkıların bu dönüşlerde oldukça öneme sahip olduğu vurgulanmıştır. (Agassant, 1985)

## **SONUÇ**

Bu çalışmada kalenderleme yöntemiyle hazırlanan PVC karışımları hakkında bilgi verilmiştir. Kalenderleme yöntemiyle üretim sektöründe birçok ürün üretiminde kullanılmaktadır. Özellikle film üretimleri, ambalaj üretimleri ve kaplama üretimlerinde önemli bir yer almaktadır. Kalenderleme yöntemiyle üretim yöntemleri eski bir üretim yöntemi olsa da birçok üretim yöntemine göre daha avantajlıdır ve halen kullanılmaya devam etmektedir. Yöntemin seri üretime uygun olması, polimerlere uygulanabilir olması, bilindik olması, makine bakımının daha kolay olması bu üretim yöntemini diğer üretim yöntemleri yanında ön plana çıkarmaktadır. Özellikle PVC ile üretilen ürünlerde kalenderleme yöntemi kullanılmaktadır. Önceki bölümlerde de anlatıldığı gibi kalenderleme yöntemi kullanılarak PVC ile PP, PE ve PMMA karışımlarına ilişkin literatürde az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda da genellikle malzemenin işleme özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine durulmamıştır. PVC'nin üretim ve kullanım hacmi göz önünde bulundurulduğunda, işleme özelliklerinin geliştirilmesine yönelik yapılacak çalışmalara ihtiyaç duyulduğu açıktır.

## KAYNAKÇA

Agassant, E. (1985). Theoretical and experimental study of the molten polymer flow in the calender bank. *Polymer Engineering and Science*, 118-121.

Baird, D. (2003). *Polymer Processing*. Virginia, USA: Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition).

Chanda, R. (2006). *Plastics Technology Handbook*. Boca Raton: CRC Press.

Gulalkari, B. B. (2007). Electrical conduction mechanism of polyvinyl chloride (PVC)-polymethyl methacrylate (PMMA) blend film. *Pramana*, 485-490.

Järvelä, J. (1999). Calendering of polypropylene. *Polymer Science and Technology Series*, 76-80.

Plastics Europe. (2018). *Plastics – the Facts 2018*. Brussels: PlasticsEurope AISBL.

Roussi, V. (2020). Pyrolytic degradation kinetics of HIPS, ABS, PC and their blends with PP and PVC. *Thermochimica Acta*.

Sombatsompop, S. T. (2004). Structural changes of PVC in PVC/LDPE melt-blends: Effects of LDPE content and number of extrusions. *Polymer Engineering and Science*, 487-495.

Thongpin, S. N. (2006). Degradation mechanism and mechanical properties of PVC in PVC-PE melt blends: Effects of molecular architecture, content, and MFI of PE. *Vinyl & Additive Technology*, 115-123.

Titow. (1984). *PVC Technology*. Berlin: Springer Science & Business Media.

Wang, D. L. (2018). Extrusion–calendering process of single-polymer composites based on polyethylene. *Polymer Engineering and Science*, 2156-2165.

Xanthos, M. (2000). *Polymer Processing*. New York, USA: Applied Polymer Science: 21st Century.

## Modern Bir Ring İplikçilik İşletmesinde Elyaf ve İplik Hazırlık Süreçleri

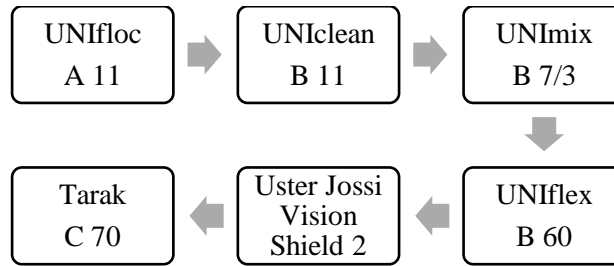
Ahmet ZEYBEK

### Giriş

Dünya genelinde yıllık lif tüketim miktarları çok yüksek rakamlara ulaşmış durumda ve bu lif miktarının önemli bir kısmı kısa lif iplikçiliğinde işlenmektedir. Bu nedenledir ki kısa lif iplikçiliği dünya tekstil üretiminde önemli bir yere sahiptir. Kısa elyaf iplikçiliğinde üretim maliyetinin yaklaşık olarak %50 ila %75' ini hammadde oluşturmaktadır. Tek başına bu maliyet oranı bile hammaddenin önemini göstermesi açısından son derece yeterlidir fakat çok az sayıda iplik üreticisi problemsiz bir hammadde maliyetini karşılayabilir. Bu nedenle daha düşük maliyet oranlarıyla temin edilen az problemlili hammadde kullanımı son derece yaygındır. İşte bu nedenle az problemlili hammadde kullanımıyla ilgili olarak, beklenen zorluklarla baş edebilmek ve hammaddenin başlangıçtaki ve proses sırasındaki davranışlarının bilinmesi çok önemlidir. Bu durum gerekli teknik-teknolojik bilgiye sahip ve yeterli eğitime sahip bir personel varlığını mecbur kılmaktadır. Tüm bu bilgiler ışığında kısa lif iplikçiliğinde hammaddenin çeşitli işlem basamaklarından geçerek iplik haline dönüştüğü ring iplik eğirme makinasına gelinceye kadar geçmiş olduğu elyaf hazırlık ve iplik hazırlık süreçleri iyi anlaşılmalı ve özümsemelidir.

### Elyaf hazırlık makinaları

Pamuk harmanı, harman-hallaç dairesine 200-250 kg ağırlığa sahip balyalar halinde ve preslenmiş bir şekilde ulaşmaktadır. Şekil 1' de, balyalar halinde sıralanmış olan pamuğun belirtilen sırayla işlem gördüğü makine hattı gösterilmiştir.



Şekil 1. Harman-hallaç dairesi makina hattı

UNIfloc (Balya Açıcı), harman haline getirilmiş pamuk balyalarının içindeki elyaf topaklarının açılması ve karıştırılması görevini yerine getiren harman hallaç dairesindeki ilk proses elemanıdır. Şekil 2' de çalışma kapsamında kullanılan balya açıcı gösterilmiştir.



Şekil 2. UNIfloc (Balya Açıcı)

Şekil 2’ de gösterilen balya açıcı, üzerinde bulunan açıcı silindirler yardımıyla yan yana dizilmiş 130 adede kadar hammadde balyalarını işleyebilmektedir. Çeşitli dalma derinliği ayarlarında ayarlanabilen balya açıcı standart ayarlarda 1400 kg/s üretim kapasitesine sahiptir.

Balya açıcının açıcı silindirler yarımıyla aldığı hammadde, hava emişi vasıtasıyla UNIClean’ e (Tek Silindirli Temizleyici) aktarılır. Şekil 3’ de gösterilen UNIClean, serbest halde vurma prensibine göre çalışır ve pamuk topaklarına vurucu pimler vasıtasıyla serbest halde vurularak, pamuk topaklarının açılması ve temizlenmesi sağlanmaktadır.



Şekil 3. UNIClean (Tek Silindirli Temizleyici)

Şekil 3’ de gösterilen tek silindirli temizleyicide, bir materyal giriş kanalı, özel kancalara sahip büyük bir temizleme silindiri, telef emiş tertibatı ve çıkış kanalı bulunmaktadır.

Tek silindirli temizleyiciden çıkan materyal hava emişi yardımıyla UNImix (Çok Kamaralı Karıştırıcı) makinasına gelmektedir. Şekil 4’ te UNImix (Çok Kamaralı Karıştırıcı) gösterilmiştir. Bu makinada pamuğun karıştırılarak harmanda bulunan liflerin homojen bir şekilde dağıtılıp karıştırılması görevini yerine getirmektedir.



Şekil 4. UNImix (Çok Kamaralı Karıştırıcı)

Şekil 4’ te gösterilen çok kamaralı temizleyici, bir depolama bölümü, bir ara oda ve bir çıkış bölümü olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Hammadde tutamları depolama bölümünde art arda dizilmiş 8 kamaraya eş zamanlı olarak beslenmektedir.

Bir fan yardımıyla hammadde tutamları emilerek UNIflex (Hassas Temizleyici) makinasına ulaştırılır. Şekil 5’ te elyafın hassas bir şekilde açılması, elyaf üzerindeki çığıt kırıkları, sap parçaları vb. yabancı maddelerin ve tozun uzaklaştırılması görevini yerine getirmekle görevli hassas temizleyici gösterilmiştir.



Şekil 5. UNIflex (Hassas Temizleyici)

Şekil 5’ te gösterilen UNIflex makinası besleme kanalına sahiptir. Bu besleme kanalının arka duvarı hava çıkışına uygun olacak şekilde ayrı alüminyum lamellerden oluşur. Bu lamellerin amacı, hem enine hem de boyuna homojen elyaf tabakalarının oluşmasını sağlamaktır.

Şekil 6’ da gösterilen Uster Jossi Vision Shield 2 (Renkli Elyaf Ayrıcı) pamuğun içindeki renkli elyafın uzaklaştırılması görevini yerine getirmektedir.



Şekil 6. Uster Jossi Vision Shield 2 (Renkli Elyaf Ayırıcı)

Şekil 6’ da gösterilen Uster Jossi Vision Shield 2 (Renkli Elyaf Ayırıcı) yardımıyla iyi lif israfı en aza indirilirken, işlenen harmanın ayrıntılı bir kirlilik resminin de çekilmesini sağlamaktadır.

Harman hallaç dairesinde, kullanılan materyal içindeki yabancı maddelerin tarak makinasında ince parçalara bölünmeden erken safhada temizlenmesi iplik üretimi için bir avantajdır. Bu nedenle renkli elyaf ayırıcı doğrudan ince temizleyici (UNIflex) sonrasına monte edilmektedir.

“Tarak” kelimesi, devedikeni anlamına gelen Latince 'carduus' kelimesinden türetilmiştir. On beşinci yüzyılda pamuk ve yün liflerini eğirmeden önce taramak ve temizlemek için ahşap bir çerçeveye sabitlenmiş devedikenlerinden oluşan taraklar kullanılmıştır (Szaloki, 1977). Yıllar içerisinde tarak makinası tasarımları değişiklik gösterse de, iki karşıt yüzey arasında yapılan tarama işlemi prensibi aynı kalmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan Rieter firmasına ait C70 tarak makinası Şekil 7’de gösterilmiştir.



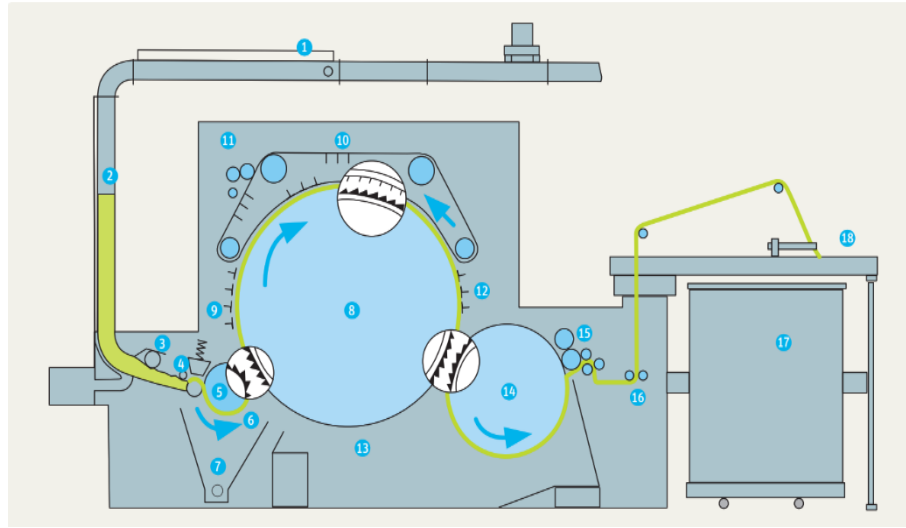
Şekil 7. Tarak Makinesi (C70)

Şekil 7’de gösterilen tarak makinesi, harman-hallaç hattının son makinesidir. Temizleme işleminin yaklaşık olarak %75’i bu makinede gerçekleştirilmektedir. Tarak makinası performansı iplik kalitesine büyük ölçüde etki ettiğinden tarak işlemi, tüm eğirme işleminin en önemli parçasıdır (Gulhane, Patil, Kolte ve Gupta, 2019). Tarama işlemi, pamuk, yün veya polyester gibi hammaddeleri düzgün ve tutarlı bir ağa dönüştürür (Lee ve Ockendon, 2006). Tarak makinası sayesinde lifler açılır, lif içine gömülü çöp ve mikro tozlar giderilerek temizlenir (Regar ve Aikat,

2017). Ölü veya olgunlaşmamış liflerden oluşan küçük düğümcükler olarak tanımlanan nepslerin ve kısa liflerin ortadan kaldırılması nedeniyle tarak şeridinin kalitesi artar (Denton ve Daniels, 2002; Vasudevan, 2005). Tarak işlemi, tarak makinasının ana elemanları olan şapka ile silindir arasında yapılır ve lifler paralelleştirilerek, materyal temizlenir ve bu sayede liflerin açılması sağlanıp, nepsler azaltılır (Chaudhari, Patil, Kolte ve Mpstme, 2019). Pamuktaki nepsler pamuk ipliği üretim sürecinde önemli bir sorundur ve iplik eğirme süreci sonucunda oluşan iplikteki sorunların en büyük kaynaklarından biridir (Vasudevan, 2005). Bu durum IPI (İnce yer, kalın yer ve neps hataları) değerlerindeki artışı da etkilediğinden elde edilen iplikteki neps değerlerini azaltmak için tarak hız parametreleri optimize edilmelidir.

Lewis Paul tarafından geliştirilen ilk tarak makinası birbirine karşıt ve dikenli yüzeye sahip iki silindirin oluşturduğu bir yapıya sahipken, Arkwright 1775 yılında geliştirdiği tarak makinasında ise brizör, şapka, penyör ve tamburun kullanıldığı neredeyse eksiksiz bir tarak makinası geliştirmiştir. İskoç James Smith ise 1834'te bu tarak makinasına kendi kendini temizleyen döner şapka düzenegini eklemiştir. 1970'lerde Schubert ve Salzer çoklu brizör tasarımını kullanan tarak makinalarını üretmişler ve çalışma genişliğini de 1500 mm olarak belirlemişlerdir (Vasudevan, 2005).

Tarak makinaları günümüzde, iplik işletmelerinde harman-hallaç dairesi makinaları ile birlikte ayrılmaz bir ünite olarak homojen bir şekilde birbirini tamamlamak üzere koordine edilmişlerdir. Şekil 8'de çalışma kapsamında kullanılmış olan Rieter C70 modern tarak makinasının iç yapısı ve işlem akışı gösterilmiştir.



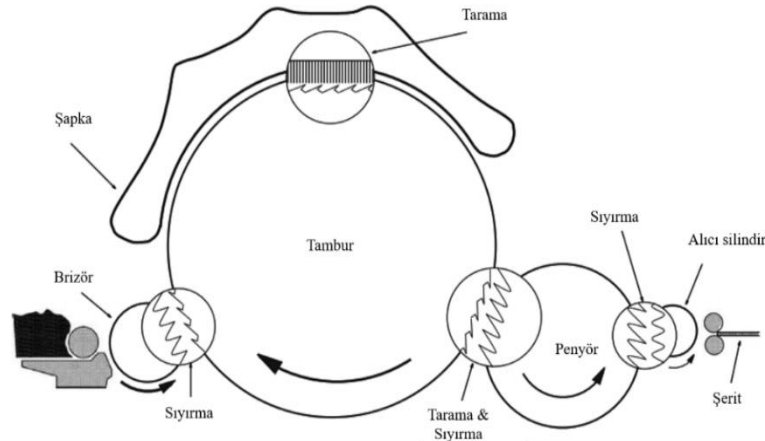
Şekil 8. Tarak Makinesi (C70) işlem akışı (Klein, 2011a: 53)

Şekil 8' de gösterildiği üzere aerofeed besleme kanalları (1) vasıtasıyla hava emişi sayesinde tarak makinasına ulaşan hammadde tarak makinası silosuna (2) beslenmektedir. Belirli bir basınç altında sıkıştırılmış tülbent siloda biriktirilir. Bir transfer silindiri (3) materyali besleme düzenegine (4) iletir. Bu düzeneginin görevi elyafın optimum şekilde tutulmasını sağlayacak şekilde brizöre (5) iletmektir. Brizörde taranıp açılan elyaf, ızgaralar (6) üzerinden geçerek tambura (8) aktarılır. Bıçak, ızgara ve tarak telleri arasından geçen elyaf önemli derece temizlenmiş durumdadır. Bu temizleme işlemi sırasında ortaya çıkan döküntüler hava emişi (7) ile uzaklaştırılmaktadır. Tambur üzerinde sonsuz zincir mekanizmasıyla hareketi sağlanan taraklama çubuklarının oluşturduğu şapka (10) yer almaktadır. Sonsuz dönüş hareketi sırasından şapka üzerindeki kir, toz, neps gibi yabancı maddeleri temizleme birimi (11) şapka üzerinden almaktadır. Hareketli şapkanın yanı sıra bu işleme yardımcı olması için sabit şapkalar (9,12) bulunmaktadır. Tamburun alt kısmı ızgaralar (13) ile kapalı



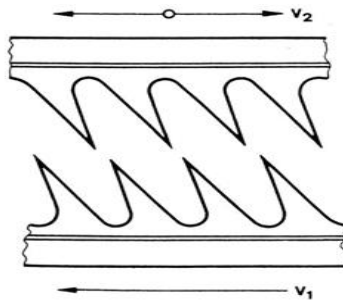
durumdadır ve tambur üzerinde üretilmiş halde paralel bir şekilde bulunan lifler penyör (14) silindiri vasıtasıyla tambur üzerinden alınır. Penyör üzerinden, sıyrıcı düzenek (15) yardımıyla alınan tülbent, silindirler (16) yardımıyla sıkıştırılır ve döner kova tertibatı (18) yardımıyla tarak şeridi (17) halinde tarak kovasına biriktirilir.

İplik işletmesinin kalbi olarak adlandırılan tarak makinasının esası, birbirine karşıt yüzeyleri bulunan değişik çaptaki silindir yüzeyleri arasında liflerin açılarak taranmasıdır. Şekil 9’ da modern bir tarak makinasının bölümleri ve bu bölümlerde hangi işlemlerin yapıldığı gösterilmektedir.



Şekil 9. Tarak Makinesi (C70) ana elemanları

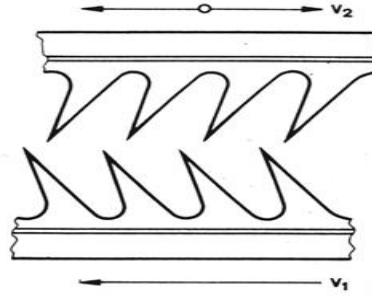
Şekil 9’ da gösterilen, besleme, brizör, tambur-şapka ve son olarakta penyör bölgesi olmak üzere dört ana bölümden oluşan tarak makinasında bu bölgeler arasında gerçekleştirilen iki temel işlem vardır. Bunlar tarama ve sıyrma işlemleridir. Şekil 10’da silindirlerin yüzeylerinde yer alan garnitür tellerinin tarama pozisyonundaki yerleşmeleri gösterilmiştir.



Şekil 10. Garnitür tellerinin tarama pozisyonundaki konumları (Klein, 2011b: 26)

Şekil 10’ a bakıldığında garnitür tellerinin birbirlerine göre zıt yönde yerleştikleri görülmektedir. Tambur ile şapka ve tambur ile penyör garnitür telleri arasında tarama işlemi olmaktadır. Tarama işlemi için temel koşul tambur çevresel hızının ( $V_1$ ) şapka ve penyör çevresel hızından ( $V_2$ ) daha yüksek olması ve dönüş yönlerinin farklı olmasıdır.

Şekil 11’ de silindirlerin yüzeylerinde yer alan garnitür tellerinin sıyrma pozisyonundaki yerleşmeleri gösterilmiştir.



Şekil 11. Garnitür tellerinin sıyırma pozisyonundaki konumları (Klein, 2011: 26)

Şekil 11'e bakıldığında garnitür tellerinin aynı yöne doğru yöneldiği görülmektedir. Brizör ile tambur garnitürleri sıyırma pozisyonunda yerleştirilmiştir. Bu sıyırma pozisyonunda materyalin bir garnitürden diğerine transferi söz konusudur ve bu işlem tambur çevresel hızının ( $V_1$ ), brizör çevresel hızından ( $V_2$ ) fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

Tarak makinasına besleme yoğun olarak topak besleme sistemi ile yapılmaktadır. Topak besleme sistemleri kendi arasında açıcı sistemli ve iki bölümlü silo ve açıcı sistemi olmayan tek bölümlü silo olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan tarak şerit numunelerinin üretildiği tarak makinası açıcı sistemli ve iki bölümlü silo besleme sistemine sahiptir. Bu sistemin avantajı daha iyi açılmış ve daha homojen bir tülbent beslemesi sağlamasıdır. Dezavantajı ise daha karmaşık ve maliyetli olmasıdır.

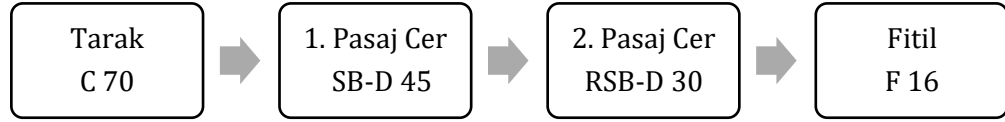
Tarak makinası kısımlarından olan brizör, dökme demirden yapılmış ve üzerinde testere dişli garnitür telleri bulduran bir silindiridir. Tarak makinasında açma ve temizleme işlemlerinin büyük kısmı brizör tarafından yapılmaktadır. Brizörün yaptığı işlem kısaca yoğun ama kaba bir temizleme olarak tanımlanabilir. Brizör sayısının birden fazla olduğu tarak modelleri de var olmakla birlikte çalışmada kullanılan tarak makinası (C70) tek brizörlü bir yapıya sahiptir. Materyalin mümkün olduğu kadar korunması ve yabancı maddelerin temizlenebilmesi amacıyla materyalin kirlilik derecesine göre besleme silindirinin brizöre olan mesafesi ayarlanmaktadır.

Tarak makinasında brizörden sonra gelen, dökme demirden yapılmış ve çapı modele göre farklılık gösterebilen bir yapı olan tambur genelde rulmanlı yataklar ile desteklenmektedir. Tarak makinasında şapka ile tambur birlikte ana tarama bölgesini oluşturmaktadır. Bu ana tarama bölgesinde kalan yabancı maddeler uzaklaştırılır, nepsler açılır ve kısa lifler uzaklaştırılır. Tambur gibi şapka çubukları da dökme demirden yapılmış olup tambur yönünün tersi yönünde ve tambura kıyasla çok daha yavaş hızlarda ilerlemektedir. Şapka garnitürleri yönünde hareket eden lifler tambur garnitürleri tarafından tutulur ve taranır. Tambura sıkıca tutunabilen lifler tamburla hareketine devam ederken kısa lif ve yabancı maddeler şapka tarafından tutulur ve ayrılırlar.

Genellikle dökme demirden yapılan penyör tamburu takip eden tarak işlem basamağıdır. Penyör, tamburdan lifleri tek tek alıp tülbent haline getirmek üzere tasarlanmıştır. Penyör ve tambur garnitür telleri birbirine göre tarama pozisyonundadır. Tambur üzerinden penyöre lif transferi ise aradaki çok dar mesafe ve yüksek hız farkı sayesinde gerçekleşmektedir. Bu yüksek çevresel hız farkı penyör üzerinde bir tülbent tabakası oluşmasını sağlamaktadır. Bu aktarılma esnasında liflerde kanca meydana gelerek lifler bir veya her iki ucundan birden kıvrılırlar. Tarak şeridindeki liflerin %50'si arkadan, %15'i önden ve %15'i her iki taraftan kancalıdır. Geri kalan %20'lik oranda kanca oluşmaz. Bu oranlar şartlara ve malzemeye bağlı olarak taraktan tarağa değişebilir. Kanca oluşumu lifin uzunluğunu azaltacağı için müteakip işlemlerde giderilmesi gerekir. Bu cer makinesindeki çekme ve tarama makinesinde tarama işlemi ile gerçekleştirilebilir.

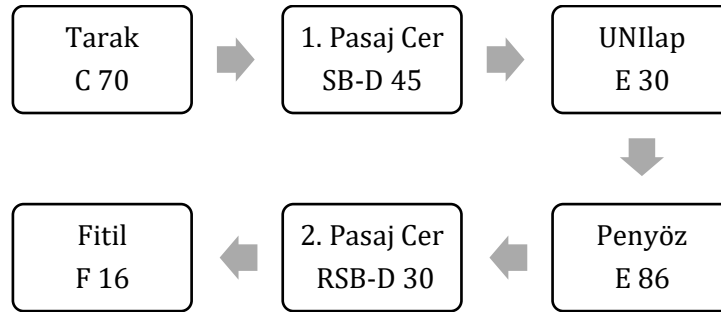
## İplik hazırlık makinaları

Tarak makinasından şerit halinde tarak kovasına sarılı halde çıkan tarak şeritleri, karde veya penye ring iplik üretiminden hangisi isteniyorsa ona göre karde veya penye ring iplik eğirme makine hatlarından birisine sokulur. Şekil 12’de karde iplik hazırlık makine hattı gösterilmiştir.



Şekil 12. Karde iplik hazırlık makine hattı

Şekil 12’de gösterilen karde iplik hazırlık makine hattından taraktan çıkan tarak şeritleri öncelikle 1. ve 2. pasaj cer makinalarından geçerek fitil makinasına ulaşır ve buradan da fitil halinde ring iplik eğirme makinasına yüklenilir.



Şekil 13. Penye iplik hazırlık makine hattı

Şekil 13’te gösterilen penye iplik hazırlık makine hattının karde iplik hazırlık makine hattından farkı fazladan iki proses içeriyor olmasıdır.

İplik hazırlık makinalarının ilki olan 1. pasaj cer makinesi, içerdikleri çekim sistemi sayesinde, tarak makinasından şerit halinde çıkan ve 1. pasaj cer makinasına iletilen liflerin inceltiği, paralelleştirilerek tarak makinasından çıkan tarak şeridine kıyasla daha düzgün bir yapıda olan cer şeritlerinin oluşmasını sağlamaktadır. Şekil 14’te karde ve penye numune iplik üretimi için kullanılan SB-D 10 cer makinası görülmektedir.



Şekil 14. 1. Pasaj cer makinası (SB-D 10)

Şekil 14'te gösterilen cer makinalarında yapılan işlemin esası katlama ve çekim işlemleridir. Bu nedenle bir iplik işletmesinde şerit üzerindeki hataların giderilmesinde belirleyici rol oynayan makine cerlerdir. Çünkü cer makinalarında düzeltilemeyen bir hata artan bir şekilde ipliğe etki etmektedir.

Cer makinalarında yapılan katlama (dublaj) işlemi biden fazla şeridin cer makinasına beslenmesi işlemi ifade etmektedir. Çalışma kapsamında karde ve penye numune iplik üretimi için kullanılan Rieter SB-D 10 cer makinasında 6'lı dublaj yapılmıştır. Karde ve penye numune iplik üretiminde kullanılan 1. Pasaj cer makinası olan SB-D 10 cer makinasında regüle sistemi bulunmamaktadır.

1. pasaj cer makinasından çıkan cer şeritleri henüz penye makinasında gerçekleştirilecek olan tarama işlemi için uygun değildir. Penye makinasına girecek olan yarı mamulün mümkün olan en düşük düzgünlük ve en yüksek paralellik değerlerinde olması gerekir. Şekil 15'te çalışmada kullanılan UNIlap E32 penye hazırlık makinası gösterilmiştir.



Şekil 15. Penye hazırlık makinası (UNIlap E 32)

Şekil 15'te UNIlap E32 penye hazırlık makinasına 1. pasaj cer makinasından şerit şeklinde çıkan cer kovalarından 24 adet beslenerek, penye makinasında tarama işleminin yapılabilmesi için cer şeritlerine çekim işlemi uygulayarak vatka formunda üretim gerçekleştirir.

Penye hazırlık makinasından sonraki aşama olan penye makinası Şekil 16'da gösterilmiştir.



Şekil 16. Penye makinası (Penyöz E 86)

Şekil 16'da gösterilen penye makinasında, önceden belirlenmiş oranda kısa elyaf uzaklaştırılır, kalan yabancı maddeler uzaklaştırılır, neps uzaklaştırılır ve mümkün olduğu kadar düzgün bir şerit elde edilir. Penye makinesine giren elyaftan, istenen değere göre %5 ile %30 arasında kısa elyaf uzaklaştırılır. Bu orana bağlı olarak üretilen iplikte bir maliyet artışı meydana gelir. Üretilmiş pamuktan mamul bir iplik taranmamışa göre daha az büküm gerektirir. Tarama işlemi sonucu pamuğun ortalama uzunluğu artar ve üretilmiş iplik daha kaliteli, daha parlak ve daha yumuşaktır.

İplik hazırlık makinaları içerisinde kütle varyasyonlarının giderilmesi için dublaj ve regülenin uygulanabileceği son işlem basamağı 2. pasaj cer makinasıdır. Şekil 17'de gösterilen 2. pasaj cer makinasında giderilemeyen hata, artan bir şekilde nihai ipliğe ve dolayısıyla kumaşa geçme durumundadır (Buharalı ve Ömeroğlu, 2013).



Şekil 17. 2. Pasaj Cer Makinası (RSB-D 10)

Şekil 17’de gösterilen 2. pasaj cer makinasında oluşan bir hata tüm işlem basamaklarını önemli ölçüde etkiler ve çok yüksek hızlarda cer şeritleri ürettiklerinden dolayı hatanın bir an önce tespit edilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Tüm bu bilgiler ışığında, regüleli cer makinası kısa lif iplik işletmeleri için çok hayati bir öneme sahiptir (Ünal ve Vurkır, 2017).

Üretilen bir cer şeridinin ipliğe dönüştürülebilmesi için üretilcek ipliğin numarasına bağlı olarak 300 ila 500 arası çekim vermek gereklidir. Bu durum günümüzde üretilen iplik eğirme makinalarında mümkün değildir. Bu nedenle cer ve iplik eğirme makinaları arasında bir prosese ihtiyaç vardır. Şekil 18’de çalışmada kullanılan fitil makinası gösterilmiştir.



Şekil 18. Fitol Makinası (F 16)

Şekil 18’de gösterilen fitil makinasında, cer şeridi çekim işlemiyle inceltip, şeride çok az büküm verilir ve fitil bobini şeklinde sarılmaktadır. Fitol bobini şeklinde sarılan fitiller, ring iplik eğirme makinasının fitil çağlıklarına takılarak ring iplik eğirme makinasında üretim gerçekleştirilir.

## Sonuç

Kısa lif iplikçiliğinde üretilen ipliğin kalitesi sadece ring iplik eğirme makinasına bağlı olmayıp gerek hammadde gerekse de hammaddenin ring iplik eğirme makinasına ulaşmaya kadar geçmiş olduğu aşamaları kapsayan elyaf hazırlık ve iplik hazırlık makinaları aşamalarıyla da yakından ilgilidir. Bu kapsamda bu kaynakla birlikte kısa lif ring iplikçiliğinde kullanılan elyaf hazırlık ve iplik hazırlık süreci makinalarına değinilmiş ve bu makinaların özellikleriyle birlikte yapmış olduğu işlemlerden bahsedilmiş ve kısaca açıklanmıştır.

## Kaynaklar

- Buharalı, G., & Ömeroğlu, S. (2013). Open-end rotor iplik özelliklerine etki eden faktörler. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 18(2), 19-35.
- Chaudhari, V. D., Patil, P. S., Kolte, P. P., & Mpstme, S. N. (2019). Critical analysis of speed parameters of carding machine—a review. *Spinning* (3), 177-178.
- Denton, M. J., & Daniels, P. N. (2002). *Textile terms and definitions*. Textile Institute.
- Gulhane, S., Patil, V., Kolte, P., & Gupta, J. (2019). Impact of Card Neps Removal Efficiency on Yarn Quality. *Journal of the Textile Association*, 432.
- Klein, W. (2011a). *Reiter İplikçilik El Kitabı*. Cilt 2- Harman, Hallaç ve Taraklama. Reiter Machine Works Ltd.
- Klein, W. (2011b). *Reiter İplikçilik El Kitabı*. Cilt 1- Kısa Lif İplikçiliği Teknolojisi. Reiter Machine Works Ltd.
- Regar, M. L., & Aikat, N. (2017). A Study on the Effect of Pin Density on Stationary Flats and its Setting on Carding Quality. *Tekstilec*, 60(1).
- Szaloki, Z. S. High-speed carding and continuous cardJeeding. Institute series on textile processing; vol. 2.1977, Charlottesville, Virginia: Institute of Textile Technology.
- Ünal, B. Z., & Vurkır, S. (2017). Cer Makinasında Ekartman Ayarlarının İplik Kalite Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(1), 73-80.

## Kuyumculukta Değerli Metal Kaplama Teknikleri Kullanımı ve Yeni Ürün Karakterizasyonu

Alaaddin GÜNDEŞ<sup>1</sup>  
Mehmet Hakan MORÇALI<sup>2</sup>  
Erkan TUĞRAL<sup>3</sup>

### Giriş

Dünya’da ve ülkemizde değersiz bir ürünü değerli hale getirmek için farklı kaplama teknikleri kullanılmaktadır. Bu kaplama teknikleri ürün kalitesini arttırmakla birlikte ürünün bozunma süresine olumlu katkı sağlayacak uygulamalar ile hayatı kolaylaştıran bir uğraş haline gelmiştir. Hem maliyet kazancı hem ürün kaybının en aza indirilmesi ile bu bir ticari boyut kazanarak özellikle imitasyon ürünlerin ortaya çıkması, alma gücü düşük kesimin ulaşabileceği yeni ürünlerin ortaya konulması bir hedef haline gelmiştir.

IB grubunda olan gümüşün sembolü Ag ve atom numarası 47’dir. Metallerin içinde en parlak beyaz olanıdır. Erime noktası 961,78 °C ve kaynama noktası 2162 °C’dir. Gümüş elementinin yükseltgenme değeri 1+’dir. Nadiren 2+ ve 3+ değerlikli şeklinde olabilirler. Madenler arasında kolayca şekil verilen metallerin başında gelir, rengi beyazdır parlak ışığı çok iyi yansıtabilen bir metaldir. Bileşiklerinde kararlı olanlarında genelinde 1+ değerlikli yükseltgenme basamağına sahiptir. Gümüş iyonları Cu, Zn, Pb ve Sb elementleriyle de yer değiştirme yapabildiğinden dolayı bu elementlerde de belirli miktarlarda gümüşe rastlanılmaktadır. Gümüş klorür (AgCl) ve Argentit (Ag<sub>2</sub>S) bileşikleri de önemli gümüş bileşiklerindedir. (Özdemir, 1981; Ada, 2004).

Gümüş cevherlerden elde edildiği gibi, geri dönüşüm için hurda gümüşle de geri kazanılarak ikincil kaynak olarak gösterilir. Primer gümüş cevherleri ve yatakları birincil kaynak olarak ve sekonder gümüş cevherleri olarak iki kısımdan oluşur. Gümüş üretiminde günümüzde Dünya’da Au, Cu, Zn, Pb ve diğer madenlerden de yan ürün olarak üretilmektedir. (Aktaş, 2019).

Gümüşten yapılmış eşyalar ve gümüş kaplamalı eşya ve ürünlerde kararmanın en büyük sebebi havadaki hidrojen sülfürdür. Bazı asitlere ve organik maddelere karşı dayanıklıdır. Etkileşim içine girdiği asitler ise soğukta nitrik asitle, sıcakta ise sülfirik asitle kolaylıkla etkileşime girer (Ün, 1968).

Eskiden gümüş, dünyanın çok yerlerinde bulunan doğal gümüş yatakları kaynakları az miktardaydı. Gümüş daha çok altın, bakır civa veya diğer metallerle alaşım halinde bulunarak ayrıştırılma yöntemleriyle elde edilmektedir. Gümüş yer altında toprak ve metal yataklarında bileşikler halinde de bulunabilirler. Sık rastlanan ise gümüş filizlerinde ise gümüş klorür (AgCl),

---

<sup>1</sup> Dr.Öğr.Üyesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği,0000-0001-9030-0776

<sup>2</sup> Doç.Dr.Mehmet Hakan Morçalı Gaziantep Üniversitesi Naci Topçuoğlu MYO Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri, 0000-0002-5021-4459

<sup>3</sup> Erkan TUĞRAL Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, 0000-0001-8130-293X



argentit( $Ag_2S$ ) halinde bulunur. Antimonla veya arsenikle karışmış sülfür olarak filizleride bulunur (Köymen, 2013).

Gümüş Kaplamada, gümüş ışığa karşı refleksiyon özelliği olduğundan çoğu reflöktörlerde kullanılmaktadır. İletkenlik özelliği yüksektir. Konsantre veya seyreltilmiş asitlerde örnek verecek olursak sülfirik asit, tuz asidi, sirke asidi gümüşü az miktarda etkileşime geçer.

Gümüş çoğunluk tuzlara karşı, organik maddelere dayanabilen etkilenmeyen bir metaldir. Fakat bol oksijenli ortamlarda kükürtlü hidrojene karşı dayanıksızdır ve gümüş sülfür meydana gelir.

Gümüş kaplama çeşitli elementlerde ince bir yüzey kaplama ile dış etkenlere korozyonları karşı dayanıklılık sağlamaktadır. Alimünyum, pirinç, bakır, nikel veya demir üzerine gümüş kaplanabilir. Aşınmaya karşı daha dayanıklı daha sağlam (bir mukavemet) bir katman elde edilir (Yonar K.1979).

Metal kaplama endüstrisi, metallerin yüzeyini ekonomik, ergonomik açıdan ve kullanılabilirliğini artırmayı amaçlayan endüstri dalıdır (Yılmaz, S.). Galvanizleme ise metal ürünlerin sulu çözeltilerinde elektrik akımı ile istenilen ölçüde metal ile kaplama işlemidir. Kaplama yapılacak olan metal olabilmemesinin dışında suni ürün malzemelerde de olabilmektedir (Denz, W., ve Eminoğlu, S., (2009).

Kaplamalarda kullanılan metaller nikel, çinko olmakla beraber krom, tunç, alüminyum, kadmiyum, pirinç, kalay, bakır, gümüş ve altın gibi maddeler sık kullanılmaktadır (Denz, W., ve Eminoğlu, S., (2009). Uygulanan işlemlerin farklılıklarından dolayı banyolar da asitler, kompleks yapıcılar, organik katkı maddeler bazlar, siyanür vb. asitler, yağlar ve yüzey aktif maddeler bulunabilmektedir (Arslan, T., (2008). Kaplamada hangi metal kullanılacaksa ona göre bazı faktörler değerlendirilerek ve ekonomik açısından değerlendirme yapılarak karar verilir.

Kaplama için kullanılacak metallerin tuz çözeltisi hazırlanarak malzeme katoda bağlanarak, metal iyonlarının elektrik akımı yoluyla yüzeye geçerek yüzey üzerine kaplaması gerçekleştirilir.

Günümüzde dünyada farklı metal kaplama uygulamaları kullanılmaktadır. Türkiye’de uygulamalarında sıcak daldırma ve elektrolitik metal kaplama uygulamaları görülmektedir. Proses tariflerinde bu yöntemler üzerinde yoğunlaşmıştır.

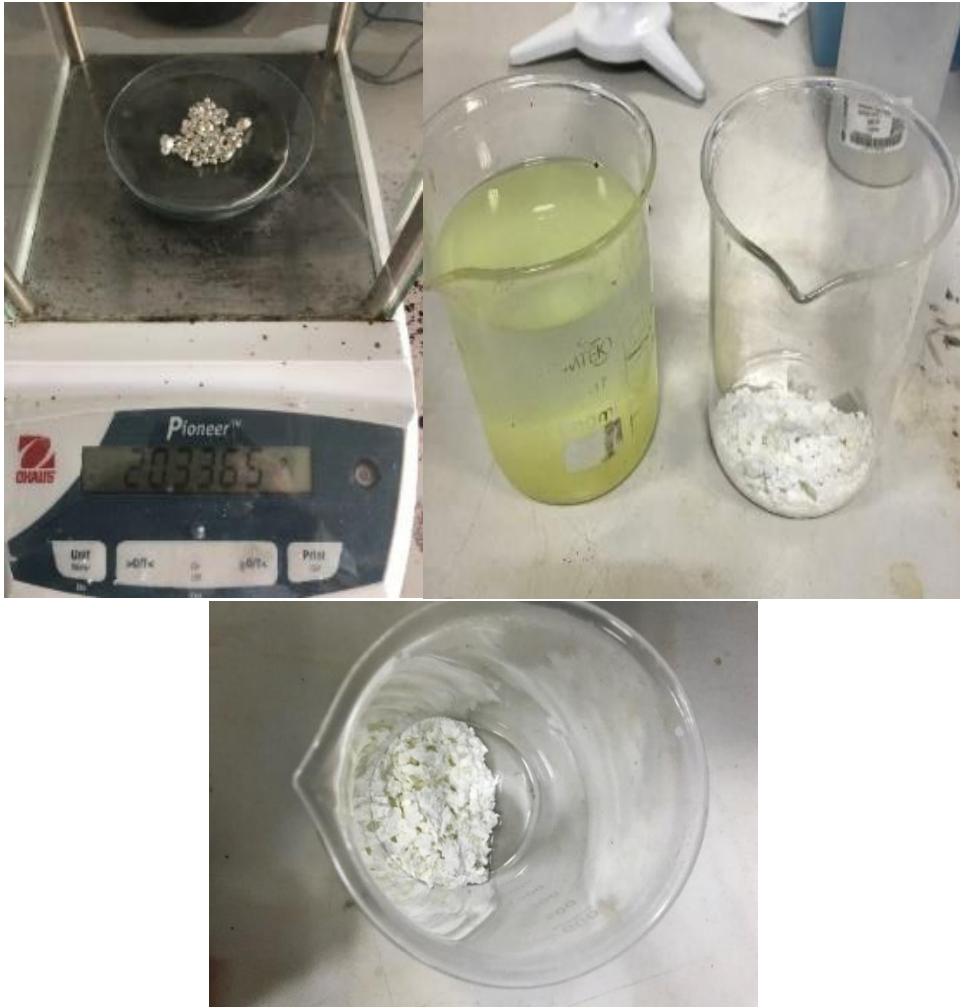
Elektroliz yolu ile kaplama için kullanılacak metallerin tuz çözeltisi hazırlanarak malzeme katoda bağlanarak, metal iyonlarının elektrik akımı yoluyla yüzeye geçerek yüzey üzerine kaplaması gerçekleştirilir.

Metal kaplama prosesleri bir dizi aşamalar hattından oluşur. Kaplamaya geçilmeden önce malzemenin oksitlerden ve yağlardan temizlenmesi gerekmektedir. Malzeme her uygulamadan sonra yıkanması gerektiğinden kaplama işlemlerinde sıralı şekilde birbirini takip eden yıkama aşamalarından geçirilir ve son olarak lekesiz şekilde kurutulur.

Bu çalışmamızda piyasada bulunan gümüş nitrat ve gümüş siyanür banyolarına alternatif olarak gümüş klorür bazlı yeni nesil elektroliz banyo çözeltilerinin hazırlanması ve uygulama koşullarının belirlenmesi amacıyla bir dizi bilimsel deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Bu farklı yöntemler ile üretilen ürünlerin, klasik üretim teknolojileri kullanılarak yapılan üretim ile karşılaştırması yapılacaktır.

## YÖNTEM

Gümüş klorür elde etmek için saf gümüşü; gümüş miktarının üç katı nitrik asit (%50 v/v) ve aynı miktarda saf su ile bir beher içinde sıcaklık 100 °C'de manyetik karıştırıcıya konarak belli bir sürede gümüşün tamamen gümüş nitrat olarak çözünmesi sağlanmıştır. Böylelikle gümüş nitrat sıvısı elde edilmiştir. Daha sonra seyreltik hidroklorik asit çözeltisi, elde edilen gümüş nitrat çözeltisine yavaş yavaş eklenerek beyaz gümüş klorür çökeltisi oluşmaya başlamıştır. Reaksiyon tamamlanana kadar hidroklorik asit çözeltisi eklenmiştir. Elde edilen gümüş klorür çökeltisini ayırmak için katı/sıvı ayırım işlemi yapılmıştır. Yıkama işleminden sonra bünyesindeki su uzaklaştırılmış gümüş klorür çökeltisi elde edilmiştir. Elde edilen bu çökelti 70 °C'lik etüv fırında bir gün kurumaya bırakılmış ve kuruyan gümüş klorür çökeltisini havanda döverek toz haline getirilmiştir.



Şekil 1.Gümüşün, gümüş klorüre dönüşüm fotoğrafları

## 2.1. AgCl+NH<sub>3</sub>(Amonyak) Banyosu ile Elektroliz

100 ml saf suya 9 gr. sodyum tiyosülfat eklenerek manyetik karıştırıcıda çözdürdükten sonra 1gr. AgCl'yi çözdürdükten sonra kaplama üzerinde amonyağın kaplamanın üzerindeki etkisini görmek üzere her kaplamadan sonra artırarak üzerindeki etkisini görmek ve analiz etmek için kaplamaya geçilmiştir,

1.Kaplamada 1V 0,2 A le hiç amonyak ekmeden kaplamaya geçildi ve 5 sn.'de hiç kaplama gerçekleşmedi fakat saniye arttıkça kaplama gerçekleştiği görüldü. Fakat sağlıklı bir analiz için 5 sn üzerinden gidileceği için bu sadece gözlemlene de kalmıştır analiz kayıtlarına alınmamıştır.

2.Kaplamada 1V 0,2 A 5 sn'de1 ml amonyak eklenerek yapılan kaplama da çok hızlı bir şekilde kaplama başarılı şekilde olduğu ve böylece kaplamayı hızlandırdığı gözlemlenmiştir.

3.Kaplamada 1V 0,2 A 5 sn'de1 ml daha amonyak eklenerek yapılan kaplamada ise 2 ml amonyaklı banyoda daha kaliteli bir kaplama doğru gittiği parlaklığı artırdığı gözlemlenmiştir,

4.Kaplamada 1V 0,2 A 5 sn'de1 ml daha amonyak eklenerek 3 ml'ye tamamlanarak kaplamanın daha parlak daha hızlı şekilde kaplamanın gerçekleştiği görülmüştür,

5.Kaplamada 1V 0,2 A 5 sn'de1 ml amonyak daha eklenerek 4 ml amonyaklı banyoda parlaklık ve hızlı kaplama şekli giderek artarak devam etmiştir.

6.Kaplamada 1V 0,2 A 5 sn'de5 ml'ye tamamlanarak kaplama gerçekleştirilmiştir.

DENEY GRUBU 1	<b>PARAMETRE:</b> AgCl: 1 gr Volt: 1 V Süre: 5 sn Tiyosülfat: 9 gr	<b>Takip Edilecek Parametre:</b>  Amonyak (ml)	0	4
			1	5
			2	7,5
			3	10

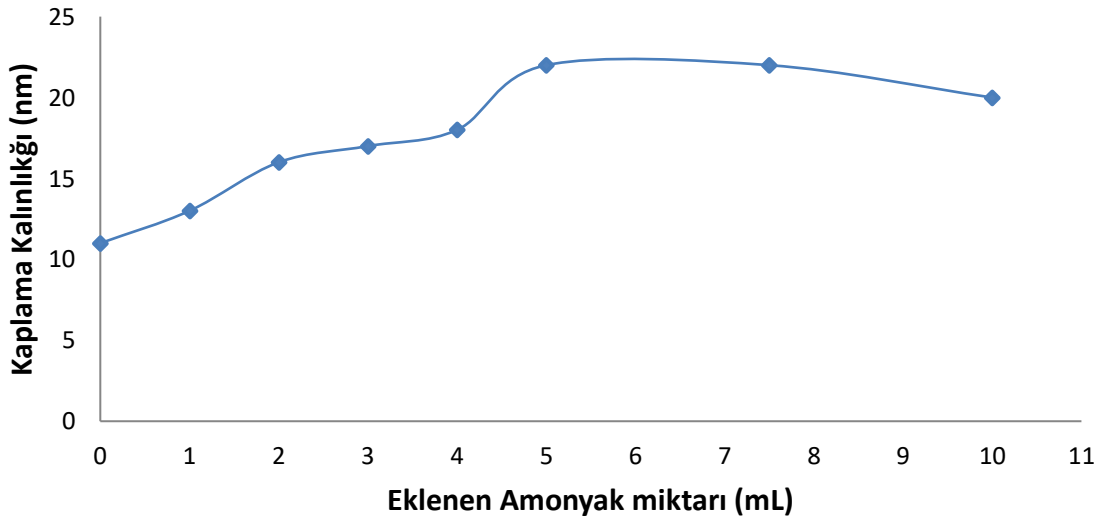
## BULGULAR VE SONUÇ

Bu çalışmada gümüş metalinin farklı uygulamalar ile elektroliz edilerek kaplama teknikleri üzerine değişkenlerin etkisi incelenmiş ve karakterizasyonu yapılmıştır. Bakır levha üzerine Volt (V), Amper (A), S.tiyosülfat (gr), AgCl (gr), Süre (sn), Kalınlık (nm), Amonyak (ml) değişkenleri yönünden incelendiğinde amonyağın farklı oranlarda uygulanması ile gümüş kaplamada olumlu etkisi bulunduğu belirlenmiştir.

AgCl+Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Sodyum Tiyosülfat)'le, NH<sub>3</sub> (Amonyak) göre elektroliz analiz sonuçları

	Volt (V)	Amper (A)	S.tüyosülfat (gr)	AgCl (gr)	Süre (sn)	Kalınlık (nm)	Amonyak (ml)
D1-1	1	0,2	9	1	5	11	0
D1-2	1	0,2	9	1	5	13	1
D1-3	1	0,2	9	1	5	16	2
D1-4	1	0,2	9	1	5	17	3
D1-5	1	0,2	9	1	5	18	4
D1-6	1	0,2	9	1	5	22	5
D1-7	1	0,2	9	1	5	22	7,5
D1-8	1	0,2	9	1	5	20	10

Çizelge 1.Amonyak değişkenli deney banyosu analizi



Grafik 1.Amonyak değişkenli banyo grafiği

Bu banyoda amonyaksız kaplamada sürenin arttığı görülmüştür. Amonyak 1 ml dahi olsa hızlandırıcı özelliği gözden kaçmamaktadır.

Bu hazırlanan elektroliz banyo çözeltisine amonyak eklenerek kaplamanın etkisi araştırılmıştır. Ortam koşulları değiştirilmeden amonyak miktarının artması ( % 0-0,4-0,8-1,2-1,6-2 ) ile kaplama kalınlığının arttığı (11-13-16-17-18-22 nm) gözlenmiştir. % 2-3 ml amonyak miktarında kaplama kalınlığının sabit kaldığı belirlenmiştir. % 3-4 amonyak eklemelerinde ise kaplama kalınlığının azaldığı belirlenmiştir. Bu sonuç bize; amonyak miktarının % 3 den sonra elektroliz banyo çözeltisinde bozunmaya neden olduğu göstermiştir. Aynı şekilde kaplamanın görünürlüğüne bakıldığında ise; amonyağın artırıldığında parlaklığını da gözle görülür şekilde artırdığı gözlemlenmiştir. Yine amonyak miktarının % 3 den sonra ise yanma yaptığı kararına yapıldığı gözlemlenmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Birimi tarafından BAP-2021/3-14 YLS nolu proje ile desteklenmiştir.

## KAYNAKÇA

-Denz, W., ve Eminoğlu, S., (2009). Türkiye’de Sanayiden Kaynaklanan Tehlikeli Atıkların Yönetiminin İyileştirilmesi-Metal Kaplama Galvanizasyon Rehber Döküman, Life Hawaman Projesi, Çevre ve Orman Bakanlığı.

-Ada, H. D. (2004). Gümüş Cevherlerinde Ve Gümüş Endüstrisi Atıklarında Icp-Oes Spektrometresi İle Nadir Toprak Elementlerinin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

-Köymen, G. (2013). Eti Gümüş A.Ş.’de Siyanürle Gümüş Üretimi Ve Gümüş Veriminin Artırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

-Özdemir, H. I. (1981). Genel Anorganik ve Teknik Kimya, İstanbul, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, 851-852.

-Yılmaz, S., (2008). Metal Kaplama Endüstrisi Atıksularının Fenton Oksidasyonu İle Arıtımı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

-Ün, R. (1968). Metal Kimyası Dersleri, İstanbul, İstanbul Üniversitesi Yayınları, 294-465 s.

-Aktaş, S.(2019). Gümüş Endüstrisi Cevher Ve Atıklarında Bazı Elementlerin ICP-OPS İle Tayini,Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

-T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetim Genel Müdürlüğü, “Metal Kaplama Sektörü üzerine yapmış olduğu Sektörel Atık Kılavuzları”, s.5.

## Alpaslan II Hidroelektrik Santralinde Bara Gerilimi Regülasyonu

Arif KESİK<sup>1</sup>  
Altuğ BOZKURT<sup>2</sup>

### Giriş

1882'den beri dünyanın enerji üretiminde önemli bir yeri olan Hidroelektrik santralleri temiz ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak halen kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarında emre amadelik ve ekonomik bakımından rekabet edilebilecek öncül kaynak türü hidroelektrik enerji santralleridir. Teknolojisi ve çalışma prensibi eski yıllara dayanmakla birlikte günümüzde halen en büyük enerji santralleri sıralamasında güç potansiyeli bakımından ilk 6 sırayı hidroelektrik santralleri yer almaktadır (Wikipedia, 2022). Bu sebeple hidro gücünün elektrik iletiminde şebekeyi desteklemesi ve kaliteli enerji aktarımına katkıda bulunması büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada 280 MW gücündeki Alpaslan II hidroelektrik santrali incelenmiştir. Alpaslan II hidroelektrik santralinin ikaz kontrol sistemine ait reaktif güç yönetiminin şebekeye etkileri ele alınmış ve gerçek test sonuçları ile incelenmiştir. Uyarım sisteminin (ikaz) kontrol modları reaktif güç yönetimi kontrol modu , stator gerilim kontrol modu, güç faktörü kontrol modu ve bara gerilim regülasyonu modu (şebeke gerilim takip modu) olarak 4'e ayrılmaktadır. Bara gerilim regülasyonu ve şebeke gerilim takip modunun kontrol sisteminde ve kontrolörlerde nasıl işleme alındığı detaylı olarak ele alınıp ilgili komponentleri ile çalışma prensipleri anlatılmıştır. Santralin üniteleri aktif güç üretimi yapmakta iken rotora uygulanan gerilim değeri en düşük ikaz, en yüksek ikaz ve nominal seviyesinde uygulanmış ve reaktif güç değerlerinin değişmesiyle şebeke üzerindeki etkileri gözlenmiştir. Bu testlerden elde edilmiş sonuçlara göre otomatik bir kontrol bloğu tasarlanmış ve iletim hatlarının yüksek gerilim tarafında arzu edilen gerilim seviyeleri desteklenmiştir.

Hidroelektrik santrali en basit şekilde tanımlarsak; baraj gövdesinin arkasında bulunan rezervuarın suyu, su giriş kapıları ve bu suyun türbine kadar aktığı basınçlı boru hattı, türbin, generatör, ikaz sistemi ve kontrol sisteminden oluşmaktadır. Güç sisteminde ve enerji işetim hatlarında değişken olmayan ve Türkiye örneği için 50 Hz değerinde bir frekans elde etmek için her güç ünitesinde ve yük tevzi merkezinde üretim kontrolü yapılmaktadır. Yük tevzi merkezi güç sistemi ağındaki üretimi ve baradaki gerilimi kontrol eder ve tüketim ile kayıpların toplamına eşit bir üretim planlaması ve dağılımı yapmaktadır. Ayrıca, her bir santralde çıkış frekansını sabit tutmak amaçlı üretimi otomatik olarak kontrol eden bir kapalı devre kontrol sistemi, hız regülatörü bulunmaktadır (Yolcubal, 2011, s. 14).

### Yöntem

Örnek olarak incelenen Alpaslan 2 santralının dağıtılmış kontrol sistemine ait olan kontrolör ekipmanları Rockwell otomasyona ait Allen Bradley PLC ve SCADA yazılımları Factory Talk SE Client, Logix Designer 5000'dir. Sistem santraldeki elektriksel kablo bağlantıları kontrol panolarındaki IO modüllerine yapılmıştır ve taşınan her analog ve dijital veri yazılımsal olarak

---

<sup>1</sup> Arif Kesik, Yüksek Lisans Öğrencisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1arifkesik@gmail.com, Orcid: 0000-0002-1775-6045

<sup>2</sup> Altuğ BOZKURT, Dr. Öğr. Üyesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, abozkurt@yildiz.edu.tr, Orcid: 0000-0001-6458-1260

işlenmiştir. Veri analizi için geçmişe dönük çekilmiş data ve grafikler Historian Server üzerinde kaydedilmiş ve Factory Talk Vantage Point yardımı kullanılarak trendler oluşturulmuştur. Tablo 1’de Alpaslan 2 HES’e ait bilgiler yer almaktadır.

**Tablo 1** Alpaslan II Barajı ve HES (Energo Pro Türkiye, 2022)

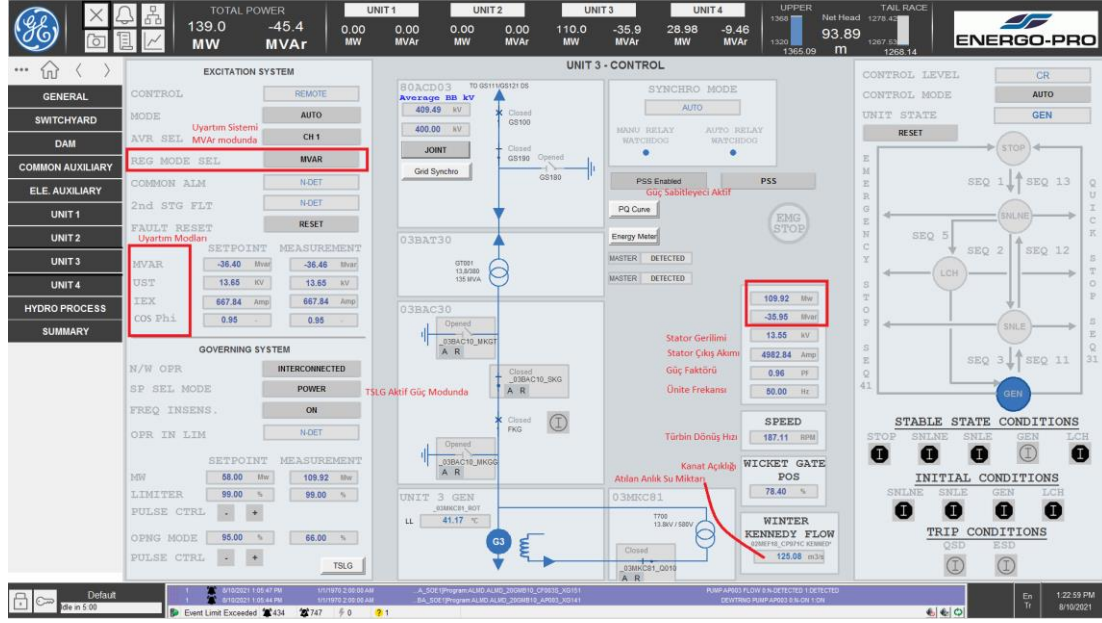
Santral	Yer	Devreye Alma Tarihi	Kurulu Güç (MW)	Enerji Üretimi Yıllık (GWh)
Alpaslan 2 Barajı ve HES	Muş	Aralık 2020	280 (2 x 110,85 + 2 x 29,15)	882

### Alpaslan 2 Hidroelektrik Santrali İkaz (Uyartım) Sistemi Kontrol Modları

Elektriğe olan talebin zamanla artmasıyla birlikte üretim birimlerinin kullandığı fosil yakıtlar azalmaya ve yenilenebilir enerji kaynakları artmaya başlamıştır. Ancak ekonomik sebepler ve çevresel faktörler nedeniyle dağıtık üretim birimlerinin şebekeye entegrasyonu her geçen gün artmaktadır. (Short, 2004). Santralde ana sistemlerin kendi içlerinde farklı modları bulunmakta ve bu seçimler ile birlikte Türkiye şebekesine farklı anlamlarda destekleri bulunmaktadır. Ana sistemleri türbin kontrolü, ikaz sistemi kontrolü ve kontrol sisteminin yönetimi olarak 3’e ayrılmaktadır. Bu çalışmada ikaz sistemi ve onun şebekeye etkileri ele alınmaktadır. Generatörün rotoru bu sistem tarafından DC akım ile tahrik edilmektedir. Kendisine ait 3 fazlı bir transformatörü ve rectifier (doğrultucu) sistemi bulunmaktadır. Generatörü tahrik etmesi için sürekli olarak rotora bir DC besleme uygular ve sanal güç üretir. Bunun sonucunda Lenz kanunu gereği statorda AC bir akım elde edilir. Bu stator akımı Step-Up (Yükseltici) transformatörüne yükseltilmesi için yollanır. İkaz sistemi (excitation system) diğer adıyla uyartım sistemi generatörün rotorunu tahrik eden ve statorda alternatif gerilim endüklemeye yarayan sistem olarak isimlendirilmektedir. İkaz sistemi içerisinde tahriklenmesi için 13.8kV/300V’luk bir düşürücü transformatör, ikaz sistemine ait kontrolör ve tristör köprüleri bulunmaktadır. Santralin elektriksel olarak şebekenin yani Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi’nin (TEİAŞ) emirleri ve talepleri doğrultusunda enterkonnekte sisteme katkıları bu modlar çerçevesinde gerçekleşmektedir. Sisteme ait 3 adet kontrol modu bulunmaktadır. Bunlar reaktif güç kontrolü (MVAR) , stator çıkış gerilimi modu (Ust) ve güç faktörü modu(CosPhi) olarak gruplandırılmaktadır.

Elektrik sistemleri, elektriği merkezi ve büyük üretim birimlerinden son tüketiciye göndermek için tasarlanmıştır. Bu nedenle elektrik dağıtım şebekeleri, gücün daha yüksek gerilimli baradan düşük gerilimli baraya aktığı radyal tasarımı pasif sistemler olarak tasarlanmıştır (Kesici, Yapıcı, Güneş, Alboyacı, & Kurtoğlu, 2018). Elektrik dağıtım sisteminde artan entegrasyon, üretim miktarındaki değişkenlik ve sabit olmayan sürekli değişken üretim ve tüketim dengesizliği, sistemdeki yük akışı ve kısa devre koşullarının değişmesine neden olur. Dağıtık üretim üniteleri, bara gerilimlerinin yükselmesi, güç kayıpların artması ve güç faktörünün yani verimin azalması gibi sorunlara yol açarak enerji verimliliğini ve sürekliliğini olumsuz yönde etkiler (Jiang, Zhang, Cao, & Piao, 2013).

Şekil 1'de Alpaslan 2 HES'te kullanılan ikaz modları ve kontrol sayfası görülmektedir.

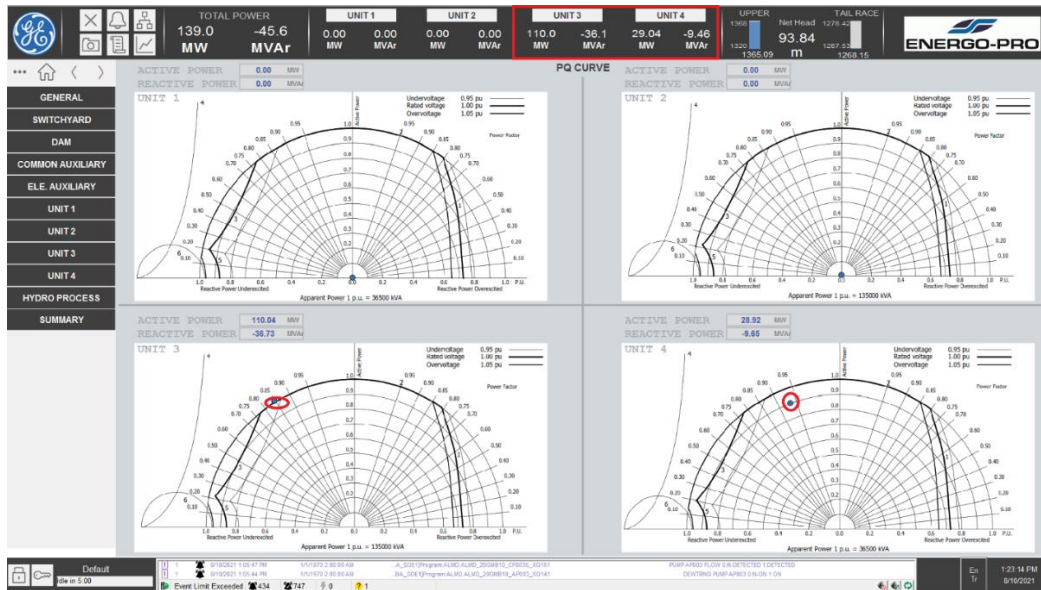


Şekil 1 İkaz Modları (Alpaslan 2 Hidroelektrik Santrali, 2022)

Şekil 1'de Alpaslan II santralinin kontrol sayfası görülmektedir. Kırmızı ile gösterilen MVAR, Ust, Cos Phi uyarım seçenekleri arasında MVAR seçilmiştir.

## Reaktif Güç Yönetimi (MVAR Kontrol Modu)

MVAR tercih edildiğinde SCADA üzerinden girilen ve arzu edilen reaktif güç endüktif yada kapasitif olarak şebekeden çekilmekte yada şebekeye verilmektedir. Eğer santral eksi yönde MVAR üretirse yani şebekenin reaktif gücünü kendi içinde harcaysa bağlı olduğu enterkonnekte sistemin bara gerilimi düşürülür. Artı yönde MVAR verildiğinde ise bara gerilimi yükseltilmiş olur. TEİAŞ bu artı ve eksi yöndeki etkileri bir standarda koyup bir zorunluluk haline getirmiş ve istediği bara geriliminin %1.5 tolerans dahilinde santrallerden desteklenmesini gereklilik haline getirmiştir.



Şekil 2 Aktif Güç Reaktif Güç Eğrileri (Alpaslan 2 Hidroelektrik Santrali, 2022)



Şekil 2’de aktif güç ve reaktif güç eğrileri (PQ Curve) görülmektedir. Aktif güç ve reaktif gücün kesişmesi ile PQ eğrisi dediğimiz eğriler oluşmakta ve generatörün endüktif ya da kapasitif çalışma karakteristiğini belirtmektedir.

### Stator Gerilim Kontrol Modu (Ust Kontrolü)

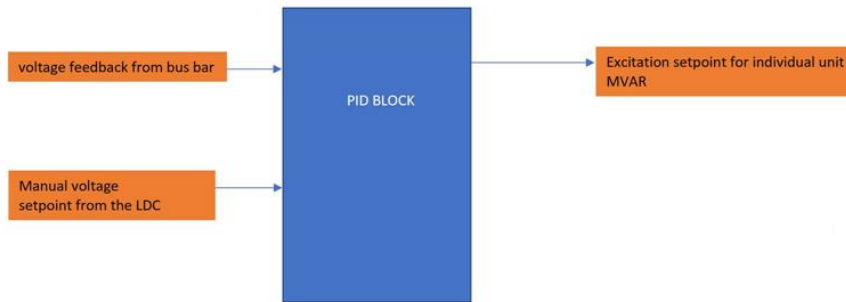
Bir diğer ikaz modu statorun çıkış geriliminin örnek olarak 13.11 kV (düşük ikaz), 13.8 kV(nominal gerilim) ve 14.49(aşırı ikaz) değerleri arasında bara gerilimi transformatör oranıyla bizzat kontrol edilebildiği bir sistemdir. Aslında düşük ikaz ayarlandığında eksi yönde reaktif çekilmiş olup, aşırı ikaz verildiğinde artı yönde MVAR sisteme verilmektedir.

### Güç Faktörü Kontrol Modu (Cos Phi Kontrol Modu)

Cos Phi yani güç faktörü modu ise -1 ve +1 arasında generatörün endüktif yada kapasitif çalışma şeklini belirleyerek istenilen güç faktörü değerinde çalışmasını ayarlamaktadır. Şekil 1’deki SCADA ekran görüntüsünde örnek olarak MVAR modu seçilmiş ve ölçülen değerler ekranda gösterilmiştir.

### Bara Gerilim Regülasyonu Modu (Şebeke Gerilim Takip Modu)

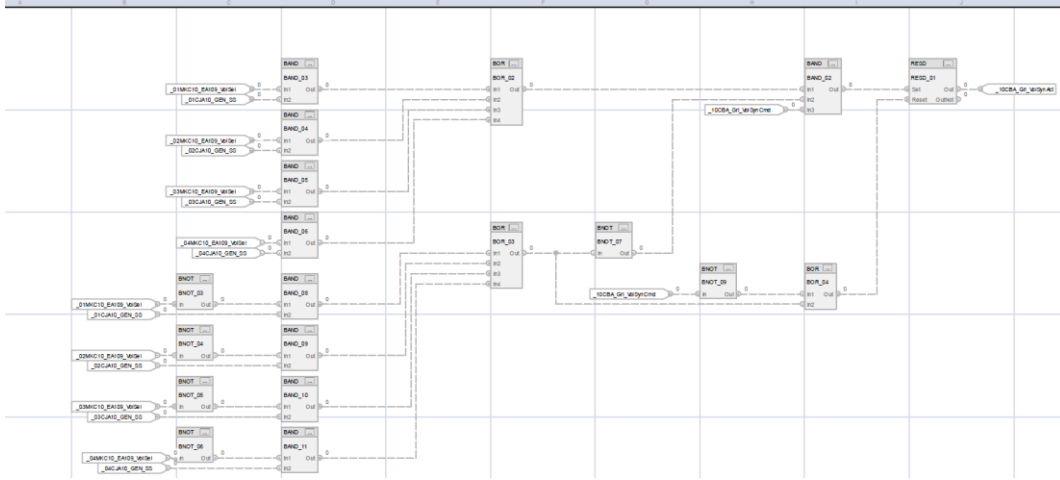
Bara gerilim regülasyonu yani şebeke gerilimini takip etme modu dediğimiz sistem; şalt tarafındaki baraların devrele olan diğer üreticiler yani enerji santrallerinin ya da tüketici olan fabrika, hastane gibi enerjiyi kullanan yüklerin baradaki gerilime olan etkilerini en aza indirgeyerek arzu edilen gerilim değerine ulaşmasını sağlamaktadır. Bir diğer deyişle tüketicilerin reaktif güç tüketmesi ya da üretmesi sonucu iletim hatlarında ve baralarda oluşan fazla veya eksik olan reaktif güç tüketiminden kaynaklı gerilim dalgalanmasını örnek olarak 400 kV mertebesinde sabit çalışması için santral ikaz sisteminden setpoint emirleri göndererek dengeleme yapmasıdır. Şekil 3’teki blok diyagramda genel transfer fonksiyon ve kontrol mantığı yer almaktadır. Yani şalt sistemine ait baradan canlı alınan gerilim bilgisini değerlendirip devrede olan tüm ünitelere ikaz sisteminin gerekli set değerini göndermektedir. Şekil 3’te bara gerilim regülasyonuna ait genel transfer fonksiyonu ve kontrol mantığının yer aldığı blok diyagram gösterilmiştir.



Şekil 3 Bara Gerilim Regülasyonu Blok Diyagramı (Kesik, 2022)

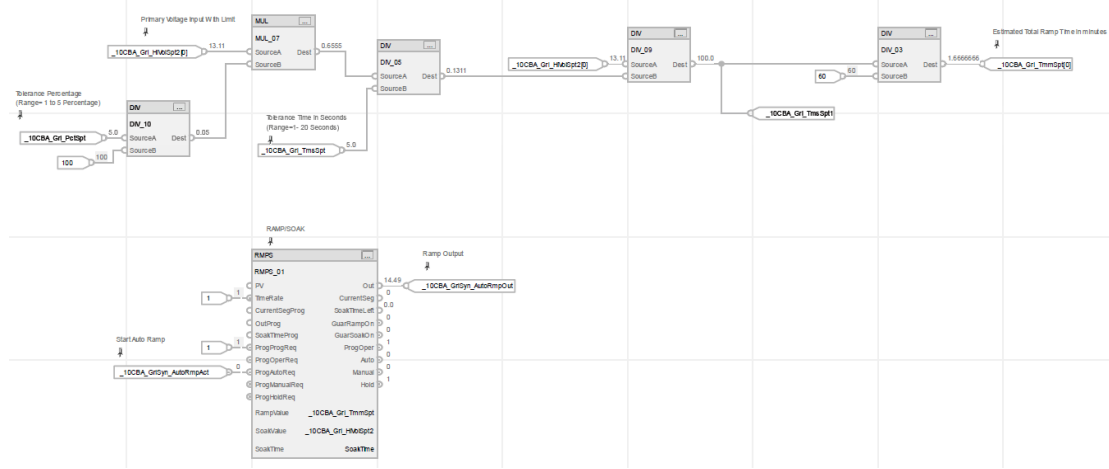
Aşağıda bara gerilim regülasyonuna ait kontrol sisteminde kullanılmış blok şemalarına yer verilmiştir. Türkiyedeki standartlara göre %1.5 toleransın dışına çıktığında bu sistem devreye girmektedir. Örnek vermek gerekirse 400 kV’luk TEİAŞ emrine göre + ve – yönde %1.5 6 kV’luk bir değer yapmaktadır. Yani 394 kV ve 406 kV değerinin içindeyken santrallerden bir katılım

sağlanması zorunlu değil lakin bu tolerans değerinin dışına çıktığında katılım yapılması istenmektedir.



Şekil 4 Bara Gerilimi Regülasyonuna ait Blok Diyagram (Alpaslan 2 Hidroelektrik Santrali, 2022)

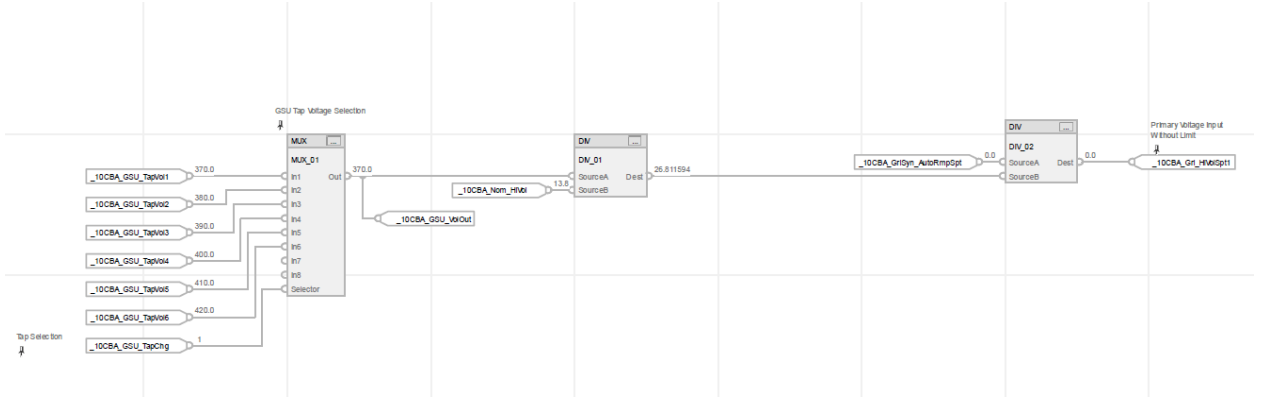
Şekil 4'te lojik devrede olan ünitelerden tamamı bara gerilim regülasyonunda ise ve bara gerilimi %1.5 toleransın dışında ise bu sistem devrededir. Bunun için aşağıdaki mantıksal lojik tasarlanmıştır ve gerekli işlemler ilgili kontrolörlere iletilmektedir.



Şekil 5 Bara Gerilimi Regülasyonuna ait Blok Diyagram 2 (Alpaslan 2 Hidroelektrik Santrali, 2022)

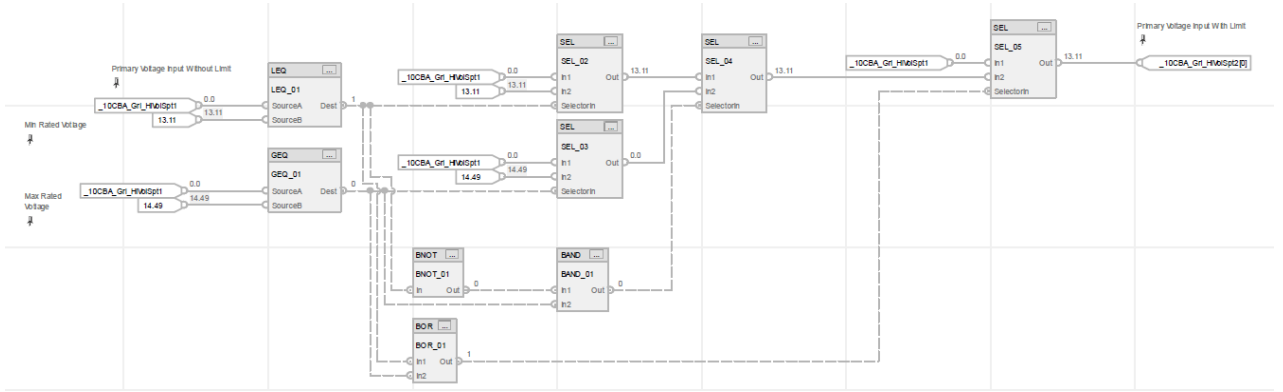
Şekil 5'te lojikte TEİAŞ'ın arzu ettiği bara gerilim değerine göre, ikaza gönderilmesi gereken kV değerinin kaç saniyede değişmesini belirleyen rampa fonksiyonuna ait blok ve lojik yer almaktadır.

Mantıksal lojikte ek olarak transformatör kademe seviyesinin matematiksel olarak set edilmesi gereken kV değerine etkileri ve blokları yer almaktadır. Bilindiği üzere 1. Kademe ve 6. Kademe ayarları için alçak gerilimde statora endüklenen gerilim değeri değiştiğinde yüksek gerilimden çıkan değerlerde trafo kademesi çarpanı kadar artacak ya da azalacaktır. Bizim kullandığımız transformatör için kademe bilgileri 370 kV, 380 kV, 390 kV, 400 kV, 410 kV ve 420 kV olacak şekilde 6 seviyeden oluşmaktadır. Şekil 6'da bu blok kademe bilgilerinin girdileri görülmektedir.



Şekil 6 Bara Gerilimi Regülasyonuna ait Blok Diyagram 3 (Alpaslan 2 Hidroelektrik Santrali, 2022)

Şekil 7'deki lojikte ikaz sisteminin limitlerini ayarlamak adına kullanılan matematiksel denklemler yardımıyla oluşturulan bloklar yer almaktadır. İkaz değerlerini düşük ve aşırı (under-excited ve over-excited) ikaz için limitler dahilinde tutmak adına bir limitleme yapılmıştır.

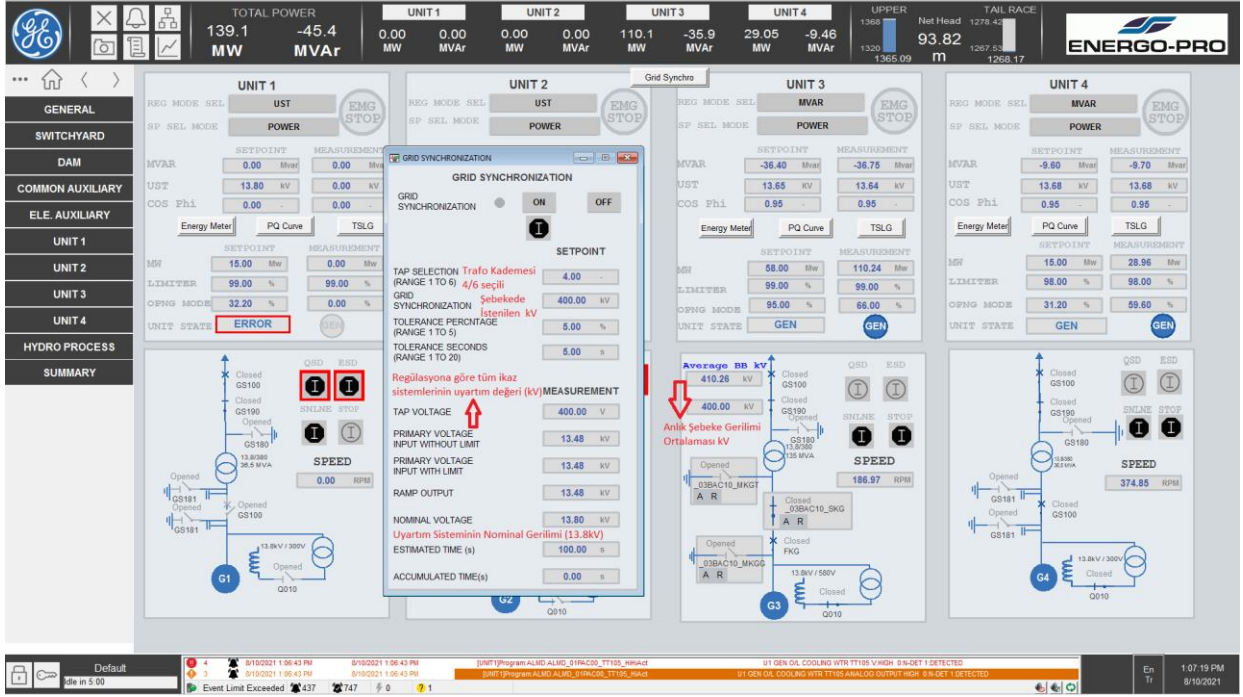


Şekil 7 Bara Gerilimi Regülasyonuna ait Blok Diyagram 4 (Alpaslan 2 Hidroelektrik Santrali, 2022)

Yani sistemde gerilim ne kadar yüksek ya da düşük olursa olsun ikaz sistemi fonksiyonu 13.11 kV ve 14.49 kV değerlerini ihlal etmemektedir. Generatör ve ikaz sistemi tasarımından dolayı böyle bir limitleme yapılmaktadır.

## Bara Gerilimi Değişiminin İncelenmesi

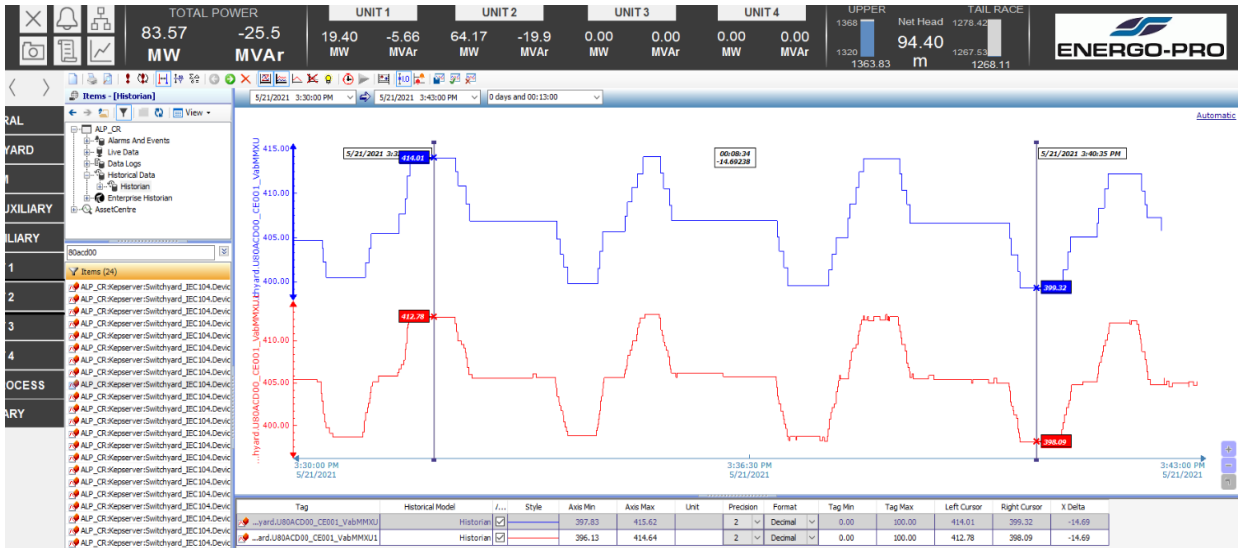
Rüzgar, güneş ve hidro gibi yenilenebilir enerji kaynakları, petrol, doğal gaz veya kömür gibi geleneksel enerji kaynaklarına güvenilir bir alternatif olarak görülmektedir. Elektrik şebekesine bağlı dağıtılmış güç üretim sistemlerinin artan sayısı nedeniyle, güç kalitesi, güvenli çalışma ve ada koruması ile ilgili yeni ve daha katı standartlar yayınlanmaktadır. Sonuç olarak, üretim sistemlerinin kontrolü, şebeke gereksinimlerini karşılayacak şekilde sürekli iyileştirilmelidir. (Blaabjerg, Teodorescu, Liserre, & V. Timbus, 2006, s. 1398)



Şekil 8 Bara Gerilim Regülasyonu SCADA Ekranı (Alpaslan 2 Hidroelektrik Santrali, 2022)

Şekil 8'de bara gerilim regülasyonu modunun nasıl devreye girdiği ve parametreleri gösterilmiştir. Ana transformatörün gerilim kademesi 4'e ayarlanmıştır ve bu 400 kV anlamına gelmektedir. Tolerans değeri %1.5 olduğu için sistem burada otomatik olarak devreye girmektedir.

Gerilimin istenmeyen şekilde yükselmesi sorunu, büyük miktarlarda dağıtık üretimin orta gerilim ve alçak gerilim dağıtım şebekelerine bağlanmasına karşı en önemli endişe olarak rapor edilmiştir. (Carvalho, Correia, & Ferreira, 2008, s. 766)



Şekil 9 Bara Gerilimindeki Artış ve Yükseliş (Alpaslan 2 Hidroelektrik Santrali, 2022)

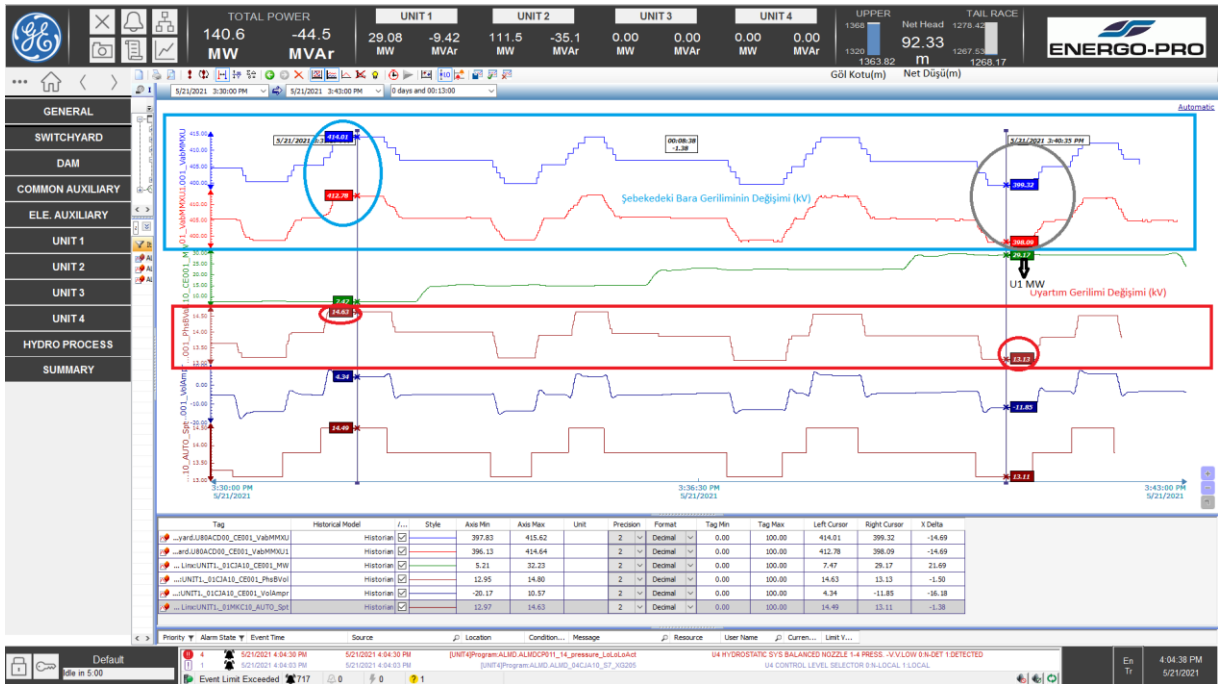
Örnek olarak şekil 9'da bu set değerlerinin değişikliğine bağlı olarak bara gerilimindeki değişim gösterilmiştir. Örnek olarak bara gerilimi şebeke etkilerinden 420 kV'a çıkmış ise bizim santralimizin ikaz sistemi generatörün rotorunu düşük ikaz (Alpaslan II HES ikaz sistemi için aşırı

ve düşük ikaz kademeleri 13.11-14.49 kV olduğunu varsayarsak) 13.11 kV ile tahrik edip statorda düşük bir gerilim sağlayarak generatörümüzün eksik yönde bir reaktif güç üretmesini(- yönde reaktif enerji yani endüktif çalışma şekli) sağlamaktadır.

Bir başka deyiş ile bu olay generatörümüzün fazla reaktif kendi içerisinde harcaması, tüketmesi demektir. Bu olayı tam tersi anlamda da anlatmak istersek; bara gerilimi Türkiye Elektrik İletim A.Ş (TEİAŞ) tarafından istenen 400 kV gerilim mertebesinin altına indiğinde bizim santralimizin generatör üniteleri iletim hatları ve baralarımızdaki düşük gerilimi yani eksik reaktif gücü üreterek (+ yönde reaktif enerji yani kapasitif şekli) şebeke gerilimini regüle edecektir.

Bir güç sisteminde, bağımsız sistem operatörünün temel sorumluluğu, reaktif güç desteği ve rezervlerinin enerji dengeleme ve frekans regülasyonu gibi yan hizmetler sağlayarak sistem güvenilirliğini ve güvenliğini sağlamaktır. İletim hatlarında güç akış limitlerinin ve baralarda gerilim limitlerinin korunabilmesi için sistemde yeterli reaktif güç desteğinin sağlanması gerekmektedir. Ayrıca reaktif gücün şebeke üzerinden taşınması arzu edilmez. (Bhattacharya & Zhong, 2001, s. 294)

Verimliliği artırmak ve sistemdeki gerilimleri düzenlemek ve güç sistemlerindeki kayıpları azaltmak için reaktif güç kontrol edilmek zorundadır. Günümüz dağıtım şebekelerinde gerilim ve reaktif güç kontrolü, güç trafoları, gerilim regülatörleri ve kademe değiştiricili kompanzasyon grupları aracılığıyla yapılabilmektedir. (Senju, Miyazato, Yona, Urasaki, & Funabashi, 2008)



Şekil 10 Bara Gerilimindeki 15 kV Değişim (Alpaslan 2 Hidroelektrik Santrali, 2022)

Değişimlerin yer aldığı SCADA'dan canlı izlenerek alınmış testler ve sonuçlarının ekran görüntüleri şekil 10'da gösterilmiştir. Görüldüğü üzere bara gerilimi ikaz sistemindeki uyarım gerilimini değiştirerek 414.01 kV'luk yüksek gerilim barasın da 15 kV'luk bir gerilim değişmesine etki etmiştir ve 399.32 kV seviyesine indirmiştir. Bu durum için generatörlerimiz endüktif çalışmış eksi reaktif güç üretmiş yani reaktif gücü kendi sargılarında tüketmiştir.

## Sonuç

Çalışmada Alpaslan II hidroelektrik santralının ikaz kontrol sistemine ait reaktif güç yönetiminin şebekeye etkileri ele alınmış ve gerçek test sonuçları ile incelenmiştir. Uyarım sisteminin (ikaz) kontrol modları Alpaslan II santrali için reaktif güç yönetimi kontrol modu , stator gerilim kontrol modu, güç faktörü kontrol modu ve bara gerilim regülasyonu modu (şebeke gerilim takip modu) olarak 4'e ayrılmıştır. Bara gerilim regülasyonu ve şebeke gerilim takip modunun kontrol sisteminde ve kontrolörlerde nasıl işleme alındığı detaylı olarak ele alınmıştır.

Çalışmanın amacı santral ünitelerinin statorlarında endüklenen gerilimin değiştirilmesi ve bunun sonucunda reaktif güç ayarının yapılması ile yüksek gerilim tarafında şebekeden arzu edilen desteğin nasıl yapıldığını anlatmaktır. Çalışma hidroelektrik santrallerin işletilmesine ve operasyonlarına yeni başlayanlar için reaktif güç yönetimi ve ikaz sistemi kontrol modları adına bir kılavuz niteliği taşımaktadır.

## Teşekkür

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü bünyesinde yürütölmekte olan 'Hidroelektrik Santrallerde Kontrol Sistemlerinin İncelenmesi' başlıklı lisansüstü tezi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Çalışmadaki katkılarından dolayı Energo Pro'ya ait Alpaslan II santrali yönetimine teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- Alpaslan 2 Hidroelektrik Santrali. (2022, 04 10). SCADA Görüntüsü. Muş.
- Bhattacharya, K., & Zhong, J. (2001). Reactive Power as an Ancillary Service. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 16, 294.
- Blaabjerg, F., Teodorescu, R., Liserre, M., & V. Timbus, A. (2006). Overview of Control and Grid Synchronization for Distributed Power Generation Systems. *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, Vol. 53, No. 5, 1398.
- Carvalho, P. M., Correia, P., & Ferreira, L. (2008). Distributed Reactive Power Generation Control for Voltage Rise Mitigation in Distribution Networks. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 23, No. 2, May 2008, 766.
- Energo Pro Türkiye. (2022, 18 04). *Faaliyetlerimiz*. Alpaslan 2 Barajı ve HES: <http://www.energo-pro.com.tr/hidro-elektrik-santral-yatirimlari/alpaslan-2-baraji-ve-hes.html> adresinden alındı
- Jiang, F., Zhang, Z., Cao, T., & Piao, Z. (2013). Impact of distributed generation on voltage profile and losses of distribution systems. 32. *Chinese Control Conference*.
- Kesici, M., Yapıcı, R., Güneş, D., Alboyacı, B., & Kurtoğlu, Ş. (2018). Distributed generation control to solve voltage regulation problem in distribution networks: A real case study in Turkey. *2018 6th International Istanbul Smart Grids and Cities Congress and Fair (ICSG)* (s. 1). IEEE.
- Kesik, A. (2022). Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. *Hidroelektrik santrallerde kontrol sistemi ve çalışma Modları*. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Senjyu, T., Miyazato, Y., Yona, A., Urasaki, N., & Funabashi, T. (2008). Optimal Distribution Voltage Control and Coordination With Distributed Generation. *IEEE Transactions on Power Delivery* ( Volume: 23, Issue: 2, April 2008), (s. 1236).
- Short, T. A. (2004). *Electric Power Distribution Handbook*. CRC Press.
- Wikipedia. (2022, 04 25). *List of largest power stations*. Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_largest\\_power\\_stations](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_power_stations) adresinden alındı
- Yolcubal, E. (2011). Hidroelektrik Santrallerinde Governor Kontrolü. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 14.

## Trafik Sinyalizasyon Gecikmeleri ile Trafik Akımları Arasındaki İlişki

Ayşenur HİSAR<sup>1</sup>  
Mesut TİĞDEMİR<sup>2</sup>

### Giriş

Dünyadaki hızla artan nüfus sayısı ile birlikte, teknolojik alanlarda yapılan yeniliklerin getirmiş olduğu gelişmelere bağlı olarak toplu taşıma türlerinde ki ve trafiğe çıkan özel araçlarda ki talep artmıştır. Yüksek nüfus yoğunluğuna sahip şehirlerdeki bazı kesimlerin şahsi araçları ile şehir içerisinde kalabalık şekilde hareket etmeleri trafikte kuyruklanma sorununu doğurmaktadır. Var olan yol kapasitesini en uygun şekilde değerlendirmek için trafik akışının verimli olarak yönetilmesi önemlidir. Verimli olarak yönetilmesinde ki hedef ise trafikteki araç sayısını arttırarak etkin kuyruklanma yönetimini sağlamaktır. Artış gösteren nüfusa bağlı olarak var olan alt yapı sistemlerimiz talepleri karşılamakta zorlanmaktadır. Bu zorlanma yoldaki alan talebinin yolun mevcut kapasitesinden yüksek olması durumunda trafik sıkışıklığı yaşanmaktadır. Bu zorlanmaları en aza indirmek için ise birçok alanda iyileştirmeler yapılması gerekmektedir (Çelik ve Soy, 2014:467).

Trafiğin yoğun bir durumda olmasına rağmen yeşil ışıkların düzenli aralıklarla yanması, trafik akışı sorunsuz ve şerit değiştirmenin en az olması bir yolcu hayalidir. Ancak her şey hayal ettiğimiz gibi olmamaktadır. Günümüzde yolun boş olması durumunda araçların yeşil ışık yanana kadar beklemesi de sadece bir hayal olarak kaldığının örneğidir. Yani otomobiller trafik akışında bulunduğu doğrultuda ilerlemeye çalışırken her bir kilometrede, trafik ışıkları için hızlarını yavaşlatıp beklemektedirler. Araçlardan birinin kavşağa erken gelmesiyle birlikte ışık sinyali etkin hale geçer ve anayolda giden trafik grubunun da durmalarına sebep olmaktadır. Durum böyle olunca araçlar her gün bu sıkıntılarla karşılaşmaktadır. Trafik sıkışıklığı ve yoğunluğun artması; yolcular, sürücüler ve çevre için birçok sorun üretmektedir. Kavşakların sinyal sürelerinin hesaplanmalarına ilişkin yapılan çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

Özdirim (1972), çalışmasında Ankara ve İstanbul şehirlerindeki bir kavşakta yapılan trafik sayım değerlerini göz önüne alarak devre süresi modeli ortaya çıkarmıştır. Buna bağlı olarak ise sinyal abağı geliştirmiştir.

Üçer (2000), Balıkesir’de yer alan birden fazla kavşakta analiz yapmıştır. Sinyalizasyon hesabında Avustralya metodunu kullanmıştır. Çalışmasında Sidra programını kullanmıştır. Programdan elde edilen sinyalizasyon hesap sonuçlarına göre kavşaklarda iyileşmeler gözlemlenmiştir.

Doğan (2005), çalışmasında Aksaray ilindeki kavşakta gözlem yapmıştır. Bu şehir içinde bulunan iki kavşağın gecikme ve devre süreleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda HCM 2000, Webster ve Synchron 4 programları kullanılmıştır. Synchron 4 programından elde edilen değerler kullanılarak, Sim Traffic programı ile kavşakların simülasyonu oluşturulmuştur. Tüm yöntemlerin

---

<sup>1</sup> Ayşenur HİSAR, Yüksek Lisans Öğrencisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği,  
<sup>2</sup> Mesut TİĞDEMİR, Prof. Dr., Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği



sonuçları irdelenip karşılaştırılmıştır. Gözlemlenen veriler doğrultusunda ise kapasite ve gecikme analizi hesaplanmıştır.

Çetinkaya (2008), ilk olarak gözlem yapılan kavşağın hali hazırdaki devre zamanlaması dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Ardından, yeni bir devre zamanı elde edilerek kapasite ve gecikme hesaplaması yapılmıştır. Bahsedilen bu sinyalizasyon hesaplamaları için Webster, Amerikan, Avustralya metotları ve Sidra Intersections 3.2 programı kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda ise, gözlemlenen verilere en yakın değerleri veren Sidra Intersections 3.2 programı olduğu kanısına varılmıştır.

Eraslan (2008), çalışmasında İstanbul şehrinin Ümraniye semtindeki bir dört kollu sinyalize kavşakta HCM ve Akçelik yöntemlerini kullanarak taşıtların gecikme değerlerini hesap etmiştir. Gözlemlerinin sonucundaki araç başına düşen ortalama gecikme değeri ile kendi hesapladığındaki gecikme değerlerinin sonucu karşılaştırılmıştır.

Öztürk vd. (2008), Ankara'nın Çankaya semtinde bulunan Beşevler sinyalize kavşağında analiz yapmışlardır. Trafik sayım verileri yetkili kurumlardan elde edilmiş olup ona göre bir sinyal süresi hesaplama modeli geliştirilmiştir. Örnek alınan sinyalize kavşak üzerinde bu model kullanılarak devre süresi hesaplanmıştır. Ardından mevcut süre ile yeni hesap edilen süre kıyaslanmıştır. Webster yöntemi ile de hesaplamalar yapıp, bulunan devre süresi ve yeşil ışık süresi gibi birçok değerlendirme faktörlerinin hesaplamaları da kıyas edilmiştir.

Dağüstü (2010), İstanbul'daki sinyalize kavşakların sinyal zamanlama algoritmasını Webster metodunu kullanarak geliştirmiştir. Metodu kullanarak ortalama duruş sayısını ve süresini, gecikme süresini, seyahat süresi gibi vb. değerleri alarak kıyaslamalar yapmıştır. Kıyaslamalar sonucunda geliştirmiş olduğu algoritma ile birlikte kavşakların performans değerlerinin yükseldiği gözlemlenmiştir.

Aslan ve Ahadi (2019), Afganistan'daki kavşaklar üzerinde var olan durum ile revize edilen yeni sistemi Vissim ve Sidra yazılımları kullanarak gecikme analizlerinin hesaplamaları karşılaştırılmıştır. Analiz sonucunda ise taşıtların gecikme süresini ve kuyruk uzunluklarını en aza indirgeyerek trafik sisteminin belirli bir düzene girmesini sağlamıştır.

Yin (2019), çalışmasını Xi'an şehrinde oldukça yoğun bir trafik akımına sahip kavşak üzerinde yapmıştır. Webster yöntemini kullanarak sinyal sürelerinde ki iyileştirilmelerin analizini yapmıştır. VISSIM yazılımını kullanarak mevcut sonuçlar ile elde edilen sonuçları simüle etmiştir. Analiz sonuçlarında ise taşıtların gecikme değerleri, kuyruk uzunluğu ve park etme sürelerinde yaklaşık %20 oranında azalmalar olduğunu saptamıştır.

Bu çalışmada ise, Manisa'nın Salihli ilçesinde 2 farklı mevkide bulunan sinyalize kavşakta; (Abay Bulvarı kavşağı, İzmir & Uşak yolu kavşağı) iki ayrı günde sabah ve akşam pik saatlerinde 2021 yılında sahada gözlem ve incelemeler yapıldı. Yapılan gözlemler sonucunda elde edilen trafik hacim değerleri kullanılarak devre süresi hesaplandı. Excel Visual Basic programı ile oluşturulan bir makro ile devre başına düşen toplam bekleme süresi analizi yapıldı. Bu analizi yaparken ise her kolda kırmızı yandığında gelen akım değeri bekleme süresi kabul edildi. Ardından her bir yaklaşık kollarındaki yeşil ışık ve devre süreleri sabit tutulup, trafik hacim değerlerinde oynamalar yapılarak yeniden bekleme ve minimum gecikme değerleri elde edildi. Mevcut kavşak süreleri ile Webster yöntemine göre hesap edilen minimum gecikmeyi sağlayan sinyal süreleri ve gecikme değerleri karşılaştırıldı.

## Materyal ve Metot

Kavşaklarda saatlik trafik hacim değerlerini tespit etmek için belirli bir bölgede kamera kurulup sayım yapıldı. İki adet birbirinden ayrı kavşaklarda gözlemler yapıldı. Bu kavşaklar;

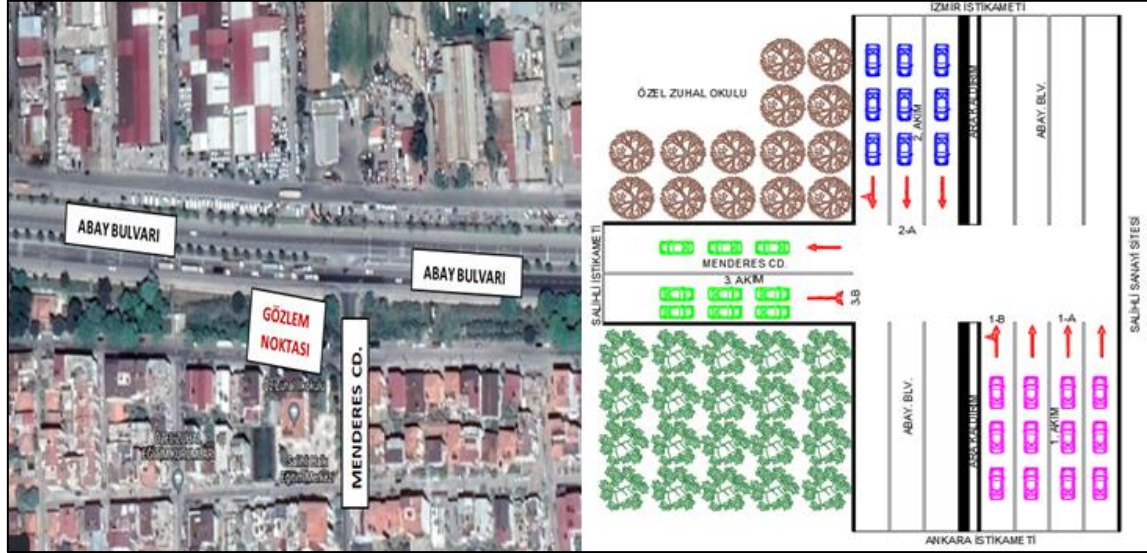
1. Abay Bulvarı kavşağı
2. İzmir & Uşak yolu kavşağı

Abay Bulvarı kavşağında; 03.02.2021 Çarşamba günü sabah 07.00-09.00 saatleri arasında 9 kez trafik akım değerlerinin gözlemleri yapıldı. Abay Bulvarı kavşağında; 05.02.2021 Cuma günü akşamüzeri 17.00-19.00 saatleri arasında 9 kez trafik akım değerlerinin gözlemleri yapıldı. İzmir & Uşak yolu kesişim kavşağında; 18.03.2021 Perşembe günü sabah 07.00-09.00 saatleri arasında 9 kez trafik akım değerlerinin gözlemleri yapıldı. İzmir & Uşak yolu kesişim kavşağında; 20.03.2021 Cumartesi günü akşamüzeri 17.00-19.00 saatleri arasında 9 kez trafik akım değerlerinin gözlemleri yapıldı. Ölçümlerdeki veriler, kavşakların yaklaşım kollarında duran ve yeşil ışık yandığında hareket halinde olan araçlara göre hesap edildi. Yaklaşım kollarındaki araçların tümünün şeritleri terk etmesinden sonra gelen ve durmadan giden araçlar ölçüme dahil edilmedi. Bu çalışma kapsamında kavşakların mevcut trafik akım değerlerinden elde edilen tüm çözümler Örnek 1 başlığı altında verildi. Her iki kavşağın 1-A, 1-B, 2-A, 3-B yaklaşım kolları için trafik hacim değerleri Ref<sub>1</sub>, Ref<sub>2</sub>, Ref<sub>3</sub>, Ref<sub>4</sub> olarak adlandırıldı. Örnek 2 başlığı altında ise; kavşakların 1-A ve 2-A yaklaşım kollarının mevcut ölçüme göre trafik akım değerlerinin %20 oranında azaltılması, 1-B ve 3-B yaklaşım kollarının ise mevcut ölçülen trafik hacim değerlerine göre %50 arttırılması ile yeniden bir kavşak analizi yapıldı. Örnek 3 başlığı altında ise; kavşakların 1-A ve 2-A yaklaşım kollarının mevcut ölçüme göre hesap edilen trafik akım değerleri sabit kaldı. 1-B ve 3-B yaklaşım kollarının ise mevcut ölçülen trafik hacim değerlerine göre %25 arttırılması ile yeniden bir kavşak analizi yapıldı. Örnek durumların açıklaması Tablo 1'de yapıldı.

**Tablo 1.** Örnek durumların açıklaması

Tanım	Tarih	Trafik hacim değerleri (ta/sa)			
		1-A	1-B	2-A	3-B
Örnek 1	03.02.2021	Sahada ölçülen mevcut trafik hacim değerleri (Ref <sub>1</sub> )	Sahada ölçülen mevcut trafik hacim değerleri (Ref <sub>2</sub> )	Sahada ölçülen mevcut trafik hacim değerleri (Ref <sub>3</sub> )	Sahada ölçülen mevcut trafik hacim değerleri (Ref <sub>4</sub> )
	05.02.2021				
	18.03.2021				
	20.02.2021				
Örnek 2	03.02.2021	Ref <sub>1</sub> – Ref <sub>1</sub> * %20	Ref <sub>2</sub> + Ref <sub>2</sub> * %50	Ref <sub>3</sub> -Ref <sub>3</sub> * %20	Ref <sub>4</sub> + Ref <sub>4</sub> * %50
	05.02.2021				
	18.03.2021				
	20.02.2021				
Örnek3	03.02.2021	Ref <sub>1</sub>	Ref <sub>2</sub> + Ref <sub>2</sub> * %25	Ref <sub>3</sub>	Ref <sub>4</sub> + Ref <sub>4</sub> * %25
	05.02.2021				
	18.03.2021				
	20.02.2021				

Abay Bulvarı kavşağının geometrik yapısı Şekil 1’de, sabah ve akşam pik saatlerindeki 9 örnek ölçüm durumu için elde edilen trafik hacim değerleri ise Tablo 2 ve Tablo 3’de verildi.

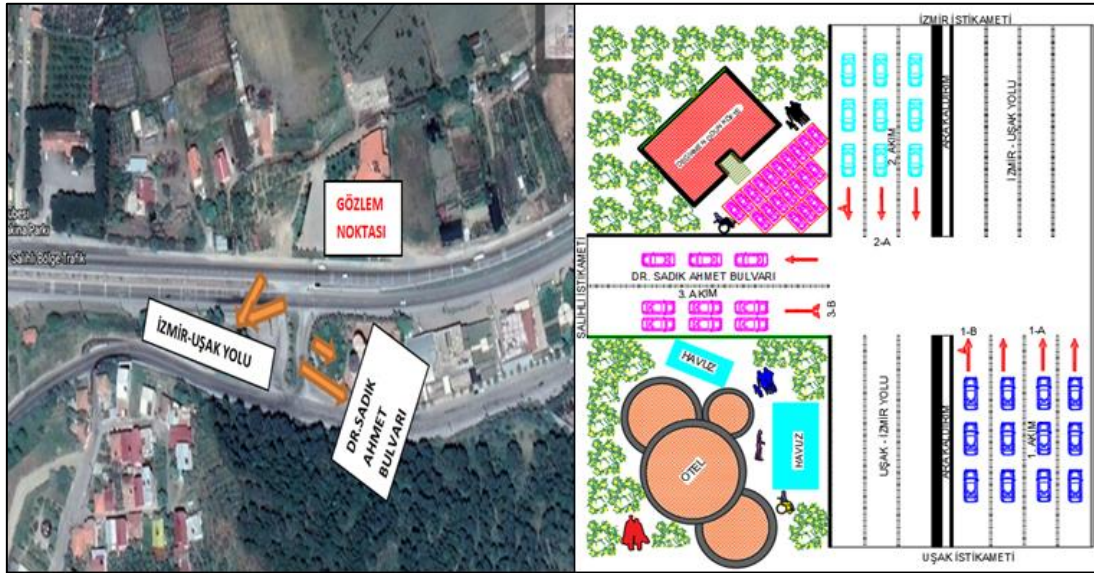
**Şekil 1.** Abay Bulvarı kavşağı**Tablo 2.** 03.02.2021 tarihli sabah ölçümüne ait trafik hacim verileri

Örnek durumlar	03.02.2021 tarihindeki verilerine ait sabah saatlik trafik hacimleri(ta/sa)			
	1-A	1-B	2-A	3-B
1	640	270	707	371
2	673	236	640	371
3	808	202	606	371
4	741	202	539	371
5	707	270	573	371
6	573	169	707	404
7	673	303	741	337
8	640	202	707	371
9	606	270	673	371

**Tablo 3.** 05.02.2021 tarihli akşam ölçümüne ait trafik hacim verileri

Örnek durumlar	05.02.2021 tarihindeki verilerine ait akşam saatlik trafik hacimleri(ta/sa)			
	1-A	1-B	2-A	3-B
1	1212	303	1178	202
2	1145	337	1111	236
3	774	371	1313	303
4	774	337	1279	337
5	1010	202	1346	303
6	707	270	1346	270
7	842	404	1246	202
8	1313	236	1313	236
9	842	337	1212	303

İzmir & Uşak yolu kesişim kavşağının geometrik yapısı Şekil 2'de, sabah ve akşam pik saatlerindeki 9 örnek ölçüm durumu için elde edilen trafik hacim değerleri ise Tablo 4 ve Tablo 5'de verildi.

**Şekil 2.** İzmir & Uşak yolu kavşağı**Tablo 4.** 18.03.2021 tarihli sabah ölçümüne ait trafik hacim verileri

Örnek durumlar	18.03.2021 tarihindeki verilere ait saatlik trafik hacimleri(ta/sa)			
	1-A	1-B	2-A	3-B
1	1004	174	693	174
2	1212	139	589	104
3	658	139	970	277
4	1108	208	935	208
5	1351	104	1178	208
6	970	104	900	104
7	1143	139	970	174
8	935	277	1212	208
9	1385	312	1316	243

**Tablo 5.** 20.03.2021 tarihli akşam ölçümüne ait trafik hacim verileri

Örnek durumlar	20.03.2021 tarihindeki verilere ait saatlik trafik hacimleri(ta/sa)			
	1-A	1-B	2-A	3-B
1	1316	519	1282	242
2	1386	519	1351	173
3	1247	485	1212	103
4	1421	415	1282	173
5	1213	277	1212	69
6	1317	346	1386	173
7	1247	519	1455	207
8	1525	485	1004	242
9	1455	415	1455	277

Abay Bulvarı kavşağının devre süresi 107 saniye, İzmir & Uşak yolu kavşağının devre süresi ise 104 saniyedir.

### Webster Modeli Devre Sürelerinin Hesaplanması.

Yaklaşım kollarındaki optimum devre süresi hesabı Denklem 1'e göre hesaplandı.  $\phi$  değeri 1,2 -1,8 arasında değişkenlik gösteren bir katsayıdır. Kavşakların 3 ya da daha çok fazla yönetilmesi durumunda  $\phi$  değeri 1,5 alınır. Bundan dolayı hesaplamalarımda 1,5 kabul edildi. Kayıp zaman değeri ise yaklaşık olarak 10 saniye olarak hesap edildi. Webster yönteminde devre süresi hesabı, şeritlerin doymuş akım değerlerine göre hesap edilir. Webster'e göre temel doymuş akım değeri dönen trafik akımına göre ve kavşak kolu genişliğine göre saatte birim oto cinsinden hesap edilmektedir. Bu çalışmada taşıtlar farklı türde incelenmeyip hepsi hafif taşıt olarak 1,00 bo alındı. Webster tarafından geliştirilen doymuş akım çizelgesi ve formülleri dikkate alınarak hesap edilen kavşakların doymuş akım değerleri Tablo 6 ' da verildi. (Öztürk vd., 53-55).

$$C_{opt} = \frac{\phi * L + 5}{1 - Y} \quad (1)$$

C=Optimum devre süresi(saniye)

L=Kayıp Süre(saniye)

Y=Her faz için akımların doymuş derecelerinin toplamı

**Tablo 6.** Kavşakların doymuş akım değerleri

Kavşaklar	Doymuş akım değerleri(bo/saat)			
	1-A	1-B	2-A	3-B
Abay Bulvarı kavşağı	1875	1750	1875	1700
İzmir & Uşak yolu kavşağı	1875	1713	1875	2250

Webster yöntemine göre yeşil ışık süresinin hesabı Denklem 2'e göre hesap edilir.

$$g_i = \frac{y_i}{Y} * (C - L) \quad (2)$$

$g_i$ =i nolu akıma ait etkin yeşil ışık süresi(saniye)

$y_i$ =i nolu akıma ait yaklaşım kolundaki doygunluk oranı

$Y$ =Toplam doygunluk oranı

$C$ =Devre süresi(saniye)

$L$ =Toplam kayıp süre(saniye)

Webster yöntemine göre taşıt başına düşen ortalama gecikme süresi hesabı Denklem 3'e göre hesap edilir.

$$d = \frac{c(1 - \lambda)^2}{2(1 - \lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1 - x)} - 0.65 \left( \frac{c}{q^2} \right)^{\frac{1}{3}} * x^{(2+5\lambda)} \quad (3)$$

$d$ =Taşıt başına düşen ortalama gecikme(saniye/taşıt)

$c$ =Devre süresi(saniye)

$q$ =Kavşak koluna gelen en yüklü akım(taşıt/saat)

$\lambda$ =Yeşil ışık süresinin devre süresine oranı

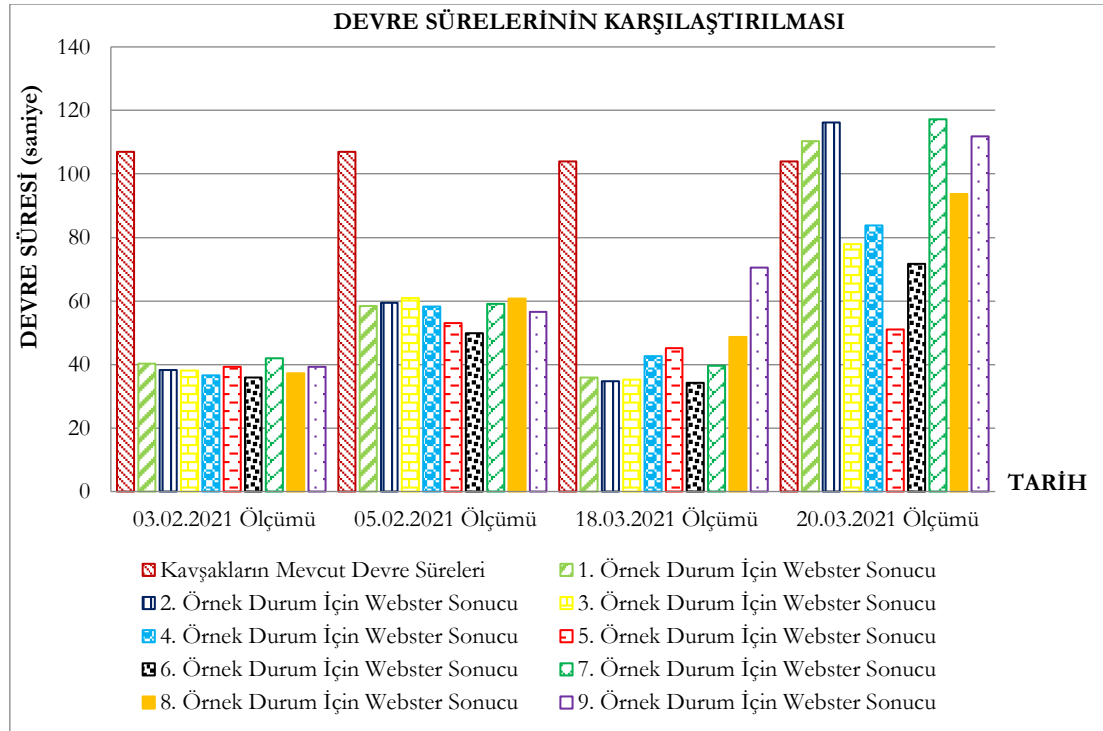
$x$ =Doygunluk oranı

$s$ =doygun akım

### Mevcut Kavşakların Bulguları

#### Örnek1;

Kavşakların, sahada ölçümünden elde edilen devre süresi değerleriyle, Webster yöntemi ile Denklem 1'e göre hesap edilen devre süresi sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 3'de verildi.



Şekil 3. Kavşakların devre sürelerinin karşılaştırılması

Kavşakların sahada ölçümünden elde edilen yeşil ışık süreleri ile Denklem 2'e göre hesap edilen yeşil ışık süresi sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 7'de verilmiştir. Denklem 3'e göre elde edilen ortalama gecikme süresi karşılaştırılması ise Şekil 4'de verilmiştir.

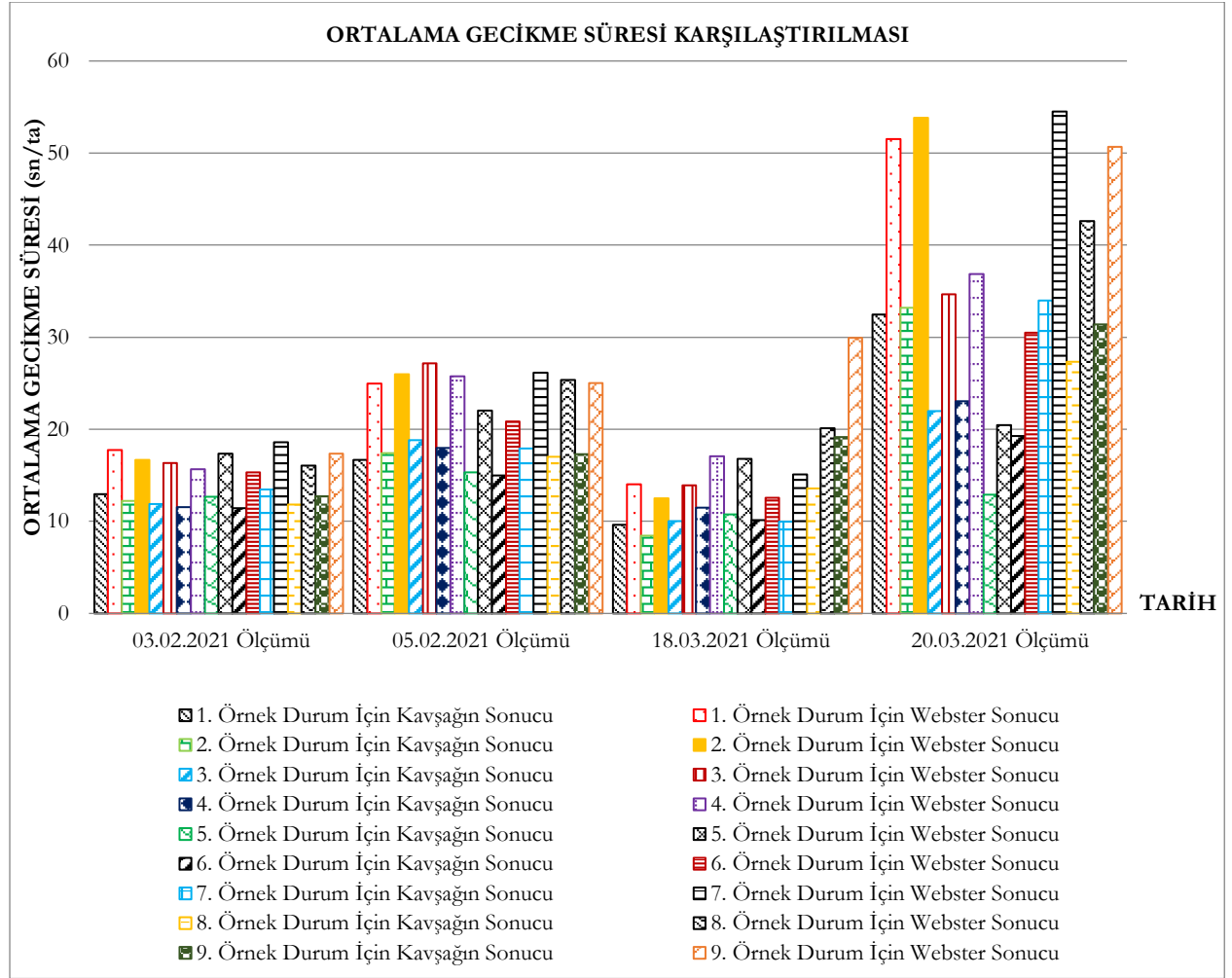
**Tablo 7.** Kavşakların sabah ve akşam pik saatlerine ait yeşil ışık süreleri karşılaştırılması

Örnek durumlar		Tarih	Yeşil ışık süreleri(sn)				Devre süresi(sn)	Ortalama gecikme (sn/ta)	
			1-A	1-B	2-A	3-B			
1	Mevcut	03.02.2021	69	15	50	18	107	12,96	
		05.02.2021						16,70	
		18.03.2021	78	11	60	13		104	9,65
		20.03.2021							32,49
	Webster	03.02.2021	6,83	9,27	7,55	6,55	40,23		17,75
		05.02.2021	15,85	12,74	15,41	4,37	58,38		24,94
		18.03.2021	10,43	5,93	7,20	2,26	35,83	14,05	
		20.03.2021	28,65	37,10	27,91	6,58	110,26	51,53	
2	Mevcut	03.02.2021	1. örnek durum ile süreler aynıdır.					12,22	
		05.02.2021						17,43	
		18.03.2021						8,42	
		20.03.2021						33,20	
	Webster	03.02.2021	7,08	7,98	6,73	6,46	38,26	16,70	
		05.02.2021	15,15	14,33	14,70	5,16	59,35	25,99	
		18.03.2021	12,56	4,73	6,10	1,34	34,74	12,53	
		20.03.2021	31,62	38,88	30,82	4,93	116,27	53,85	
3	Mevcut	03.02.2021	1. örnek durum ile süreler aynıdır.					11,87	
		05.02.2021						18,83	
		18.03.2021						10,05	
		20.03.2021						21,99	
	Webster	03.02.2021	8,50	6,83	6,37	6,45	38,16	16,34	
		05.02.2021	10,44	16,08	17,71	6,76	61,00	27,14	
		18.03.2021	6,82	4,73	10,06	3,59	35,21	13,90	
		20.03.2021	20,24	25,85	19,67	2,09	77,87	34,66	
4	Mevcut	03.02.2021	1. örnek durum ile süreler aynıdır.					11,53	
		05.02.2021						17,99	
		18.03.2021						11,51	
		20.03.2021						23,07	
	Webster	03.02.2021	7,72	6,76	5,61	6,39	36,50	15,68	
		05.02.2021	10,11	14,15	16,70	7,28	58,25	25,77	
		18.03.2021	12,10	7,46	10,21	2,84	42,62	17,09	
		20.03.2021	24,47	23,47	22,08	3,72	83,76	36,86	
5	Mevcut	03.02.2021	1. örnek durum ile süreler aynıdır.					12,67	
		05.02.2021						15,35	
		18.03.2021						10,74	
		20.03.2021						12,87	
	Webster	03.02.2021	7,49	9,20	6,07	6,50	39,28	17,33	
		05.02.2021	12,41	7,98	16,54	6,16	53,10	22,01	
		18.03.2021	15,14	3,82	13,20	2,91	45,09	16,77	
		20.03.2021	14,55	10,91	14,54	1,03	51,03	20,44	
6	Mevcut	03.02.2021	1. örnek durum ile süreler aynıdır.					11,45	
		05.02.2021						14,99	
		18.03.2021						10,14	
		20.03.2021						19,25	
	Webster	03.02.2021	5,95	5,64	7,35	6,94	35,90	15,30	
		05.02.2021	8,36	10,26	15,92	5,28	49,83	20,84	
		18.03.2021	10,05	3,53	9,32	1,34	34,26	12,54	
		20.03.2021	20,02	17,27	21,07	3,28	71,67	30,50	



**Tablo 7.** Kavşakların sabah ve akşam pik saatlerine ait yeşil ışık süreleri karşılaştırılması (Devamı)

Örnek durumlar		Tarih	Yeşil ışık süreleri(sn)				Devre süresi(sn)	Ortalama gecikme (sn/ta)
			1-A	1-B	2-A	3-B		
7	Mevcut	03.02.2021	1. örnek durum ile süreler aynıdır.					13,44
		05.02.2021						17,94
		18.03.2021						9,97
		20.03.2021						33,97
	Webster	03.02.2021	7,30	10,57	8,04	6,05	41,98	18,61
		05.02.2021	11,10	17,12	16,43	4,40	59,07	26,13
		18.03.2021	12,15	4,85	10,31	2,31	39,63	15,08
		20.03.2021	28,65	39,15	33,43	5,94	117,18	54,52
8	Mevcut	03.02.2021	1. örnek durum ile süreler aynıdır.					11,80
		05.02.2021						17,01
		18.03.2021						13,59
		20.03.2021						27,36
	Webster	03.02.2021	6,69	6,79	7,39	6,42	37,31	16,06
		05.02.2021	17,67	10,21	17,67	5,25	60,81	25,37
		18.03.2021	10,91	10,62	14,15	3,03	48,73	20,12
		20.03.2021	28,84	30,12	18,99	5,72	93,67	42,59
9	Mevcut	03.02.2021	1. örnek durum ile süreler aynıdır.					12,75
		05.02.2021						17,31
		18.03.2021						19,14
		20.03.2021						31,42
	Webster	03.02.2021	6,42	9,20	7,13	6,50	39,27	17,34
		05.02.2021	10,79	13,88	15,53	6,42	56,63	25,01
		18.03.2021	20,79	15,38	19,76	4,56	70,50	29,95
		20.03.2021	32,07	30,04	32,07	7,63	111,82	50,70

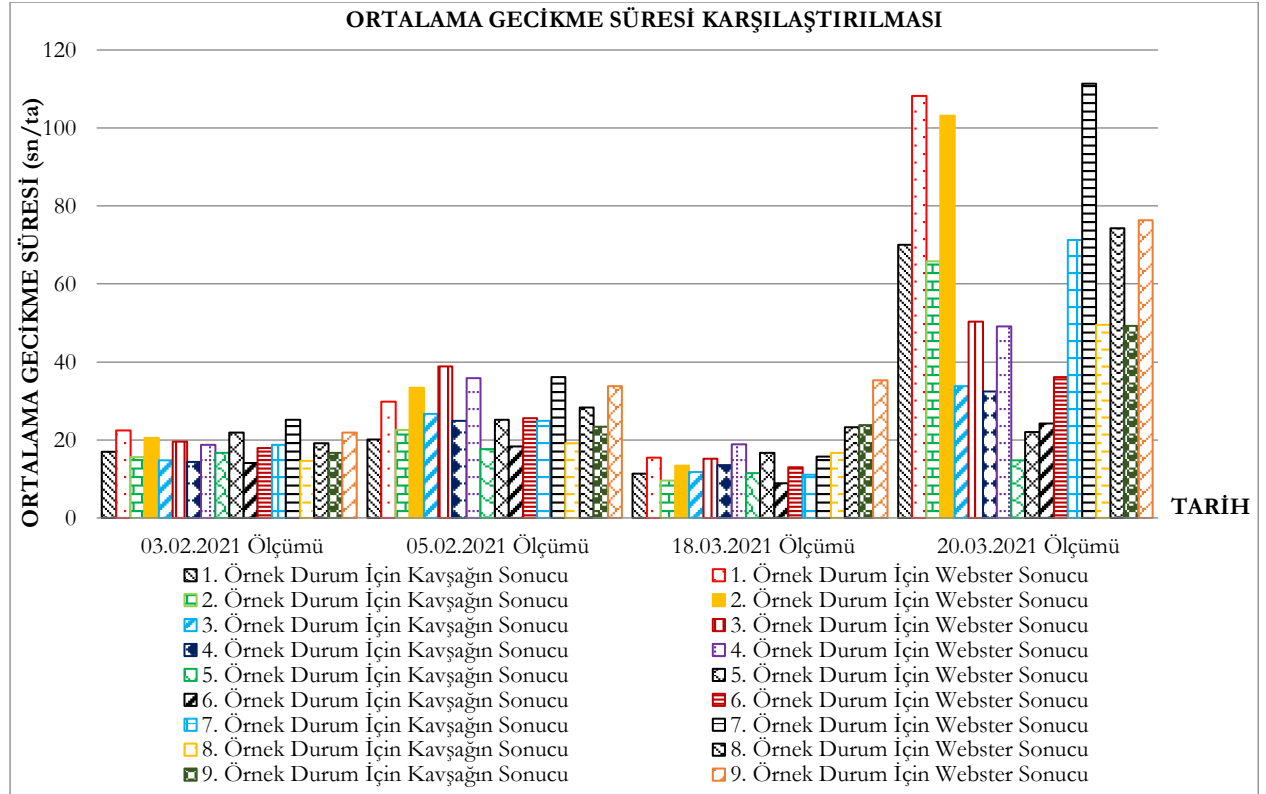


Şekil 4. Kavşakların optimum gecikme sürelerinin karşılaştırılması

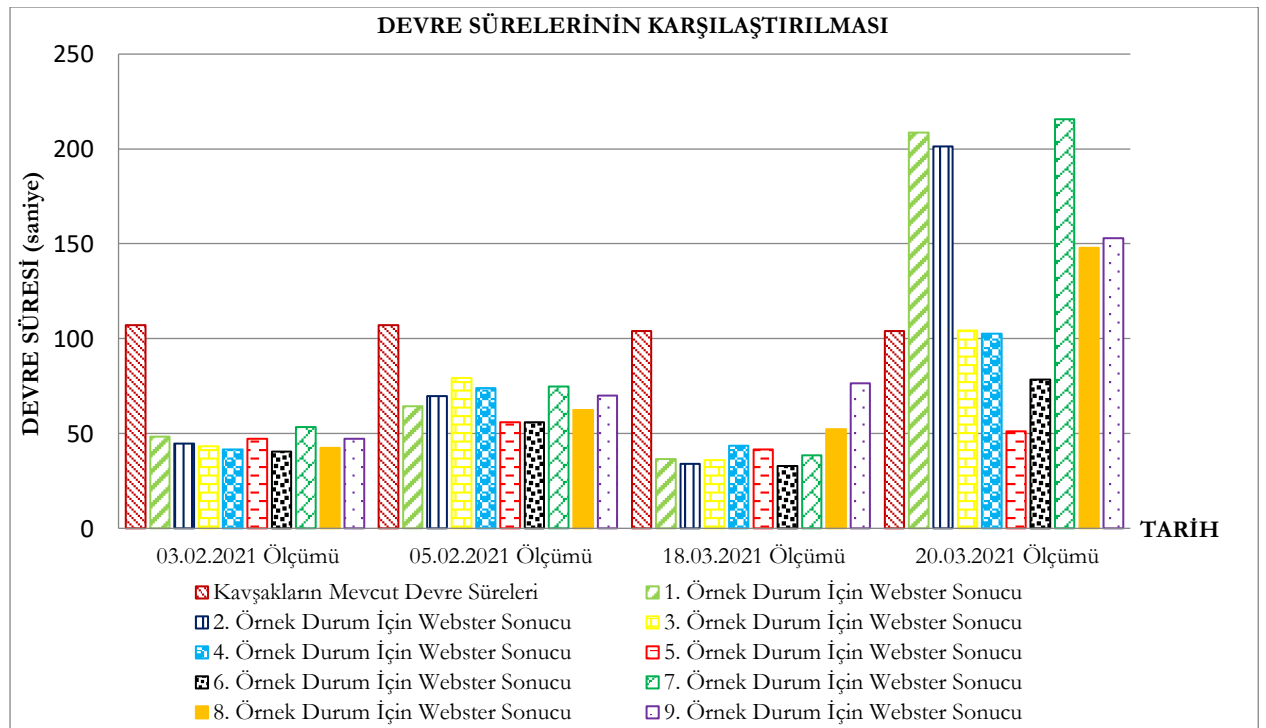
## Kavşakların Trafik Hacim Değerlerinin Değiştirilmesine Göre Yeniden Yapılan Analizler

### Örnek 2;

İncelenen her iki kavşak için yeşil ışık süreleri ile devre süreleri sabit tutulup, 1A ile 2A kollarının akım değerlerini %20 azaltarak ve 1B ile 3B kollarının akım değerlerini %50 arttırarak yeniden bir bekleme süresi analizi yapıldı. Değiştirilen akım değerlerine göre hesap edilen ortalama gecikme değerleri Şekil 5'de ve devre süreleri karşılaştırılması ise Şekil 6'da verilmiştir.



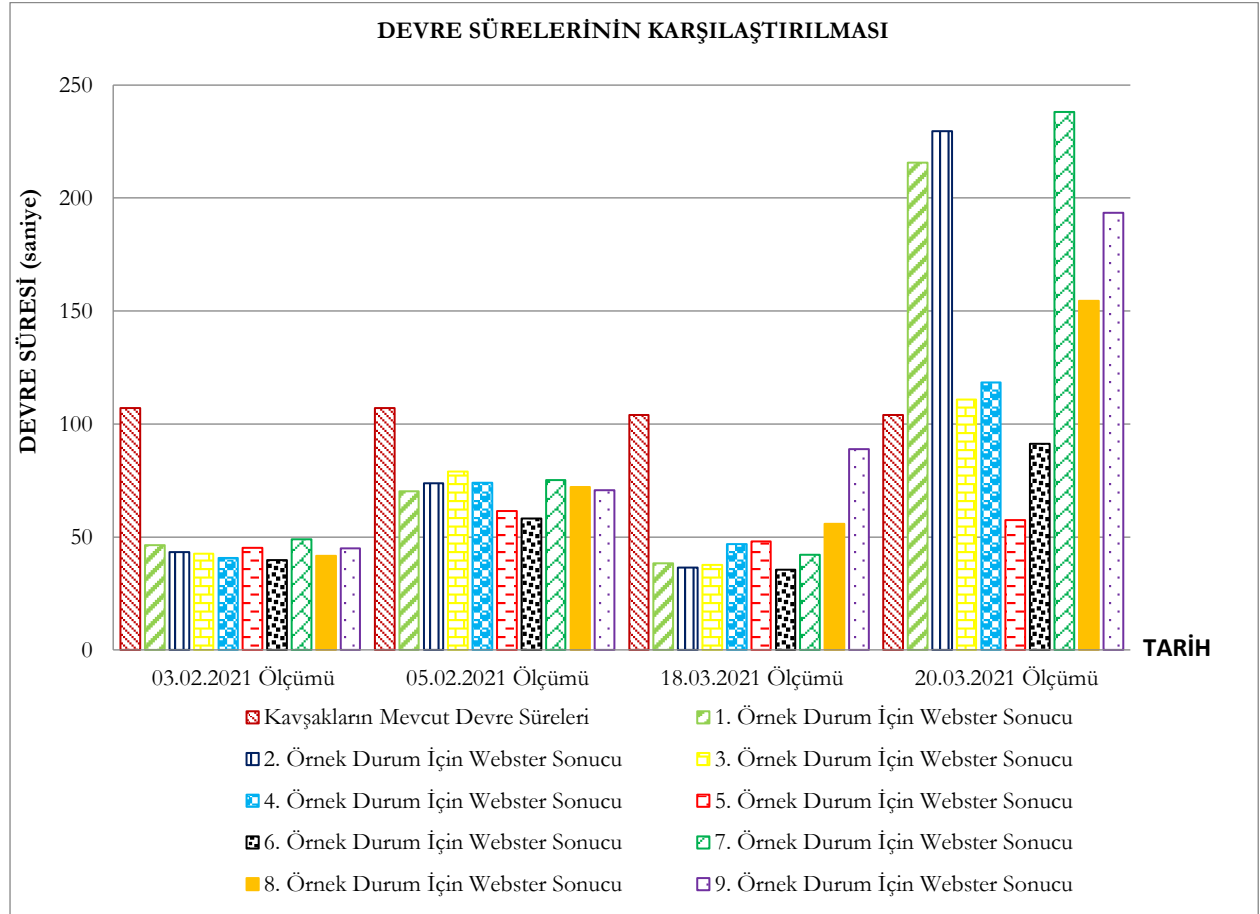
Şekil 5. Kavşakların değiştirilen akım değerlerine göre hesap edilen ortalama gecikme sürelerinin karşılaştırılması



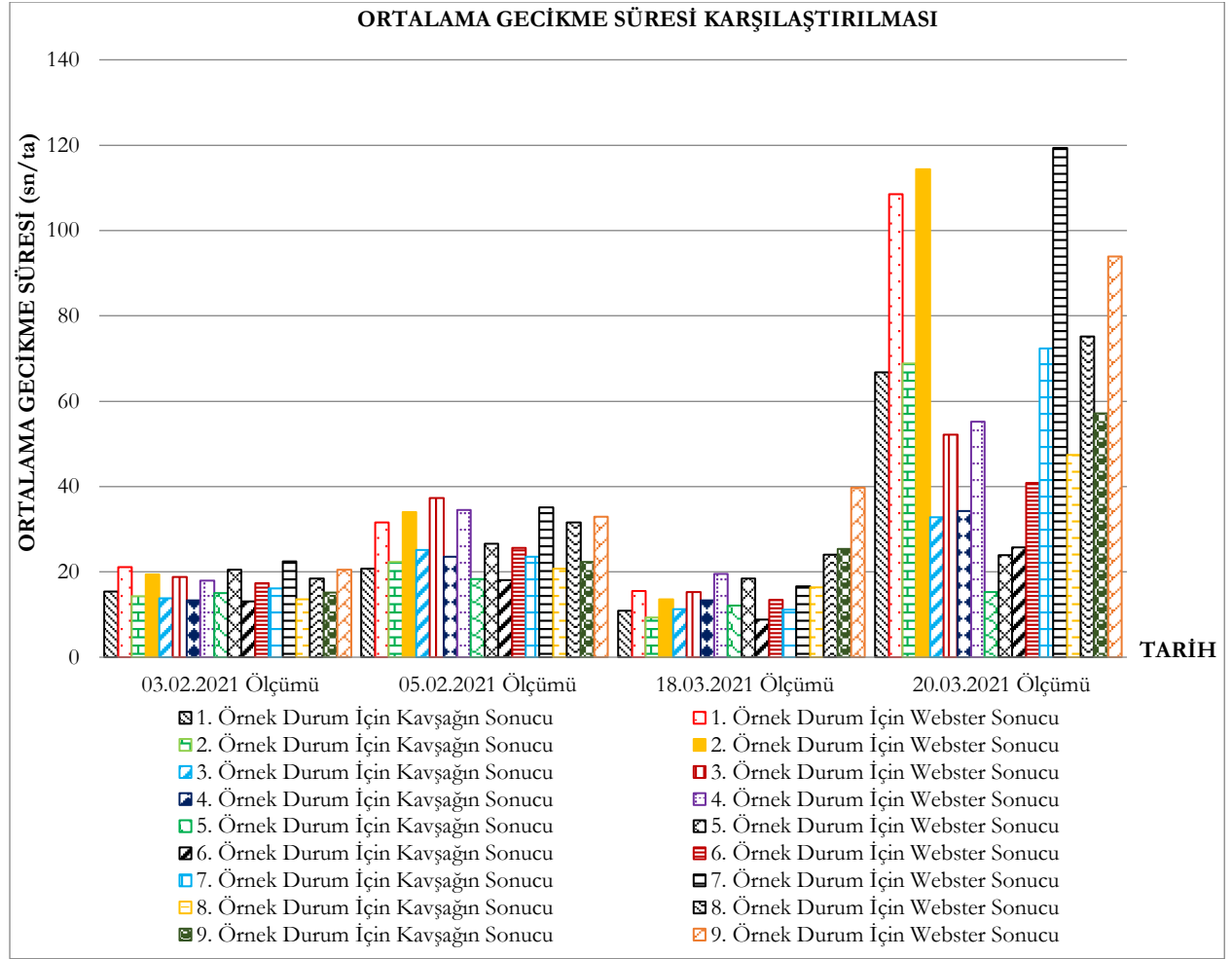
Şekil 6. Kavşakların değiştirilen akım değerlerine göre hesap edilen ortalama devre sürelerinin karşılaştırılması

**Örnek 3;**

İncelenen her iki kavşak için yeşil ışık süreleri, devre süreleri, 1A ile 2A kollarının akım değerlerini sabit tutularak ve 1B ile 3B kollarının akım değerlerini %25 arttırarak yeniden bir bekleme süresi analizi yapıldı. Değiştirilen akım değerlerine göre hesap edilen devre sürelerinin karşılaştırılması Şekil 7'de ve ortalama gecikme değerleri ise Şekil 8'de verilmiştir.



**Şekil 7.** Kavşakların değiştirilen akım değerlerine göre hesap edilen devre sürelerinin karşılaştırılması



Şekil 8. Kavşakların değiştirilen akım değerlerine göre hesap edilen ortalama gecikme sürelerinin karşılaştırılması

## Sonuçlar

Şekiller ve Tablo 5 incelendiğinde, her iki örnek ölçümü yapılan keşişim kavşakları için mevcut saha ölçüm değerlerine bağlı olarak hesap edilen ve değiştirilen akım değerlerine göre yeniden hesaplanan devre süreleri, kavşaktaki ortalama taşıt gecikme ve yeşil ışık sürelerinin birbirlerinden farklı olduğu gözlemlendi. Örneğin; İncelemesi yapılan iki kavşağın sabah ölçümlerinden elde edilen devre süresi, Webster modeline göre hesap edilen devre süresinin 2 katı kadardır. Ancak iki kavşağın akşam ölçümlerinden elde edilen devre süreleri ile Webster modeline göre hesap edilen devre süreleri arasındaki fark bu kadar değildir. Kavşakların akşam ölçüm verilerindeki akım değerleri sabah ölçümüne göre daha fazla olduğu için Webster modeli daha yakın sonuçlar çıkardı. Hatta Şekil 3'e göre 20.03.2021 tarihi akşam ölçümünde Webster modeline göre hesap edilen devre süresi, mevcut devre sürelerinden daha fazla sonuç çıkardığı görüldü.

Örnek 2 analizinde ise; Webster yöntemi sonuçlarına göre 1A ile 2A kollarının yeşil ışık süreleri azalmış, 1B ile 3B kollarının yeşil ışık süreleri Örnek 1'e göre arttı. Örnek 1'e göre devre süresi ve ortalama gecikme süresinde artış gösterdi.

Örnek 3 analizinde ise; Webster yöntemi sonuçlarına göre yaklaşım kollarının yeşil ışık süreleri Örnek 1'e göre artmıştır. Örnek 1'e göre devre süresi ve kavşaktaki ortalama taşıt gecikme süresinde artış gösterdi. Trafik hacmi arttıkça Webster yöntemine göre gecikme süresi artar. Webster'in sinyal hesabı yaklaşımına göre doygunluk derecesi 0 ile 0.95 arasında olmalıdır. Bu değer 0.95'in üzerinde olduğunda(doygun üstü durum görüldüğünde) Webster yaklaşımı gecikme minimizasyonu problemini çözmek için yetersiz kalmaktadır. Şekil 8 'de 20.03.2021 tarihindeki akşam ölçümüne göre 1. örnek durum için kavşağın ortalama taşıt gecikme süresi 66,71 sn/ta iken, Webster'e göre 108,47 sn/ta görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere doygunluk oranı 0.95'in üzerine çıktığında gecikme değerlerinde afaki derecede sapmalar gözlemlendi.

## Kaynakça

Aslan, H., & Ahadi, S. (2019). Gecikme süresi üzerindeki sinyal koordinasyon etkisinin irdelenmesi:Mazer-ı Şerif, Afghanistan, örnek çalışması. *2019 Published in 7<sup>th</sup> International Symposium on Innvative Technologies in Engineering and Science(ISITES2019 Şanlıurfa-Turkey)*.22-24 Kasım 2019

Çelik, Y., & Soy, H. (2014). Trafik tıkanıklığının azaltılması için öz-örgütlenme tabanlı akıllı trafik optimizasyonu yaklaşımı. *Akademik Bilişim'14 - XVI. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*.5-7 Şubat 2014 Mersin Üniversitesi

Çetinkaya, G. 2008. *Işıklı kavşaklarda değişik hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılması* (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Dağüstü, H. 2010. *Trafik yönetiminde kavşak trafiğinin kontrolü için bir sinyal zamanlama modeli* (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Doğan, M.İ. 2005. *Aksaray ili içerisindeki önemli şehirci kavşakların bilgisayarla incelenmesi ve optimum devre süresinin belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.

Eraslan, O. 2008. *Işıklı kavşaklarda Amerikan ve Avustralya yöntemleri ile gecikme analizi ve örnek bir kavşak çözümü* (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özdirim, M. 1972. *Türkiye'de trafik sinyalizasyonunun formüle edilmesi* (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Öztürk, E., Çubuk, M.K., ve Hatipoğlu, S. (2008). *Ankara için bir sinyal zamanlaması modeli: Beşevler kavşağı örneği. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*,12-1(2008), 49-57.

Üçer, F. 2000. *Balıkesir ilindeki önemli kavşakların kapasite yönünden değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Yin, M. 2019. Intersection signal timing optimization based on Webster timing method. *IOP Conference Series:Earth and Enviromental Science, Volume 371, Issue 5*.

## Yolo V4 ile Sahadaki Personelin Yelek Tespiti

**Bilal GÜREVİN<sup>1</sup>**  
**Sema EĞRİ<sup>2</sup>**  
**Ramazan GÜL<sup>3</sup>**  
**Furkan GÜLTÜRK<sup>4</sup>**  
**Muhammed YILDIZ<sup>5</sup>**  
**Abdalrhman ALQUAARY<sup>6</sup>**

### Giriş

Günümüze gelindiğinde yapay zeka çalışmalarının bir çok alanda yer edindiği görülmektedir. Tarımdan ilaç sektörüne, sosyal hayattan eğitim hayatına kadar bir çok alanda yapay zeka uygulamalarına rastlanmaktadır (Dong ve Liu, 2021; Güçlü vd., 2021; Önal ve Dandil, 2021; Wageeh vd., 2021; Yu ve Zhang, 2021). Bununla birlikte yapay zeka mimarileri de yazılımcılar tarafından hızla geliştirilmeye devam etmektedir. Yolo (You Only Look Once) da bu mimarilerden biridir. Yapılan çalışmada Yolo algoritmalarından YoloV4 kullanılmıştır. Son sürüm olan YoloV5 ile YoloV4 aynı doğruluk ve hıza sahip olması ile birlikte YoloV4'ün daha kararlı ve yenilikçi yönlerinden dolayı YoloV4 tercih edilmiştir (Jiang vd., 2022).

İş güvenliği kapsamında forklift gibi hareketli araçların çalıştığı saha ortamında bulunan personelin ikaz yeleş giyme zorunluluğu bulunmaktadır. Personel tarafından kullanılan ikaz yeşekleri genellikle sarı olmakla birlikte, birimlere ve dışarıdan gelen misafirlere göre mavi, turuncu ve kırmızı renklerde de olabilmektedir. Bu kapsamda sahadaki personelin iş güvenliği kapsamında ikaz yeleş giyip giymeme durumunun takip edilmesi üzerine bir senaryo planlanmıştır. AMR'ler (Autonomous Mobile Robot) bulunduğu ortamda insan müdahalesi çok az ya da hiç olmadan, önceden tanımlanmış yolu izleyerek görevini gerçekleştiren bir robot türüdür (Alatise ve Hancke, 2020). Üzerlerine entegre edilen kamera ile görüntü işleme, nesne tespiti gibi çalışmalar yapılarak çok faktörlü olarak kullanılabilirler. Büyük bir fabrika ortamında prosesler arasında otonom olarak hareket eden AMR'ler sayesinde bir çok alan aktif olarak gözetlenebilmektedir. Sabit noktalarda konumlandırılacak olan kamera sistemlerinin yerine sahada aktif gezinen robotlara yerleştirilmiş kamera sistemlerinin kullanılması daha esnek görüş alanı sağlayacağı düşünülmüştür. Yapılan çalışmada Şekil 1'deki gibi sahada otonom olarak gezinen AMR üzerindeki kameradan alınan görüntülerin değerlendirilmesi planlanmıştır. Çalışmalar fabrikanın Ar-Ge ofis ortamında gerçekleştirilmiştir.

---

<sup>1</sup> Doktora öğrencisi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Mekatronik Müh., Orcid: 0000-0003-4035-2759

<sup>2</sup> Elektrik Elektronik Müh., Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Elektrik Elektronik Müh., Orcid: 0000-0001-9587-2108

<sup>3</sup> Mekatronik Müh., Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Mekatronik Müh., Orcid: 0000-0001-5350-4753

<sup>4</sup> Doktora öğrencisi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Elektrik Elektronik Müh., Orcid: 0000-0002-2494-487X

<sup>5</sup> Doktora öğrencisi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Elektrik Elektronik Müh., Orcid: 0000-0002-9731-860X

<sup>6</sup> Lisans öğrencisi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Bilişim Sistemleri Müh., Orcid: 0000-0001-7278-3583





Şekil 1. Yelekli ve yeleksiz personel fotoğrafları

Makale çalışmasının gelecek bölümleri şu içerikleri bulundurmaktadır; Bölüm 2’de YoloV4 literatür çalışmalarından, Bölüm 3’te YoloV4 mimarisinden, eğitim veri setinden, etiketleme işleminden, veri artırımı, Non-Maximum Suppression yönteminden, Bölüm 4’te eğitilen ağın test edilmesinden ve son olarak da Bölüm 5’te sonuçlar kısmından bahsedilmiştir.

## Literatür Araştırması

YoloV4 ilk defa Bochkovskiy ve arkadaşları tarafından tanıtılmıştır (Bochkovskiy vd., 2020) ve geliştirilen algoritma ile literatürde bir çok YoloV4 çalışması yapılmıştır. Çalışmaların bir kısmı aşağıda verildiği gibidir.

Güçlü ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, demiryollarındaki kırık bağlantı elemanlarını tespit etmek için, YoloV4 ve bulanık mantık yapısına dayanan yeni bir yöntem önermişlerdir. Bağlantı elemanı görüntüsünü 6 ayrı parçaya bölerek etiketlemişlerdir. Bağlantı elemanı görüntülerine YoloV4 algoritmasının uygulanması ile 6 parçanın güven değerlerini oluşturmuşlardır. Oluşan 6 farklı güven değeri bulanık mantık yapısı için giriş değeri olarak verilmiş ve bağlantı elemanının sağlık durumu hakkında yüzde cinsinden sonuç değeri üretmişlerdir. Deney sonuçlarının doğru tespit oranını %99 üzerinde olduğunu göstermişlerdir (Güçlü vd., 2021).

Bayhan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, askeri ve savunma sanayii açısından değerlendirilen tehditlerin insansız hava araçları (İHA) tarafından derin öğrenme tabanlı tespit ve tanıma yöntemleri sunmuşlardır. Derin öğrenme yönteminin Faster-RCNN ve YoloV4 mimarileri seçilerek eğitim sürecinde doğruluk oranlarının karşılaştırılmasını amaçlamışlardır. Faster-RCNN mimarisinde nesne algılama ve tanımda %93 doğruluk oranı elde edilirken, YoloV4 mimarisinde bu oran %88 olarak gözlenmiştir (Bayhan vd., 2021).

Dersuneli ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, 3 boyutlu geometrik şekiller içeren bul-tak oyuncuğu üzerinde nesne tespit işlemi gerçekleştirilmişlerdir. Projede iki farklı veri seti kullanılmıştır. Görüntü işleme ile elde edilen öznelikler k-NN algoritması ile sınıflandırılmış, derin öğrenme yönteminde ise YoloV4 algoritması kullanılmıştır. Deney ortamında klasik görüntü işleme yöntemi siyah arka planlı test veri setinde %100 başarımlık sağlarken, farklı renk ve desende arka plana sahip ikinci test veri setinde başarımlık %86,25’e düşmüştür. Yolov4 derin öğrenme yöntemi algoritması ise her iki veri setinde de %100 başarımlık ulaşmıştır. Algoritmalar gerçek zamanlı kamera görüntüsü üzerinde çalıştırıldığında klasik yöntem siyah arka planlı bir kare görüntüde 0,06sn’de, farklı renk

ve desende arka plana sahip bir kare görüntüde ise 0,04 sn'de nesne tespiti yaparken, YoloV4 yöntemi 1,06 sn.'de nesne tespit işlemi gerçekleştirmiştir (Dersuneli vd., 2021).

Yu ve Zhang yaptıkları çalışmada, YoloV4'e dayalı bir yüz maskesi tanıma ve standart aşınma algılama algoritması önermişlerdir. Standart maske takmaya göre bir yüz maskesi algılama veri seti yapmışlardır. Derin öğrenmenin nesne algılama algoritmasına dayalı olarak, modelin etkinliğini değerlendirmek için çeşitli değerlendirme indeksleri karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmaların sonucunda, yüz maskesi tanıma doğruluğunun %98,3'e ulaşabileceğini ve mevcut algoritmaya kıyasla daha doğru olan 54,57 FPS'de kare hızının yüksek olduğunu göstermişlerdir (Yu ve Zhang, 2021).

Bozkaya ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, insansız kara araçlarının levhaları tespit etme, park yerlerini tespit etme gibi sorunları üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada hava aracından çekilmiş görüntüler kullanmışlardır. Bu görüntüler üzerinde çeşitli veri çoğaltma yöntemleri kullanılarak nesne tespit oranının artırılmasıyla tespit problemlerinin giderilmesi üzerine çalışmışlardır. Nesne tespitinde kullanılacak olan model eğitimi YoloV4 algoritmasıyla gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar gözlemlendiğinde 8000 tekrar sonrasında başarı oranının %94'e kadar çıktığı ve kayıp (loss) değerinin 0.42 sonucunu verdiği gözlemlenmiştir (Bozkaya vd., 2021).

Çalışkan ve Demir yaptıkları çalışmada, gerçek zamanlı bir nesne tespit aracı olan YoloV4'ü Kriminal/şüpheli davranış görüntülerinde şüpheli davranış tespiti amacıyla kullanmışlardır. Bu alandaki yeni veri seti olan Marmara Üniversitesi Kriminal Davranış/Nesne (MÜKDN) veri seti üzerinde yapılan çalışma sayesinde YoloV4'ün davranış tespitinde kullanılabilirliği desteklenmiştir ve nesne tespitinde %70'in üzerinde başarı elde edilmiştir (Çalışkan ve Demir, 2022).

Önal ve Dandil yaptıkları çalışmada, işyerlerinde çalışanların sağlığı ve güvenliği amacıyla sahadaki çalışanların baret, yelek, iş ayakkabısı tespitini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, endüstriyel üretim alanında faaliyet gösteren tesislerin çalışma ortamlarındaki güvenli olmayan hareketleri tespit etmek ve videolardan kişisel koruyucu ekipman kullanımını kontrol etmek için YoloV4 derin öğrenme modeline dayalı bir yöntem önermişlerdir. Çalışma kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda YoloV4 ağında gerçekleştirilen eğitim sonucunda ortalama kesinlik değerini %91,18 olarak elde etmişlerdir. Sonuç olarak önerilen çalışmada fabrikalara kurulan kameralardan toplanan videoların anlık olarak incelenmesi, olay yerinin anlamını ve güvenli çalışma ortamlarının kontrolünü başarı ile sağlamışlardır (Önal ve Dandil, 2021).

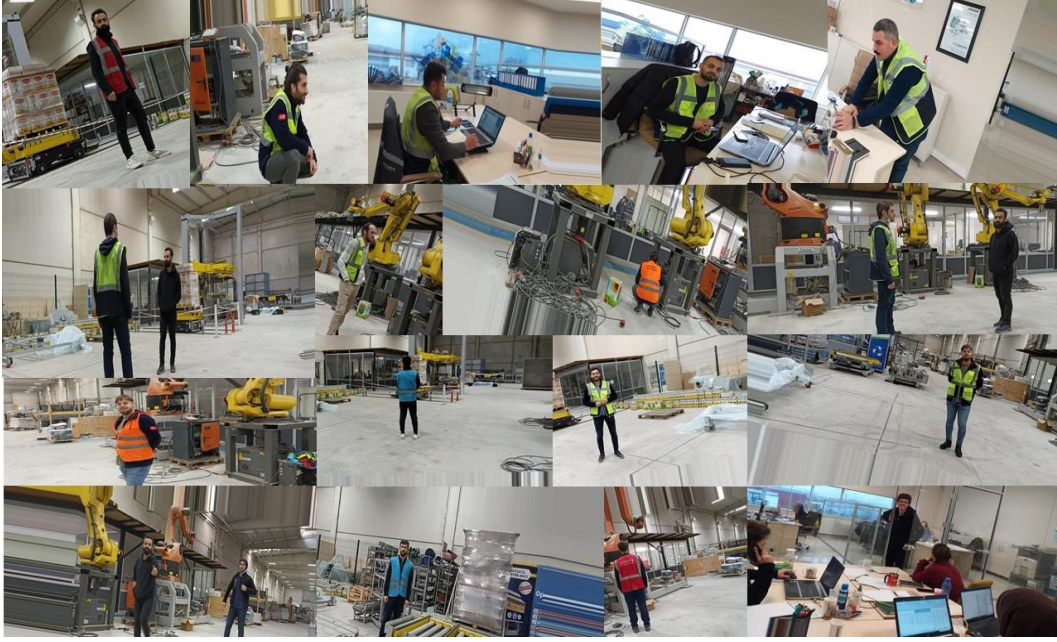
Yukarıda geçen literatür çalışmalarında ve burada bahsedilmeyen birçok farklı alanda YoloV4 çalışmalarına rastlanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada ise fabrika ortamında iş güvenliği kapsamında personelin ikaz yeleği giyme durumunun takibinde YoloV4 algoritması kullanılmıştır. Sahada otonom olarak hareket eden AMR'nin önüne yerleştirilen kamera ile birçok noktadaki personelin ikaz yeleklerinin kontrolü yapılabilecektir. Gerekli durumlarda personel sesli bir şekilde uyandırılabilir.

## Yöntem

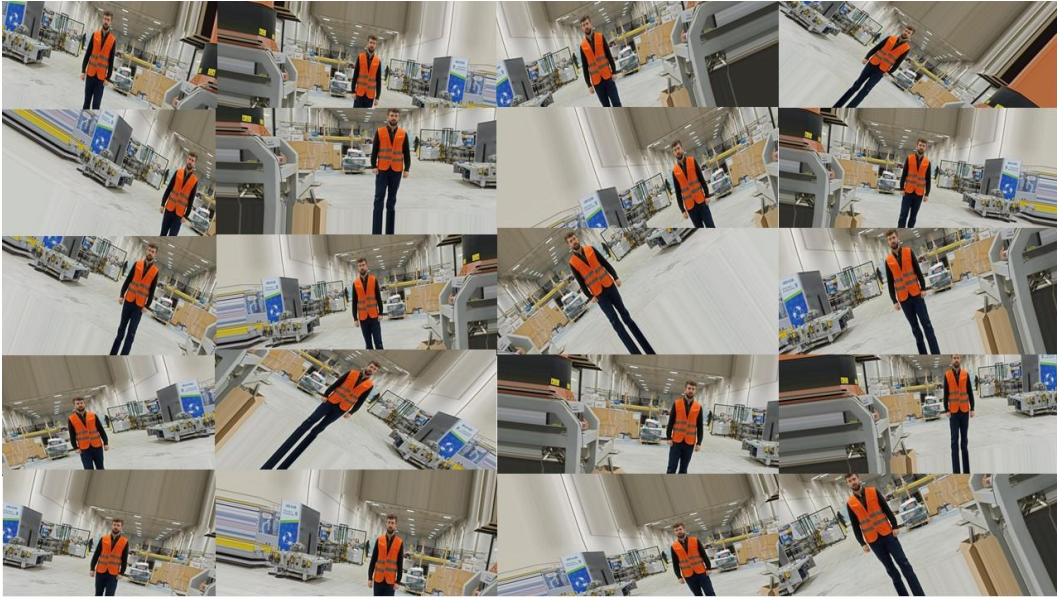
### Veri Setinin Oluşturulması

Fabrika ortamında farklı mekanlarda ve farklı renkte yelek giyen personelin toplamda 350 adet fotoğrafı çekilmiştir. Bahsedilen resimlerin bir kısmı Şekil 2'de gösterilmiştir. Modelin öğrenme gücünü kolaylaştırmak için veri çoğaltma işlemi olan veri arttırımı metodu kullanılarak resim sayısı 2100'e çıkarılmıştır (Chlap vd., 2021). Bu yöntemde mevcut resim farklı açılarda kaydırılarak

tekrardan oluşturulmaktadır. Şekil 3'te veri arttırımı yöntemi ile çoğaltılan resimlerin bir kısmı gösterilmektedir.

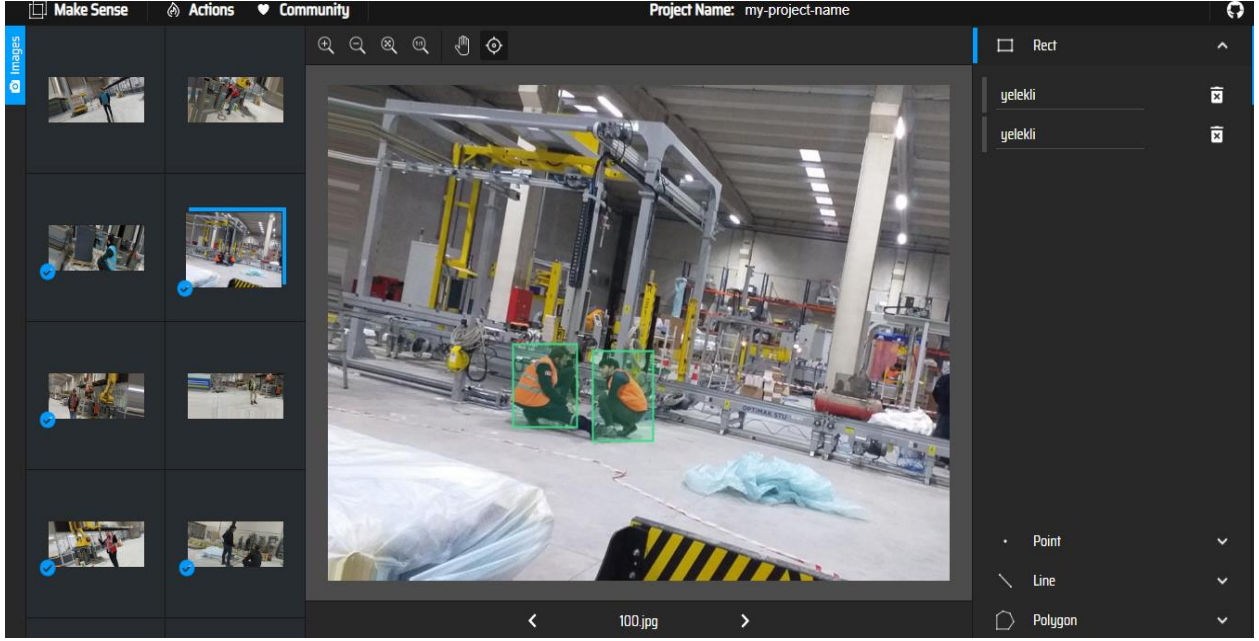


Şekil 2. Yelekli ve yeleksiz personel fotoğrafları



Şekil 3. Veri arttırımı yöntemi ile elde edilen personel fotoğrafları

2100 adete çıkartılan fotoğraf kümesinden yelekli ve yeleksiz personellerin etiketleme işlemleri yapılmıştır. Resim üzerinde etiketleme işleminde Şekil 4'te gösterildiği gibi açık kaynaklı olan “makesense.ai” online platformundan yararlanılmıştır. Etiketleme işlemi sonucunda “yelekli” ve “yeleksiz” etiketlerinden oluşan toplamda 2500 adet veri seti elde edilmiştir.



Şekil 4. Resim etiketleme işlemi

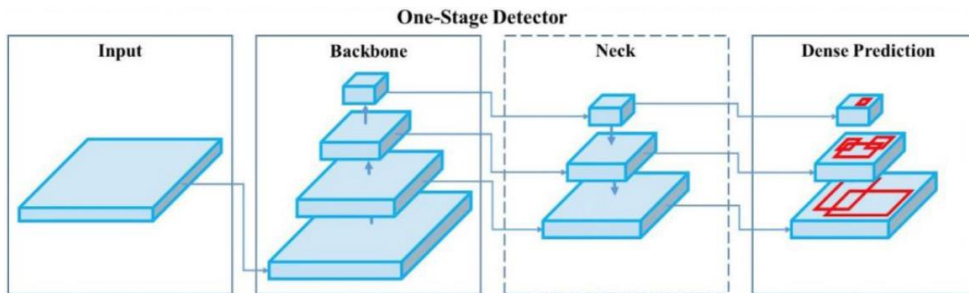
Veri setinin elde edilmesi işlemi grafiksel olarak Şekil 5'te ifade edilmiştir.



Şekil 5. Veri setinin elde edilme aşamaları

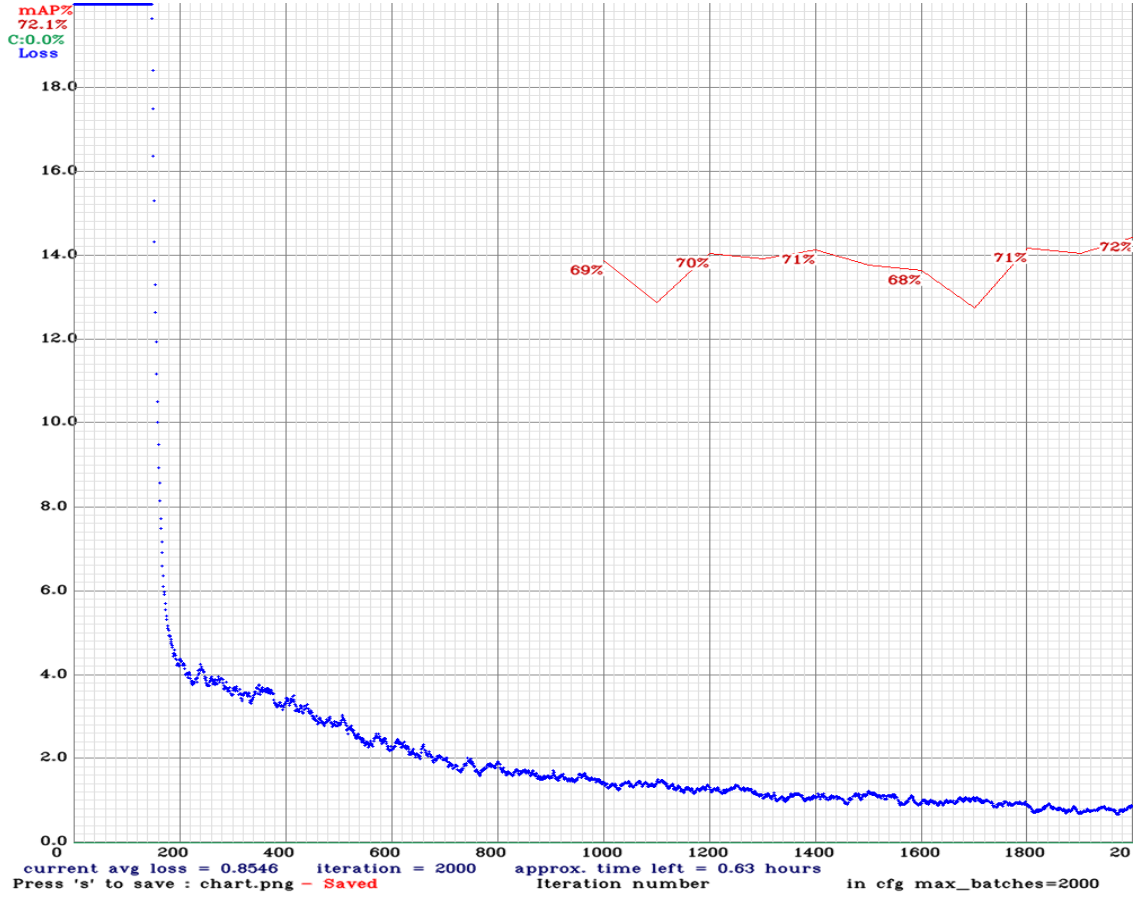
## YoloV4 ile Ağ Eğitimi

YOLO konvolüsyonel sinir ağlarını kullanarak nesne tespiti yapan bir algoritmadır. Gerçek zamanlı nesne tespit uygulamalarında kullanılmaktadır. YoloV4 algoritmasının kullanıldığı bu çalışmada ağın eğitimi için yüksek işlemci gücüne sahip Jetson Xavier AGX mikrobilgisayarının GPU özelliğinden yararlanılmıştır. Yaklaşık 8 saat süren eğitimde darknet framewok'u kullanılmıştır. Genel olarak giriş katmanı, öznelik çıkarım katmanı ve tahmin katmanlarından oluşan YoloV4 algoritmasına ait şema Şekil 6'da gösterildiği gibidir (Dersuneli vd., 2021).



Şekil 6. YoloV4 algoritması çalışma şeması

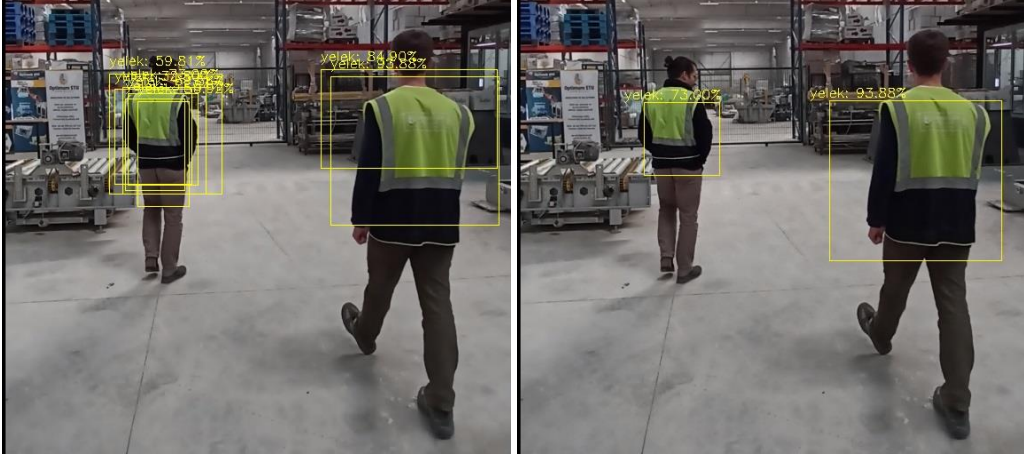
Şekil 7’de verilen eğitim sonuç grafiğine bakıldığında eğitimin toplamda 2000 iterasyonda yapıldığı görülmektedir. 1000. iterasyonda %69’larda hesaplanan ortalama hassasiyet değerinin eğitim ilerledikçe %72,1’e ulaştığı görülmüştür.



Şekil 7. Farklı renk yeleklere sahip veri setinde YoloV4 başarımı (mAP: Genel Başarım, Loss: Kayıp Değeri)

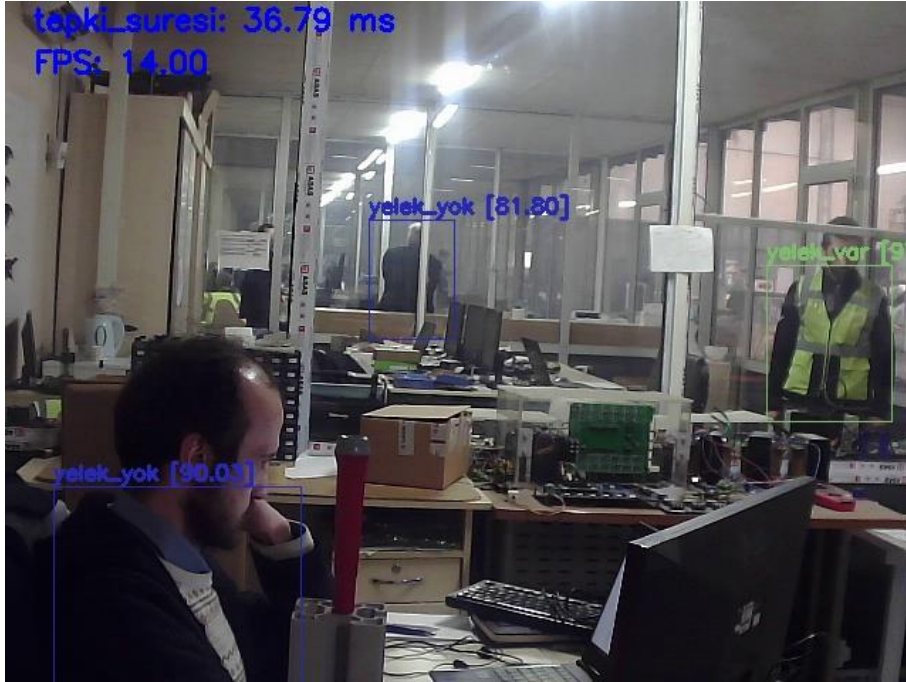
## Ağın Çalışması ve Deneysel Sonuçları

Eğitilen ağ, sahada ve ofis ortamında kamera üzerinden alınan anlık video görüntüleri ile denenmiştir. Alınan görüntülerde tespit verimliliğini ve doğruluğunu arttırmak amacı ile Non-Maximum Suppression yönteminden yararlanılmıştır. Bir nevi filtreleme işlemi olan bu yöntem ile tespit edilen hedefi çerçeveleyen gereksiz sayıda sınırlayıcı kutular kaldırılmaktadır (Salscheider, 2021). Bu sayede her bir hedef nesnenin çok sayıda çerçeve yerine tek bir çerçeveye alınması sağlanmıştır. Bahsedilen durumlar Şekil 8’de ifade edilmiştir.



Şekil 8. Non-Maximum Suppression yönteminin uygulanması

Sahada ve ofis ortamında anlık olarak kameradan alınan görüntülerdeki personelin yelek giyip giymediği durumların tespiti başarı ile yapılmıştır. Tespit başarısının artırılması için öncelikle YoloV4'ün sunduğu hazır ağ kullanılarak insan tespiti yapılmıştır. İnsan vücudu tespit edildikten sonra bu çerçeve içerisinde yelek tespiti yapılmıştır. Bu sayede insan olmayan objelerin ikaz yeleği ile aynı renk olması durumunda hatalı tespit yapılmasının önüne geçilmiştir. Şekil 9'da ofis ortamında ve Şekil 10'da sahada yapılan yelekli ve yeleksiz personel tespitlerinin görüntüleri bulunmaktadır.



Şekil 9. Ofis ortamında yelek tespit algoritmasının çalıştırılması



Şekil 10. Sahada yelek tespit algoritmasının çalıştırılması

## Sonuçlar

Gerçekleştirilen çalışmada sahada personelin ikaz yeleğini giyip giymeme durumunun tespiti yapılmıştır. YoloV4 algoritması kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada veri seti olarak yelekli ve yeleksiz toplamda 350 adet personel fotoğrafı veri arttırımı yöntemi ile 2100 adete çıkarılmış ve etiketleme işlemi sonucunda 2500 adet veri seti elde edilmiştir. Veri setinin %80'i eğitim ve kalan %20'si de test amaçlı kullanılmıştır. Ağın eğitilmesinde Jetson Nano AGX mikrobilgisayarından yararlanılmıştır. Yine eğitilen ağ aynı mikrobilgisayarda çalıştırılarak personelin yelek giyme durumlarının tespiti yapılmıştır. Saha ve ofis ortamında yapılan çalışmalarda yelekli ve yeleksiz personelin tespiti %99 doğruluk oranlarına kadar, 14 FPS'te ve 23 ms tepki sürelerinde yüksek bir oranda başarı ile sağlanmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmanın sahada aktif olarak otonom hareket halinde olan AMR üzerine entegre edilmesi sağlanacaktır. Bu sayede saha personeli esnek olarak birçok noktada, iş güvenliği kapsamında takip edilerek sesli olarak uyarılabilecektir.

## Kaynaklar

Alatise, M. B., & Hancke, G. P. (2020). A Review On Challenges Of Autonomous Mobile Robot and Sensor Fusion Methods. *IEEE Access*, 8, 39830-39846. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2975643>

Bayhan, E., Ozkan, Z., Namdar, M., & Basgumus, A. (2021). Deep Learning Based Object Detection And Recognition Of Unmanned Aerial Vehicles. *2021 3rd International Congress On Human-Computer Interaction, Optimization And Robotic Applications (HORA)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/HORA52670.2021.9461279>

Bochkovskiy, A., Wang, C.-Y., & Liao, H.-Y. M. (2020). Yolov4: Optimal Speed And Accuracy Of Object Detection. *Arxiv:2004.10934 [Cs, Eess]*. <http://arxiv.org/abs/2004.10934>

Bozkaya, F., Yusefi, A., Tiğlioğlu, Ş., Kaya, A. K., Kazancı, O., Akmaz, M. Y., Durdu, A., & Sungur, C. (2021). Otonom Sistemlerde Veri Çoğaltma Yöntemleri Kullanılarak İyileştirilmiş Gerçek Zamanlı Nesne Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 30, 83-87. <https://doi.org/10.31590/Ejosat.1006408>

Chlap, P., Min, H., Vandenberg, N., Dowling, J., Holloway, L., & Haworth, A. (2021). A Review Of Medical Image Data Augmentation Techniques For Deep Learning Applications. *Journal Of Medical Imaging and Radiation Oncology*, 65(5), 545-563. <https://doi.org/10.1111/1754-9485.13261>

Çalışkan, D., & Demir, Ö. (2022). Derin Öğrenme Yöntemleri ile Şüpheli Davranış Tespiti. *International Periodical Of Recent Technologies In Applied Engineering*, 3(1), 28-43.

Dersuneli, M., Gündüz, T., & Kutlu, Y. (2021). Bul-Tak Oyuncak Şekillerinin Klasik Görüntü İşleme ve Derin Öğrenme Yöntemleri ile Tespiti. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(4), 1290-1303. <https://doi.org/10.17798/Bitlisfen.927392>

Dong, A., & Liu, X. (2021). Automated Detection Of Corona Cavities From SDO Images With YOLO. *2021 IEEE Seventh International Conference On Multimedia Big Data (Bigmm)*, 49-56. <https://doi.org/10.1109/Bigmm52142.2021.00015>

Güçlü, E., Aydın, İ., Şahbaz, K., Erhan, A., & Karaköse, M. (2021). Demiryolu Bağlantı Elemanlarında Bulunan Kusurların Yolov4 ve Bulanık Mantık Kullanarak Tespiti. *Demiryolu Mühendisliği*, 14, 249-262.

Jiang, P., Ergu, D., Liu, F., Cai, Y., & Ma, B. (2022). A Review Of Yolo Algorithm Developments. *Procedia Computer Science*, 199, 1066-1073.

Önal, O., & Dandil, E. (2021). Object Detection For Safe Working Environments Using Yolov4 Deep Learning Model. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26, 343-351. <https://doi.org/10.31590/Ejosat.951733>

Salscheider, N. O. (2021). FeatureNms: Non-Maximum Suppression By Learning Feature Embeddings. *2020 25th International Conference On Pattern Recognition (ICPR)*, 7848-7854. <https://doi.org/10.1109/ICPR48806.2021.9412930>



Wageeh, Y., Mohamed, H. E.-D., Fadl, A., Anas, O., Elmasry, N., Nabil, A., & Atia, A. (2021). YOLO Fish Detection With Euclidean Tracking İn Fish Farms. *Journal Of Ambient Intelligence And Humanized Computing*, 12(1), 5-12. <https://doi.org/10.1007/S12652-020-02847-6>

Yu, J., & Zhang, W. (2021). Face Mask Wearing Detection Algorithm Based On Improved YOLO-V4. *Sensors*, 21(9), 3263. <https://doi.org/10.3390/S21093263>

## 5G Uygulamaları için Milimetre Dalga Anten Tasarımları Üzerine Bir İnceleme

Cem GÜLER<sup>1</sup>  
Sena Esen BAYER KESKİN<sup>2</sup>

### Giriş

Kablosuz iletişim teknolojileri günümüzde en çok kullanılan teknolojiler arasında yer almaktadır. Sadece analog ses iletimiyle başlayan kablosuz haberleşmenin serüveni kapsam alanını genişleterek artırılmış gerçeklik (VR), her şey için araç (V2X), akıllı evler, e-sağlık sistemleri, çevrimiçi bankacılık işlemleri, nesnelerin interneti (IoT), endüstri 4.0, metaverse evreni, karanlık fabrikalar, medya ve eğlence, bulut teknolojileri gibi pek çok alana yayılmaktadır (Rappaport, 2013). Bu kadar geniş alanda hizmet sağlayan kablosuz haberleşme sistemlerinin taşımak zorunda olacağı veri miktarı gün geçtikçe artmaktadır. Mobil cihaz aboneliklerin artmasıyla beraber her kullanıcının tükettiği mobil trafik hacmi arasında doğru orantı bulunmaktadır. Yapılan bir araştırmada 2025 yılında her abonenin ayda ortalama 39.4 GB veri tüketeceği ve bu miktarın 2030 yılında ise 257.1 GB olacağı tahmin edilmektedir (Union, I. (2015:2-10)). Bu kadar büyük bir veri akışı bugün kullanımda olan 4G LTE olarak adlandırılan sistemin kaldırabileceğinden çok daha fazladır. Artan veri talebi ile karşılanması gereken bant genişliği, hız değerleri yeni nesil iletişim teknolojisi olan 5G ile sağlanması planlanmaktadır. Tablo 1’de 4G teknolojisi ile 5G teknolojisinin karşılaştırılması verilmektedir (BTK,2018:21-22).

**Tablo 1 - 4G ve 5G teknolojisinin karşılaştırılması (BTK,2018:21-22).**

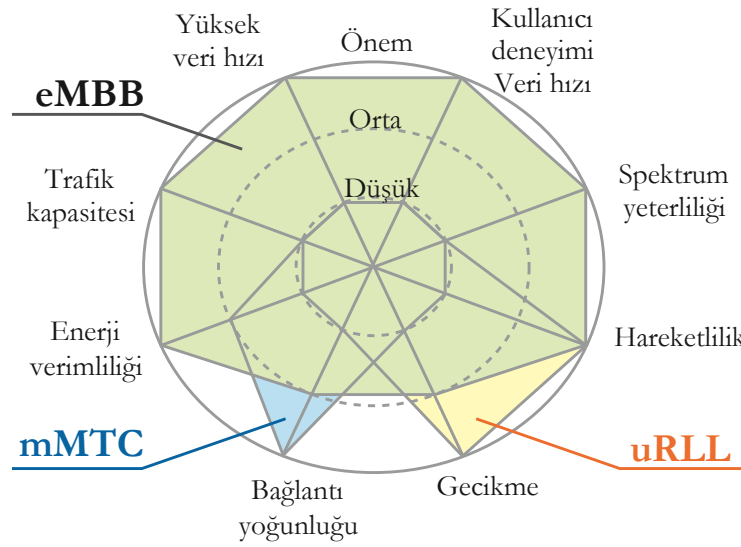
Özellikler	4G	5G
<b>Gecikme</b>	10 ms	1 ms'den daha az
<b>Veri Trafik</b>	7.2 exabyte / ay	50 exabyte / ay (2021)
<b>En yüksek veri hızı</b>	1 Gb / s	20 Gb / s
<b>Mevcut spektrum</b>	3 GHz	30 GHz
<b>Bağlantı yoğunluğu</b>	100 bin bağlantı / km <sup>2</sup>	1 milyon / km <sup>2</sup>
<b>Frekans bandı</b>	600 MHz'den 5.925 GHz'e	600 MHz-milimetre dalga

5G teknolojinin diğer nesillerden ayıran en önemli özelliği mevcut ihtiyaca göre gecikme süresi, veri miktarı ve bağlantı yoğunluğunun esnek bir şekilde sunabilecek olmasından gelmektedir. 5G teknolojisinin esnek bir şekilde ihtiyaçları karşılamak için 3 gruba ayrılmaktadır. Geliştirilmiş

<sup>1</sup> Arş. gör, Kırklareli Üniversitesi, Lüleburgaz havacılık ve uzay bilimleri fakültesi, Orcid: 0000-0002-6631-7559,

<sup>2</sup> Dr. öğretim üyesi, Kırklareli Üniversitesi, elektrik elektronik mühendisliği, Orcid: 0000-0001-8309-3393,

mobil geniş bant iletişim (eMBB: Enhanced Mobile Broadband): Mobil kablosuz iletişim için daha fazla kanal bant genişliği ve veri iletiminin geniş bantta yapılmasının ele alındığı durumu, ultra güvenilir ve düşük gecikmeli iletişim (uRLLC: Ultra Reliable and Low Latency Communications): Kablosuz iletişimde düşük Gecikme ve yüksek güvenilirlik konusunun ele alındığı durumu, masif makineden-makineye iletişim (mMTC: Massive Machine Type Communication): Çok fazla sayıda cihazın aynı anda iletişim kurduğu geniş bant gereksiniminin olmadığı, gecikme toleransının bulunduğu ama veri trafiğini eş zamanlı olarak karşılayabilecek durum olarak üç ana başlık altında toplanmaktadır (Popovski vd., 2018:55765-55768). Şekil 1’de gösterildiği gibi eMBB, uRLLC, mMTC üç temel kullanım durum senaryolarına göre ayrılan 5G teknolojisi tüm özelliklerini aynı anda kullanmak yerine belirli uygulamalara göre belirli özellikleri ön plana alarak çok daha verimli çalışmayı vadetmektedir (5G antenna white paper., 2022:4-5).



Şekil 1 - eMBB, mMTC, uRLLC 5G teknolojisi (5G antenna white paper., 2022:4-5).

Ancak 5G teknolojisine gerekli alt yapıyı hazırlamak için mevcut kullanılan frekans spektrumunda veri trafiğinin fazla olması yeni frekans spektrumlarının kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle milimetre dalga boyuna sahip frekans bantları 5G teknolojisinde cazip bir konum almaktadır. Milimetre dalga frekanslarının getireceği avantajlarını çok fazla olmasının yanısıra sıra atmosferik olaylardan kaynaklanan zayıflamalar, çok fazla uzak mesafelere iletimi yapamama gibi dezavantajları bulunmaktadır (Banday vd., 2019:265-267). Bu sınırlamaların üstesinden gelmenin ve mobil trafik yükünün hafifletilip aktarılacak veri miktarının optimum bir şekilde taşınabilmesi için tasarlanılan antenlerin iyi performans özellikleri sergilemesi gerekmektedir (Sulyman vd., 2020:6939-6940). Mikroşerit antenler basit tasarımlar, düşük profilli olmaları, kolay üretilebilmeleri, Baskı devre kartlarına ve RF devrelerine rahatlıkla entegre edilebilmeleri sebebiyle kablosuz haberleşme teknolojilerinden en çok kullanılan anten arasında kendine yer bulmaktadır. Mikroşerit antenlerin avantaj ve dezavantajları tablo 2’de verilmektedir (Yazgan, 1987:262-263).

**Tablo 2** – Mikroşerit antenlerin avantajları ve dezavantajları (Yazgan, 1987:262-263).

Avantaj	Dezavantajları
<ul style="list-style-type: none"><li>• Küçük Hacim, Düşük ağırlık, ucuz maliyet, kolay üretim ve kompakt Boyutlara sahip olmaları</li><li>• İnce ve konformal yapıları sayesinde mekanik yüzeylere, kolay entegre edilebilir olmaları</li><li>• Polarizasyonları kolaylıkla değiştirilebilmektedir</li><li>• Birden çok frekans bandını (çoklu frekanslarda çalışma) desteklemektedir</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dar bant genişliğine sahip olmaları</li><li>• Düşük kazanç değerine sahip olmaları</li><li>• Kayıplarının fazla olmaları</li><li>• Yüzey dalgalarının oluşması</li></ul>

Her geçen gün gelişen mobil cihazlara uyumlu performansı yüksek anten tasarımı alanı gün geçtikçe giderek değer kazanmaktadır. Anten tasarımcıları her frekans bandında ve kullanım alanına göre anten tasarlamak zorundadır ancak 5G frekans bandının çeşitli gereksinimleri bulunmaktadır. Kablosuz iletişim ile aktarılacak veri miktarının yüksek olması geniş bant genişliğine sahip antenlerin geliştirmesini, milimetre dalga sinyallerinin atmosferik ortamdan etkilenmeden ilerlemesi için yüksek kazanç değerine sahip antenlerin geliştirilmesini, km<sup>2</sup> de bağlantı sayısının fazla olması aynı anda birçok cihazın etkileşim sağlayabilmesi (MIMO-Multiple in Multiple Out) antenlerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında milimetre dalga spektrumunda faaliyet gösteren 5G uygulamalarında kullanılan antenlerin

- Kazanç
- Bant genişliği
- Çoklu Giriş - Çoklu Çıkış (MIMO)

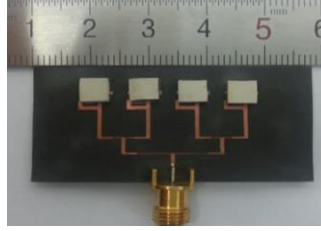
Parametrelerinin iyileştirilmesi için son yıllarda kullanılan teknikler derlenerek sunulmaktadır. 1.bölümde 5G antenlerinin neden gün geçtikçe değer kazandığından, 5G teknolojilerinin gereksinimlerinin neler olduğundan ve 5G uygulamalarında en çok kullanılan anten çeşidi olan yama antenlerden bahsedilmektedir. 2.bölümde kazanç parametresinin iyileştirilmesi için literatürde kullanılan üç başlık altında örnek çalışmalar, 3. bölümde bant genişliğini arttırmak için son yıllarda kullanılan üç başlık altında toplanan çalışmalar, 4. Bölümde çoklu giriş çoklu çıkış özelliği gösteren anten yapılarının izolasyon özelliğini iyileştirilmesi için yapılan çalışmalar derlenerek sunulmaktadır.

## 2.BÖLÜM

Bu bölümde yama antenlerinin kazanç değerlerinin arttırılması için literatürde sıklıkla kullanılan dielektrik rezonatör anten (DRA), dielektrik lens, anten dizisi metotları hakkında derleme çalışması sunulmaktadır.

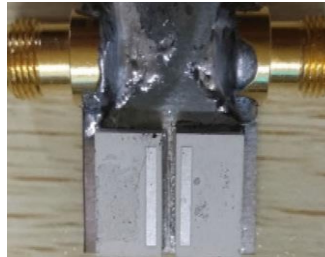
## 2.1. Dielektrik rezonatör uygulamaları

Nor ve arkadaşlarının 2016 yılında 5G uygulamalarında kullanılmak üzere yapmış oldukları çalışmada, 28 GHz'de çalışan dikdörtgen şeklinde bir yamadan oluşan mikroşerit anten tasarımı sunulmaktadır. Tasarladıkları anteni beslemek için 3 farklı besleme tekniğini (mikroşerit besleme, açıklık kuplajlı besleme, değiştirilmiş besleme) karşılaştırarak tasarımlarını değiştirilmiş besleme adını verdikleri teknikle beslenmektedir. Önerdikleri anteni RT/Duroid 5880 ( $\epsilon_r = 2.2$  ve  $\tan\delta = 0.0009$ ) alt tabaka üzerine  $11 \times 12 \times 0.254$  mm boyutlarında oluşturulmaktadır. Kazancı iyileştirmek için antene dizi yapısı uygulanmaktadır. Nihai olarak dizi yapısına küp şeklinde DRA katmanını da ekleyerek 27-29.1 GHz arasında yaklaşık 2.1 GHz'lik bir bant genişliği ve 12.1 dB kazanç elde edilmektedir (Nor vd., 2016:58-59).



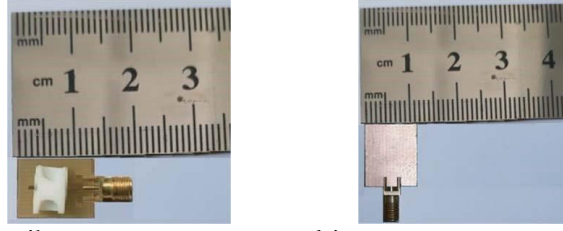
Şekil 2 - Önerilen küp şeklinde dielektrik rezonatöre sahip yama anten tasarımı (Nor vd., 2016:58-59).

2019 yılında gerçekleştirilen çalışmada, 5G milimetre dalga uygulamalarında kullanılmak üzere bir dielektrik rezonatör antenin tasarımı ve üretimi yapılmaktadır. İki dikdörtgen şeklinde dielektrik rezonatör (DR), dikdörtgen mikroşerit beslemeli RT/Duroid 5880 ( $\epsilon_r = 2.2$  ve  $\tan\delta = 0.0009$ ) bir alt tabaka üzerine inşa edilmektedir. Tasarımı gerçekleştirilen anten 27.5 GHz–28.35 GHz arasında ölçülmüş bir bant genişliğine ve 9.9 dB kazanç değerine ulaşılmaktadır (Zhang vd., 2019:748-749).



Şekil 3 - Önerilen dikdörtgen şeklinde dielektrik rezonatör yapısına sahip anten tasarımı (Zhang vd., 2019:748-749).

Benzer şekilde yapılan bir diğer çalışmada, 5G teknolojisinin gereksinimlerini karşılamak üzere dielektrik rezonatör katmanına sahip bir mikroşerit yama anten tasarımı yapılarak sonuçları sunulmaktadır. Önerilen anten  $13 \times 11.25 \times 0.787$  mm boyutlarına sahip RT/Duroid 5880 ( $\epsilon_r = 2.2$  ve  $\tan\delta = 0.0009$ ) alt tabaka üzerine inşa edilmektedir. Rezonatörün varlığı ile 28 GHz bandında 7.34 GHz bir bant genişliğine, -34.7 dB'lik bir geri dönüş kaybına ve 7.6 dBi'lik maksimum yönlülük kazancı elde edilmektedir (Anab vd., 2020:247-248).



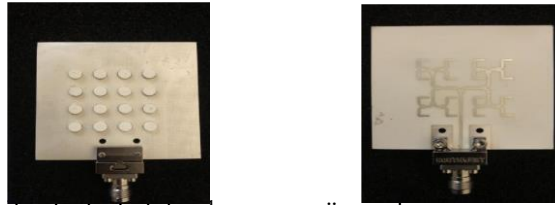
Şekil 4 - Önerilen dielektrik rezonatör yapısına sahip yama anten tasarımı (Anab vd., 2020:247-248).

2021 yılında yapılan bir çalışmada 30 GHz merkez frekansında boyutları  $20 \times 20 \times 1.52$  mm olacak şekilde dairesel polarizasyona sahip  $2 \times 2$  anten dizisi sunulmaktadır. Önerilen çalışmada oluşturulan dizinin kazancını arttırmak için 4 tane çiçek şeklinde DRA kullanılmaktadır. Oransal bant genişliği (27 GHz–38 GHz) frekansları arasında %33.8 olarak hesaplanmaktadır. Ölçüm sonuçlarından antenin 9.5 dBi kazançta sahip olduğu bildirilmektedir (Kesavan vd., 2021:7-8).



Şekil 5 - Önerilen çiçek şeklinde dielektrik rezonatöre sahip yama anten tasarımı (Kesavan vd., 2021:7-8).

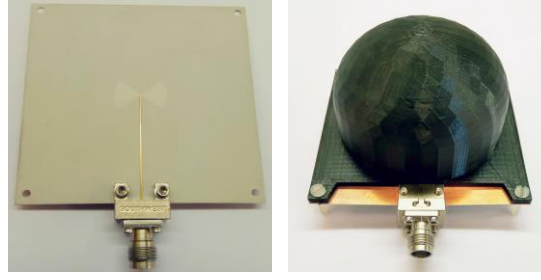
Bir diğer çalışmada seramik tabaka üzerine LTCC teknolojisi kullanılarak yüksek hassasiyet ile üretilmiş olan bir yama anten tasarımı sunulmaktadır. Ters çevrilmiş besleme ağı ile beslenen anten 16 adet silindirik dielektrik rezonatör kullanılarak parametre iyileştirme çalışması yapılmaktadır. Elde edilen anten parametre değerleri 15.68 dBi kazanç, %88 verimlilik, 28.52 GHz merkez frekansında ise %9.81 oransal bant genişliği olmaktadır (Niayesh ve Kouki, 2021:8-9).



Şekil 6 - Önerilen 16 adet silindirik dielektrik rezonatöre sahip yama anten tasarımı (Niayesh ve Kouki, 2021:8-9).

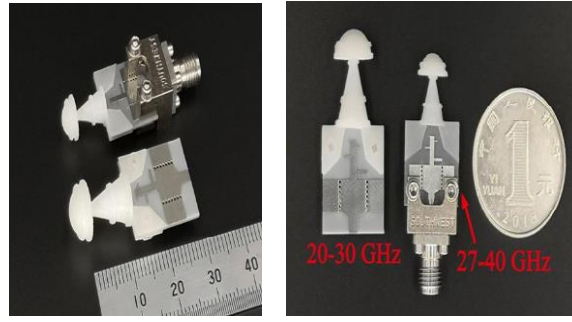
## 2.2. Dielektrik lens uygulamaları

2019 yılında yapılan bir çalışmada yeni nesil 5G uygulamalarında kullanılmak üzere papyon şeklinde bir yamaya sahip anten tasarımı sunulmaktadır. Rogers RO3003 alt tabaka üzerine inşa edilen  $40 \times 40 \times 0.254$  mm boyutlarına sahip antenin üzerine 3 boyutlu olarak yüksek geçirgenliğe sahip polilaktik asit (PLA) kullanılarak elde edilmiş dielektrik lens katmanı monte edilmektedir. Tasarımı yapılan anten 24-30 GHz frekansları arasında 6 GHz bant genişliğine ve 11 dB'lik bir maksimum kazançta ulaşılmaktadır (Ballesteros vd., 2019:1985-1986).



Şekil 7 - Önerilen üzerine dielektrik lens tabakası eklenen papyon şeklinde yama anten tasarımı (Ballesteros vd., 2019:1985-1986).

Zhang ve arkadaşları, 5G milimetre dalga bantlarında çalışmak üzere iki adet (20-30 GHz ve 27-40 GHz) frekanslarında çalışan anten tasarımı sunmaktadır. Tasarımını yaptıkları antenin üzerine 3 boyutlu yazıcı kullanarak ürettikleri dielektrik lens tabakasını ekleyerek kazanç artırımını sağlamaktadır. 23 GHz merkez frekansında 11.6 dBi ve 39.5 GHz merkez frekansında ise 11.7 dBi'lik bir kazanç ulaşılmaktadır (Zhang ve Jiao, 2019:1-2).



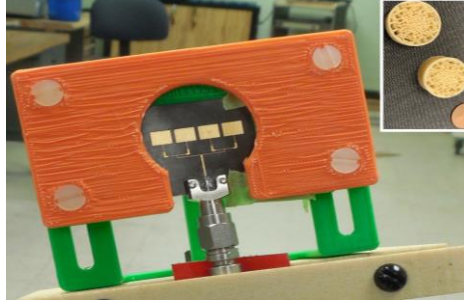
Şekil 8 - Önerilen dielektrik lens anten tasarımı (Zhang ve Jiao, 2019:1-2).

Yapılan bir diğer çalışmada 28 GHz frekansında 5G kablosuz iletişim sistemleri için iki adet anten tasarımı sunulmaktadır. Tasarımını yapmış oldukları iki anten sırasıyla, bir alt tabaka bütünleşmiş dalga kılavuzu (SIW) ve bir mikroşerit yama anteni (MPA)'den meydana gelmektedir. Önerilen antenler RT/Duroid 5880 ( $\epsilon_r = 2.2$  ve  $\tan\delta = 0.0009$ ) bir alt tabaka üzerine inşa edilmektedir. Bir üst katman olarak ise küresel polilaktik asit (PLA) kullanarak ürettikleri mercek, tasarımlarını yapmış oldukları antenlerin üzerine eklenmektedir. Bütünleşmiş dalga kılavuzu antenin, bant genişliği dielektrik lens tabakasının eklenmesi ile 26.6 GHz–29.4 GHz frekansları arasındadır. Elde etmiş oldukları kazanç değeri ise dielektrik lens tabakası eklenmeden önce 9.8 dBi eklendikten sonra 15.6 dBi olarak belirtilmektedir. Mikroşerit yama antenin, bant genişliği dielektrik lens tabakasının eklenmesiyle 27.6 GHz–29 GHz frekansları arasındadır. Elde etmiş oldukları kazanç değeri ise dielektrik lens tabakası eklenmeden önce 8.9 dBi eklendikten sonra ise 12.1 dBi olarak belirtilmektedir (Malik vd., 2019:102471-102472).



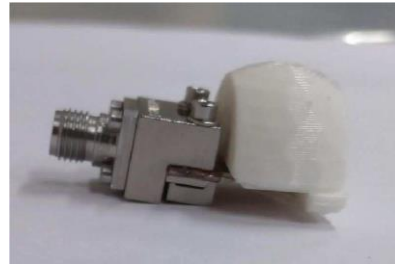
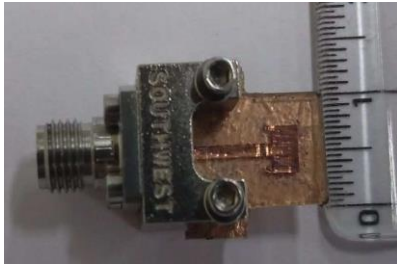
Şekil 9 - Önerilen dielektrik lens anten tasarımı (Malik vd., 2019:102471-102472).

2021 yılında sunulan bir çalışmada  $1 \times 4$  anten dizisi Rogers/RT duroid alt tabaka üzerine  $25 \times 25 \times 0.127$  mm boyutlarında oluşturulmaktadır. Oluşturulan yapının üzerine 3-D baskı teknolojisi kullanılarak Polietirimid filament ile oluşturulmuş dairesel yapıya sahip lensler yerleştirilmektedir. Yerleştirilen lenslerin kazanç etkisini incelemek için farklı uzaklıklara yerleştirilerek elde edilen sonuçlarda ortalama 4 dB kazanç arttırdığı belirtilmektedir (Horn vd., 2021:1725-1726).



Şekil 10 - Önerilen dielektrik lens anten tasarımı (Horn vd., 2021:1725-1726).

Milimetre dalga uygulamalarında kullanılmak üzere 28 GHz frekansında dielektrik değeri 2.2 ve yüksekliği 0.508 mm olan polikarbonat bir alt tabaka üzerine bir mikroşerit yama anten tasarımı sunulmaktadır. Önerilen dikdörtgen şekilli yama antenin kazancının artırılması için üç boyutlu yarım küre şeklinde tabaka anten üzerine eklenmektedir. Eklenen lens tabakasının kazanç artırıcı yönde 4.7 dBi etki etmektedir. Ayrıca lens tabakası kazancı artırmanın yanında hüzme genişliğinin daraltılmasında ve yan lob seviyesinin azaltılmasında etkili olarak kullanılabileceği bildirilmektedir (Shalini vd., 2021:2-3)

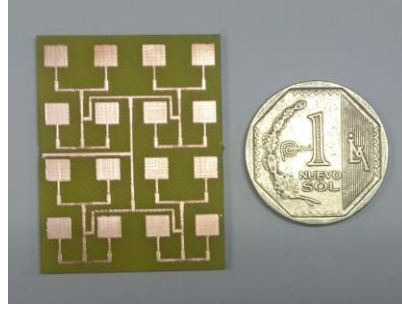


Şekil 11 - Önerilen dielektrik lens anten tasarımı (Shalini vd., 2021:2-3)

### 2.3. Dizi anten uygulamaları

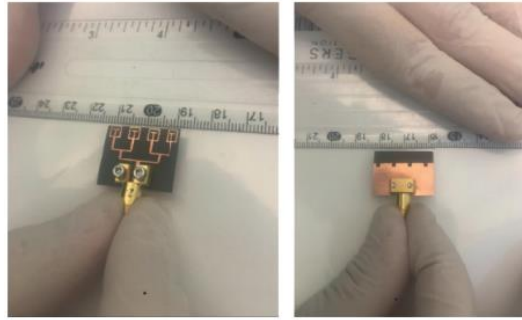
2018 yılında 5G uygulamalarında kullanılmak üzere  $4 \times 4$  bir anten dizisi tasarımı yapılmaktadır. İlk önce dikdörtgen şeklinde tek yama matematiksel denklemler ile elde edilen sonuçlar ile oluşturulmaktadır. Simülasyonu yapılan tek antenin bant genişliği 470 MHz ve geri dönüş kaybı değeri -46.1 dB olarak verilmektedir. 28 GHz merkez frekansında tek anten 6.61 dB kazanç değerine ulaşmaktadır. Daha sonra tek anten  $4 \times 4$  elemanlı dizi şekline getirilerek yeni bir anten tasarımı elde edilmektedir. Oluşturulan anten dizisi 28 GHz merkez frekansında 308 MHz ve -16.37 geri dönüş kaybı değeriyle beraber kazanç 6.61 dB'den 16.63 dB seviyesine yükselmektedir (Arizaca-Cusicuna vd., 2018: 3-4).





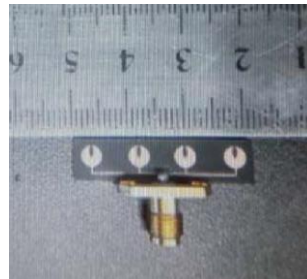
Şekil 12 - Önerilen yama anten dizi tasarımı (Arizaca-Cusicuna vd., 2018: 3-4).

Kiani ve arkadaşları 5G teknolojisini milimetre dalga sistemlerinde kullanılmak üzere T şeklinde bir anten tasarımı sunmaktadır. İlk olarak tek bir yamadan oluşan anteni 2.3 dielektrik değerine ve  $12 \times 10 \times 0.254$  mm uzunlukları ile Rogers/RT duroid bir alt tabaka üzerine oluşturmaktadır. Önerilen tek yamadan oluşan anten 4.25 dBi kazanç değerine ulaşmaktadır. Daha sonra tek elemanlı anteni  $1 \times 4$  dizi haline getirerek performans değerlerindeki değişimi gözlemlemektedir. Oluşan yeni dizi antenin uzunluk değerleri  $18.5 \times 24$  mm olarak belirtilmektedir. Anten dizisi %94 verimliliğe ve 11.5 dBi kazanç değerine ulaşmaktadır (Kiani vd., 2021:3-6).



Şekil 13 - Önerilen  $1 \times 4$  dizi yama anten tasarımı

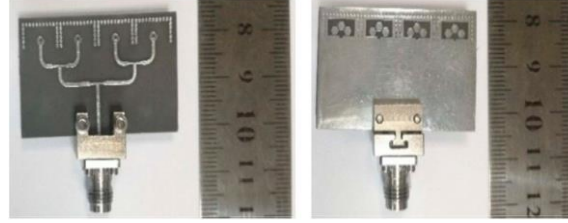
Yapılan bir diğer çalışmada ise, eliptik bir yuvaya sahip çift bantlı dairesel bir mikroşerit yama anteni sunulmaktadır. Anten, sırasıyla 1.3 GHz ve 1 GHz bant genişlikleri ile 28 GHz ve 45 GHz rezonans frekanslarında ışınım yapmaktadır. Antenin verimi 28 GHz'de %85.6 ve 45 GHz'de %95.3'tür. 28 GHz'de geri dönüş kaybı  $-40$  dB'dir, maksimum kazanç 7.6 dB iken, 45 GHz'de dönüş kaybı  $-14$  dB'dir ve maksimum kazanç 7.21 dB'dir. Anten, dielektrik sabiti 2.2 ve kayıp tanjantı ( $\tan \delta$ ) 0.0013 olan bir Rogers RT/duroid 5880 alt tabaka üzerinde tasarlanmaktadır. Anten,  $6 \times 6 \times 0.578$  mm<sup>3</sup>lük kompakt bir boyut ile inşa edilmektedir (Khattak vd., 2019:143-144).



Şekil 14 - Önerilen  $1 \times 4$  yama anten dizi tasarımı (Khattak vd., 2019:143-144).

2019 yılında yapılan çalışmada Ullah ve arkadaşları, 5G milimetre dalga uygulamalarında kullanılmak üzere bir anten dizisi sunmaktadır. Önermiş oldukları dizinin tek elemanı, ters u şeklinde bir toprak düzlemine ile çevrili spiral monopoldür. Anten elemanının bant genişliğini performansını artırmak için toprak düzlemine altıgen şeklinde parazitik yamalar eklenmektedir.

Dizinin toplam boyutu  $40 \times 15$  mm'dir 23.76–42.15 GHz frekans aralığında çalışmaktadır. Önerilen anten dizisinin maksimum kazancı 11.5 dBi olarak elde edilmektedir (Ullah ve Tahir, 2019:2664-2665).



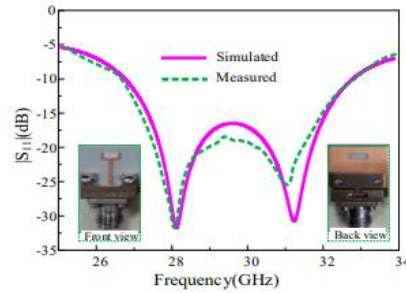
Şekil 14 Önerilen  $1 \times 4$  anten dizi tasarımı (Ullah ve Tahir, 2019:2664-2665).

### 3.BÖLÜM

Anten performansının iyileştirmek için en çok kullanılan ve en basit yöntemlerden birisi antenin yama düzleminde veya toprak düzleminde kasıtlı olarak kusurlu zemin yapısı (DGS) oluşturmaktır (Khandelwal vd., 2017:2-6). Bu bölümde yama antenlerinin bant genişliği değerlerinin artırılması için literatürde sıklıkla kullanılan kusurlu Zemin yapısı (DGS-Defected Ground System), yuva (slot), metamateryal & metayüzey metotları hakkında derleme çalışması sunulmaktadır.

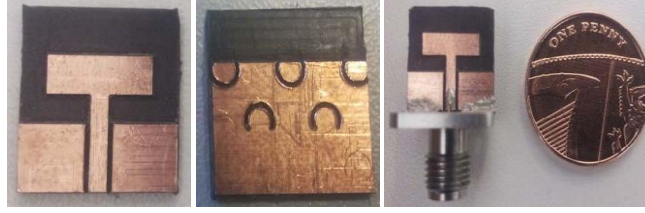
#### 3.1. Bozulmuş toprak düzlemi (DGS-Defected Ground System) uygulamaları

Awan ve arkadaşlarının 2019 yılında  $2.5 \times 4.5 \times 0.203$  mm boyutlarında dielektrik tabaka üzerine inşa etmiş oldukları antenin performans parametrelerinin iyileştirilmesi adına DGS yapısına başvurmuştur. DGS olmadan elde edilen bant genişliği değeri 3.4 GHz iken DGS'nin kullanılmasıyla beraber 6.4 GHz'e çıkmaktadır. Toprak düzleminde gerçekleştirilen dikdörtgen şeklinde DGS yapısının boyutlarının bant genişliğine etkisini inceleyerek optimum boyutları belirlemektedir. Tasarımı yapmış oldukları çalışma 26.5 GHz ile 32.9 GHz frekansları arasında 6.4 GHz'lik bir bant genişliği 5.62 dBi tepe kazancı elde etmektedir. 5G uygulamalarında DGS yapısının uygulanabilir olduğunu belirlemektedir (Awan vd., 2021:179-180).



Şekil 15 - Önerilen anten ve DGS yapısı (Awan vd., 2021:179-180).

Jilani ve arkadaşları 5G uygulamalarında kullanılmak üzere t şeklinde bir anten tasarımı yapmaktadır. Tasarımını yapmış oldukları anten  $12 \times 12.5 \times 0.8$  mm boyutlarında RT/duroid 5880 dielektrik alt tabaka üzerinde oluşturulmaktadır. DGS yapısının etkisinin incelendiği çalışmada DGS yapısıyla birlikte 25.1 GHz ile 37.5 GHz frekansları arasında ışıma yapabilen ve 36.8 GHz frekansında maksimum 9.86 dBi kazanç değerine ve %80'in üzerinde bir verimliliğe ulaşmaktadır (Jilani ve Alomainy, 2016:1-2).



Şekil 16 - Önerilen anten ve DGS yapısı (Jilani ve Alomany, 2016:1-2).

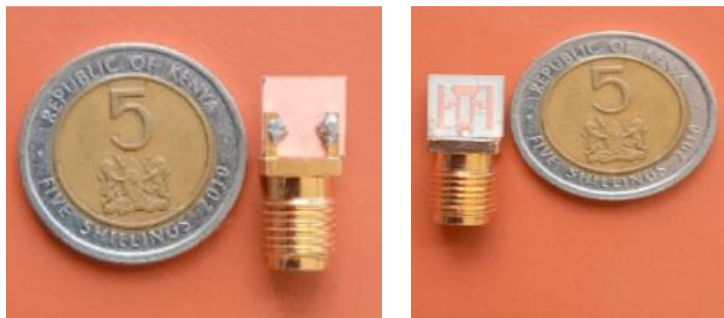
2020 yılında sandi ve arkadaşlarının 5G uygulamalarında kullanılmak üzere tasarımını yaptıkları antenin merkez çalışma frekansı 28 GHz olarak belirlemektedir. Rogers RT duroid/5880 dielektrik alt tabaka üzerine  $30.11 \times 19.89 \times 0.787$  mmm boyutlarında  $2 \times 2$  anten dizisi olacak şekilde tasarımı yapılan antenin bant genişliğini iyileştirmek için zemin düzleminde çift dambıl şeklinde DGS yapısı oluşturulmaktadır. Dambıl şeklinde DGS yapısının antenin bant genişliğini %58 ve kazanç değerini ise %7 oranında oranında arttırdığını bildirmişlerdir (Sandi vd., 2021: 3-4).



Şekil 17 - Önerilen anten ve DGS yapısı (Sandi vd., 2021: 3-4).

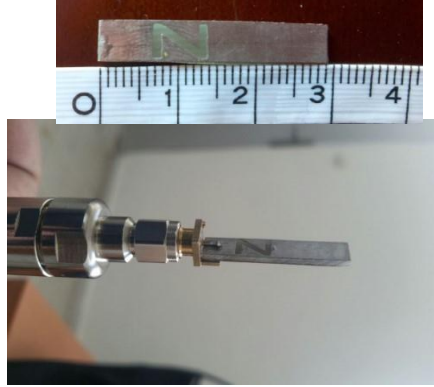
### 3.1 Yuva (slot) uygulamaları

Bamy ve Arkadaşları, Otomobil radarlarında, 5G teknolojisinde ve ISM (Industrial, Scientific and Medical) uygulamalarında kullanılmak üzere 23.52 GHz ve 28.39 GHz arasında çalışan çift bantlı koyun (Dolly) şeklinde bir anten tasarımı önermektedir. Anten performansını geliştirmek için tasarımlarında iki tane f-şeklinde ışılan yama ve dikdörtgen bir yuva kullanılmaktadır. Dikdörtgen şeklinde yuvanın geri dönüş kaybının -20.94 dB'den -44.20 dB seviyelerine indirmesine bant genişliği değerinin iyileştirilmesine yardımcı olduğunu belirtilmektedir. Tasarımı yapılan antenin prototipinde alt tabaka olarak dielektrik sabiti 10.2 olan Rogers RO3010 alt tabakası kullanılmaktadır.  $7 \times 7 \times 1.28$  mm boyutlarına sahip antenin kazancı 4.55 dBi iken elde ettikleri bant genişliği sırasıyla 1.16 GHz (23.16 GHz-24.32 GHz) ve 634 MHz (28.078 GHz-28.712 GHz) olduğu belirtmişlerdir. Ayrıca anten verimi her iki bantta da %80 seviyelerine ulaşmaktadır (Bamy vd., 2021:3-4).



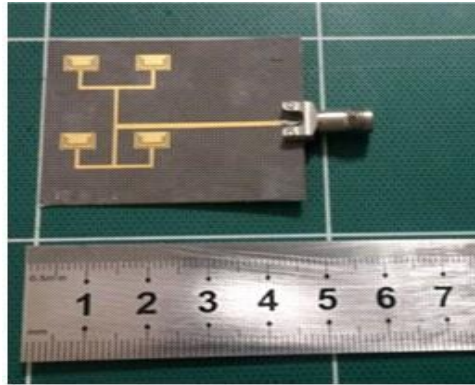
Şekil 18 - Önerilen anten ve dikdörtgen yuva (Bamy vd., 2021:3-4).

2018 yılında yapılan bir çalışmada 18.48 GHz ve 19.6 GHz frekansları arasında çalışan  $5.1 \times 30.2 \times 1.6$  boyutlarında 4.4 dielektrik değerine sahip anten tasarımı FR-4 tabaka üzerine inşa edilmektedir. Tasarımda kullanılan yamanın uzunluklarını matematiksel formüller belirlenen anten 18 GHz ile 18.6 GHz arasında -2 dB geri dönüş kaybı değerine sahip olmaktadır. Daha sonra paralel 2 tane yuva uygulayarak antenin geri dönüş kaybını -10 dB'e ulaştırmaktadır ancak bant genişliği frekans aralığı olarak 17.2 GHz ile 1.6 GHz arasına kaymaktadır. Son adımda Z şeklinde bir yuva ekleyerek frekans aralığının 18.6 GHz ve 19.6 GHz arasında kaydırarak 1 GHz bant genişliği elde etmektedirler. Elde edilen kazanç değeri 18.8 GHz frekansında 4.3 dB olarak bildirilmektedir (Bouzakraoui vd., 2018:356-357).



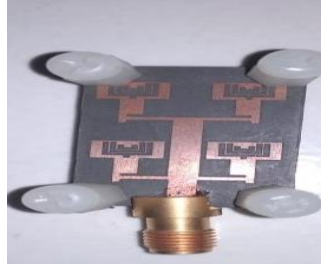
Şekil 19 - Önerilen anten ve Z şeklinde yuva (Bouzakraoui vd., 2018:356-357).

Yoon ve arkadaşları 28 GHz merkez frekasında  $41.3 \times 46 \times 0.508$  mm boyutlarına sahip  $2 \times 2$  şeklinde bir dizi anten tasarlamışlardır. Tasarımı yapılan anten parametrelerinin iyileştirmesi için yama üzerine u şeklinde yuva ekleyerek bant genişliği değerinin %10 artırdığını belirtmişlerdir. Önerilen anten 13 dBi kazanç değeri sağlayarak 5G uygulamalarında kullanılmak üzere iyi bir adaydır (Yoon ve Seo, 2017:134-137).



Şekil 20 - Önerilen anten ve u şeklinde yuva (Yoon ve Seo, 2017:134-137).

$31.5 \times 18.5 \times 0.787$  boyutlarında Rogers RT/duroid 5880 üzerinde inşa ettikleri  $2 \times 2$  dizi şeklinde antenin üzerine u ve y şeklinde yuvalar açarak ve hava boşluğu ekleyerek kazanç ve bant genişliği parametrelerinin iyileştirilmesini sağlamaktadır. Yuva ve hava boşluğu eklendiğinde geri dönüş kaybı -31 dB'den -40 dB seviyelerine ulaşmaktadır. Başlangıçta çift bantta ışıma yapan ve 1.807 GHz ve 829 MHz bant genişliği değerlerine sahip anten u ve y şeklinde yuvalar ve hava boşluğunun eklenmesiyle iki frekans aralığı birleşerek 2.636 GHz bant genişliği değerine ulaşmaktadır. Kazanç değeri ise 9.1 dB değerinden 4.2 dB artışla 13.3 dB değerine ulaşmaktadır (Sandi et al., 2021:5-7).

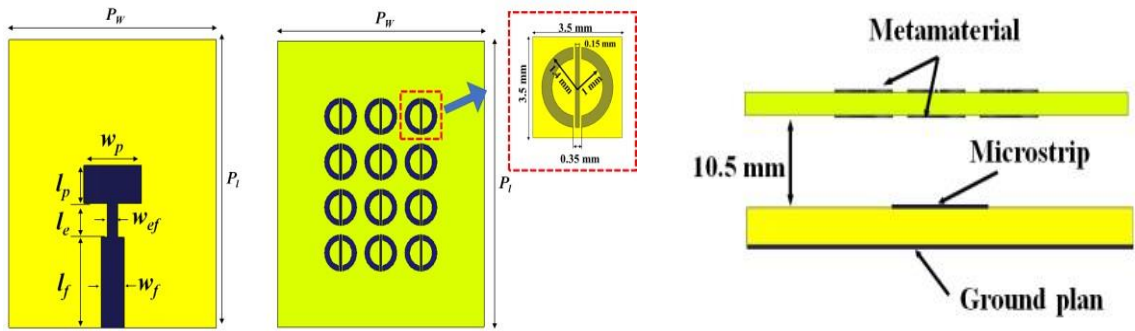


Şekil 21 - Önerilen anten ve U ve Y şeklinde yuva (Sandi et al., 2021:5-7).

### 3.3 Metamateryal ve Metayüzey (Metamaterial&Metasurface) uygulamaları

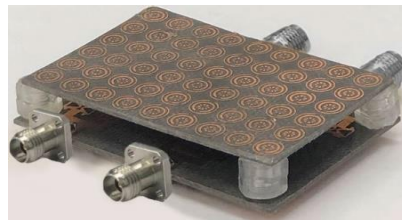
Jeong ve arkadaşlarının 2019 yılında yapmış oldukları çalışmada mikroserit hat ile beslenen dikdörtgensel yama şekline,  $18 \times 22 \times 0.81$  mm uzunluk ve 3.38 dielektrik katsayı değerine sahip anteni Rogers/RO40003 tabaka üzerine oluşturmaktadırlar. Oluşturulan anten yapısının üzerine metamateryal bir tabaka ekleyerek anten parametre değerlerini iyileştirmektedir. Metamateryal eklenmeden önce 26.95 GHz ve 29.17 GHz değerleri arasında (%7.90) bant genişliği değerine ve 5.53–7.69 dBi değeri arasında değişen kazanç sahip anten, metamateryal yüzey eklenmesiyle birlikte 26.29 GHz ile 29.89 GHz frekansları arasında (%12.8) oransal bant genişliği değeri ve 11.6 dBi ile 13.2 dBi arasında değişen bir kazanç değerine ulaşılmaktadır (Jeong vd., 2019:2361-2362).

Şekil 22 -



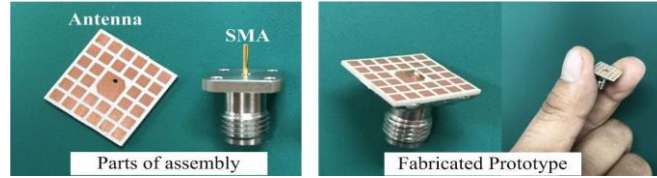
Önerilen anten ve kullanılan metamateryal yüzey (Jeong vd., 2019:2361-2362).

Bir diğer çalışmada 4 elemanlı MIMO özelliğine sahip her bir elemanın  $1 \times 2$  diziden oluşan bir anten tasarımını RT/duroid 5880 tabaka üzerine  $0.787 \times 30 \times 43$  mm boyutlarında tasarlamaktadırlar. Tasarımı yapılan yapı üzerine yine tasarımlarını kendilerini yapmış oldukları  $9 \times 6$  tane dairesel bölünmüş halkaya sahip bir metayüzey ekleyerek bant genişliği değerinin 1.35 GHz'den 1.95 GHz seviyelerine ulaşmasına kazanç değerinde ise 2.1 dBi bir artış değerine yardım ettiği belirtmektedir (Tariq vd., 2021:51807-51812).



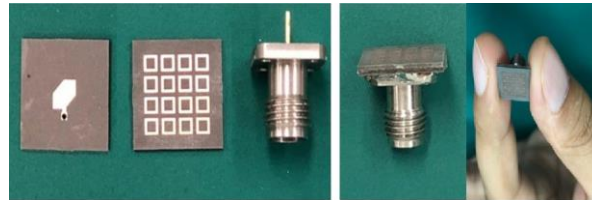
Şekil 23 - Önerilen anten ve kullanılan metamateryal yüzey (Tariq vd., 2021:51807-51812).

Yapılan bir diğer çalışmada 5G milimetre dalga sistemlerinde kullanılmak üzere tek katmandan oluşan dairesel polarizasyona sahip yama anteni ilk önce tek yama şeklinden daha sonra 2×2 çoklu giriş çoklu çıkış (MIMO-multiple in multiple out) sistemine getirerek analizini yapmaktadır. Tek bir dielektrik katmandan oluşan ve dielektrik katsayı değeri 2 olan 12×12×0.51 boyutlarına sahip antenin Rogers/5580 LZ tabaka üzerine inşa etmektedir. Koaksiyel besleme ile enerjilenen tek yama anten, metayüzey olmadan %5 oransal bant genişliği, 7 dBic kazanç değerine ulaşmaktadır. Metayüzey eklenmesi ile bant genişliği %23.4 değerine, kazanç değeri ise 4.3 dBi bir artış sağlayarak 11.3 dBic değeri elde edilmektedir (Hussain vd., 2020:130297-130299).



Şekil 24 - Önerilen anten ve kullanılan metayüzey (Hussain vd., 2020:130297-130299).

Hussain ve arkadaşlarının yapmış oldukları bir diğer çalışmada ise 5G uygulamalarında kullanılmak üzere dairesel polarizasyona sahip bir yama anten 12×12×1.02 mm uzunluk ve 2.2 dielektrik katsayı değerine sahip Rogers/5880 tabaka üzerinde oluşturulmaktadır. Yanlardan kesilmiş bir kare yamada koaksiyel besleme kullanılmaktadır. Daha sonra tasarımı yaptıkları anten üzerine içi boş kare şeklinde 4×4 tane yüzeyden oluşan bir metayüzey eklenmektedir. Antene diagonal yuva eklenmeden önce elde edilen oransal bant genişliği 26.9 GHz ve 28.4 GHz frekansları arasında %5.4 ve kazanç değeri ise 7.5 dBic olmaktadır. Antene eklenen diagonal yuva ile bant genişliği değeri 26 GHz ve 28 GHz frekansların arasında %8.12 artmaktadır. Kazanç değeri ise 5 dBic olarak aynı kalmaktadır. Daha sonra nihai tasarım olarak antene metayüzey eklenerek bant genişliği 24 GHz ile 34.1 GHz arasında % 34.7 değerine ve kazanç değeri ise 11 dBic değerine ulaşmaktadır (Hussain, Jeong, Abbas, Kim, vd., 2020:22128-22131).



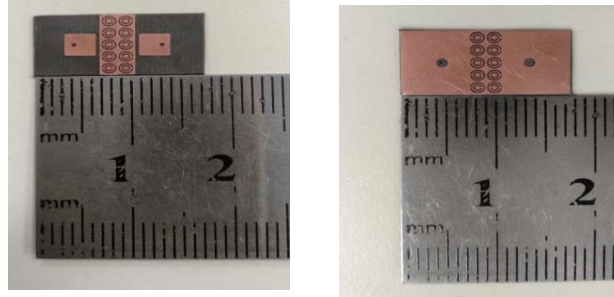
Şekil 25 - Önerilen anten ve kullanılan metayüzey katman (Hussain, Jeong, Abbas, Kim, vd., 2020:22128-22131).

#### 4.BÖLÜM

Bu bölümde çoklu giriş-çoklu çıkışa (MIMO) sahip antenler arasında izolasyon seviyesinin artırılması için anten elemanları arasına rezonatör eklenerek oluşturulan anten yapıları incelenmektedir.

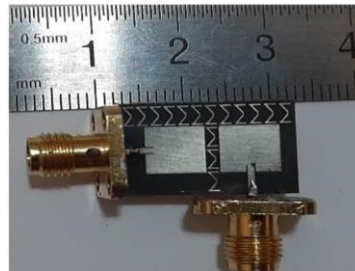
2020 yılında yapılan bir çalışmada 5G sistemlerinde kullanılmak üzere 28 GHz frekansında çalışan koaksiyel beslemeli 2 portlu bir çoklu giriş çoklu çıkış (MIMO) anten tasarımı yapılmaktadır. Tasarımı yapılan anten arasında karşılıklı bağlaşımın azaltılması amacıyla bölünmüş halka rezonatör kullanılmaktadır. Tasarımı yapılan anten Rogers/RT duroid alt tabaka üzerinde boyutları 8.7×17×0.508 mm olacak şekilde oluşturulmaktadır. 28 GHz merkez frekansında elde edilen bant genişliği değeri ise 1.62 GHz olarak verilmektedir. Oluşturulan iki yama arasında 2×5 tane

bölünmüş halka rezonatör eklenerek izolasyon değeri arttırılmaktadır. Halka rezonatör eklenmeden önce iki anten arasında ölçülen izolasyon değeri -16 dB olarak elde edilmektedir. Halka rezonatör kullanıldıktan sonra -31.7 dB iyileşme sağlanarak izolasyon değeri -47.7 dB seviyelerine ulaşmaktadır (Ameen vd., 2020:51-52).



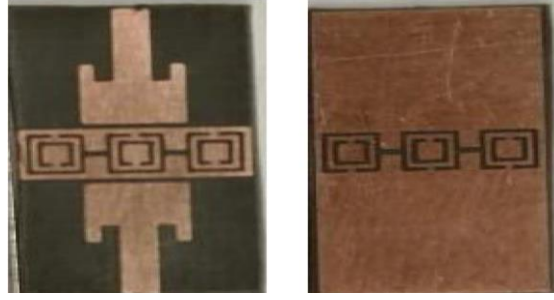
Şekil 26 - Önerilen anten ve rezonatör yapısı (Ameen vd., 2020:51-52).

Khalili ve arkadaşlarının 2021 yılında 5G uygulamalarında kullanılmak üzere 30 GHz frekansında 2 elemanlı bir MIMO anten tasarımı  $19.4 \times 13 \times 0.254$  mm boyutlarında Rogers RT/duroid 5880 tabaka üzerine mikroşerit hat ile beslenen kare şeklinde iki adet yama anten birbirine dik olacak şekilde yerleştirilmektedir. Önerilen anten tasarımı 29-31 GHz frekansları arasında 2 GHz bant genişliğine sahip olmaktadır Yamalar arasında toplam sembolü şeklinde yinelenen birim hücreler sayesinde izolasyon değeri 32 dB iyileştirilmektedir. Kazanç değeri ise 8 dB ilk antene oranla geliştirilmektedir (Khajeh-Khalili vd., 2021:1088-1090).



Şekil 27 - Önerilen anten ve rezonatör yapısı (Khajeh-Khalili vd., 2021:1088-1090).

2020 yılında abdelaziz ve arkadaşları 5G uygulamalarında kullanılmak üzere 2 portlu bir MIMO anteni tasarlamaktadır. Tasarımı yapılan anten mikroşerit hat beslemeye sahip dikdörtgen yamadan oluşmaktadır. Oluşturdukları tek anteni karşılık bir şekilde  $9.4 \times 17 \times 0.508$  boyutlarında Rogers RT/duroid 5880 tabaka üzerine yerleştirilmektedir. Bu konfigürasyon ile antenler arasında izolasyon değeri -27 dB olarak ve kazanç değeri ise 8.26 dB olarak belirtilmektedir. Kare şeklinde rezonatörlerin hem yamalar arasına hem de toprak düzlemine yerleştirilmesi ile izolasyon seviyesinde -27 dB iyileşme olup izolasyon seviyesi -54 dB olmaktadır. Ayrıca anten kazancının ve radyasyon verimliliğinin sırasıyla 8.26 dB'den 8.31 dB seviyelerine %86.1'den %89.5 seviyelerine geliştirilmektedir (abdelaziz ve Hamad, 2020:8-9).



Şekil 28 - Önerilen anten ve rezonatör yapısı (abdelaziz ve Hamad, 2020:8-9).

## SONUÇ

5. nesil ağ performansını destekleyecek şekilde yüksek kazanç, yüksek bant genişliği ve MIMO özelliği gösteren antenlerin tasarımı önemli bir konu haline gelmektedir. Mikroserit yama antenleri, basit ve düşük profilleri sayesinde mobil haberleşme sistemlerinde en çok kullanılan anten çeşidi olmaktadır. Bu makalede son yıllarda milimetre dalga frekansında çalışmak üzere tasarlanmış antenlerde kullanılan kazanç artırma yöntemlerinden olan, dielektrik rezonatör, dielektrik lens, dizi anten, bant genişliği arttırma yöntemlerinden olan bozulmuş toprak zemin düzlemi, yuva, metamaterial, metayüzey ve MIMO performans özelliklerinden olan izolasyon seviyesinin iyileştirilmesi için rezonatör kullanılan çalışmalar derlenerek okuyucuya sunulmaktadır. Bu çalışma 5G antenlerin tasarımlarında araştırmacılara yön gösterici olması beklenmektedir.



## Kaynakça

Abdelaziz, A., & Hamad, E. K. (2020). Isolation enhancement of 5G multiple-input multiple-output microstrip patch antenna using metamaterials and the theory of characteristic modes. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 30(11).

Ameen, A. M., Yousef, B. M., & Attiya, A. M. (2020). Mutual coupling reduction between MM-wave microstrip antennas using CSRR metamaterial structure. 2020 37th National Radio Science Conference (NRSC).

Anab, M., Khattak, M. I., & Owais, S. M. (2020). Khattak ve A. Sultan, «Design and Analysis of Millimeter Wave Dielectric Resonator. *Progress In Electromagnetics Research C*, 98, 239–255.

Arizaca-Cusicuna, D. N., Luis Arizaca-Cusicuna, J., & Clemente-Arenas, M. (2018). High gain 4x4 rectangular patch antenna array at 28GHz for future 5G applications. 2018 IEEE XXV International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON).

Awan, W. A., Naqvi, S. I., Naqvi, A. H., Abbas, S. M., Zaidi, A., & Hussain, N. (2021). Design and characterization of wideband printed antenna based on DGS for 28 GHz 5G applications. *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, 21(3), 177–183. <https://doi.org/10.26866/jees.2021.3.r.24>

Ballesteros, C., Maestre, M., Santos, M. C., Romeu, J., & Jofre, L. (2019). A 3D printed lens antenna for 5G applications. 2019 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting.

Bamy, C. L., Moukanda Mbango, F., Konditi, D. B. O., & Moukala Mpele, P. (2021). A compact dual-band Dolly-shaped antenna with parasitic elements for automotive radar and 5G applications. *Heliyon*, 7(4), e06793. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06793>

Banday, Y., Mohammad Rather, G., & Begh, G. R. (2019). Effect of atmospheric absorption on millimetre wave frequencies for 5G cellular networks. *IET Communications*, 13(3), 265–270. <https://doi.org/10.1049/iet-com.2018.5044>

Bilgi Teknolojieri ve İletişim Kurumu (BTK), 5G ve Dikey Sektörler Raporu, 2018.

Bouzakraoui, K., Mouhsen, A., & Taouzari, M. (n.d.). Patch Antenna Using Z-Slot for Bandwidth Improvement for 5G Network Applications.

Horn, B., Yee, S., ElBidweihy, H., & Mechtel, D. (2021). Additively manufactured mobile device lens case for 5G antenna gain. 2021 IEEE 71st Electronic Components and Technology Conference (ECTC).

Hussain, N., Jeong, M.-J., Abbas, A., & Kim, N. (2020). Metasurface-based single-layer wideband circularly polarized MIMO antenna for 5G millimeter-wave systems. *IEEE Access: Practical Innovations, Open Solutions*, 8, 130293–130304. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3009380>

Hussain, N., Jeong, M.-J., Abbas, A., Kim, T.-J., & Kim, N. (2020). A metasurface-based low-profile wideband circularly polarized patch antenna for 5G millimeter-wave systems. *IEEE Access: Practical Innovations, Open Solutions*, 8, 22127–22135. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2969964>

Jeong, M. J., Hussain, N., Park, J. W., Park, S. G., Rhee, S. Y., & Kim, N. (2019). Millimeter-wave microstrip patch antenna using vertically coupled split ring metaplate for gain enhancement. *Microwave and Optical Technology Letters*, 61(10), 2360–2365. <https://doi.org/10.1002/mop.31908>

Jilani, S. F., & Alomainy, A. (2016). Millimetre-wave T-shaped antenna with defected ground structures for 5G wireless networks. 2016 Loughborough Antennas & Propagation Conference (LAPC).

Kesavan, A., Al-Hassan, M., Ben Mabrouk, I., & Denidni, T. A. (2021). Wideband circular polarized dielectric resonator antenna array for millimeter-wave applications. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(11), 3614. <https://doi.org/10.3390/s21113614>

Khajeh-Khalili, F., Honarvar, M. A., Naser-Moghadasi, M., & Dolatshahi, M. (2021). A simple method to enhance gain and isolation of MIMO antennas simultaneously based on metamaterial structures for millimeter-wave applications. *Journal of Infrared, Millimeter and Terahertz Waves*. <https://doi.org/10.1007/s10762-021-00834-2>

Khandelwal, M. K., Kanaujia, B. K., & Kumar, S. (2017). Defected Ground Structure: Fundamentals, analysis, and applications in modern wireless trends. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2017, 1–22. <https://doi.org/10.1155/2017/2018527>

Khattak, M. I., Sohail, A., Khan, U., Barki, Z., & Witjaksono, G. (2019). Elliptical slot circular patch antenna array with dual band behaviour for future 5g mobile communication networks. *Progress in Electromagnetics Research C. Pier C*, 89, 133–147. <https://doi.org/10.2528/pierc18101401>

Kiani, S. H., Ren, X. C., Bashir, A., Rafiq, A., Anjum, M. R., Kamal, M. M., Din, B. U., & Muhammad, F. (2021). Square-framed T shape mmwave antenna array at 28 GHz for future 5G devices. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2021, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2021/2286011>

Malik, B. T., Doychinov, V., Zaidi, S. A. R., Robertson, I. D., & Somjit, N. (2019). Antenna gain enhancement by using low-infill 3D-printed dielectric lens antennas. *IEEE Access: Practical Innovations, Open Solutions*, 7, 102467–102476. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2931772>

New 5G, new antenna 5G antenna white paper. (n.d.). Huawei.Com. Retrieved May 2, 2022, from <https://carrier.huawei.com/~media/CNBGV2/download/products/antenna/New-5G-New-Antenna-5G-Antenna-White-Paper-v2.pdf>

Niayesh, M., & Kouki, A. (2021). LTCC-integrated dielectric resonant antenna array for 5G applications. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(11), 3801. <https://doi.org/10.3390/s21113801>

Nor, N. M., Jamaluddin, M. H., Kamarudin ve, M. R., & Khalily, M. (2016). «Rectangular Dielectric Resonator Antenna Array for 28 GHz Applications,» *Progress In Electromagnetics Research C (J.-Y. Deng & M.-J. Li, Eds.; Vol. 18)*. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters.

Popovski, P., Trillingsgaard, K. F., Simeone, O., & Durisi, G. (2018). 5G wireless network slicing for eMBB, URLLC, and mMTC: A communication-theoretic view. *IEEE Access: Practical Innovations, Open Solutions*, 6, 55765–55779. <https://doi.org/10.1109/access.2018.2872781>

Rappaport, T. S. (2013). 'Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work!' *IEEE Access*, 1(1), 335–349.

Sandi, E., Maruddani, B., & Betakore, S. A. (2021). Gain enhancement by using combination slot techniques for millimeter-wave 5G antenna. *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*, 1098(4), 042091. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1098/4/042091>

Sandi, E., Maruddani, B., Ronald, D. F., & Ramadhan, R. (2021). A wideband microstrip triangle patch antenna with double dumbbell shaped Defective Ground Structure for 5G application. *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*, 1098(4), 042093. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1098/4/042093>

Shalini, G. R., Krishna, D. R., Karthikeya, G., & Koul, S. K. (2021). Design of 3D printed lens antenna for 5G applications. In *2021 IEEE MTT-S International Microwave and RF Conference (IMARC)* (pp. 1–4). IEEE.

Sulyman, A. I., Alwarafy, A., MacCartney, G. R., Rappaport, T. S., & Alsanie, A. (2020). Directional radio propagation path loss models for millimeter-wave wireless networks in the 28-, 60-, and 73-GHz bands. In *arXiv [eess.SP]*. <http://arxiv.org/abs/2012.00636>

Tariq, S., Naqvi, S. I., Hussain, N., & Amin, Y. (2021). A metasurface-based MIMO antenna for 5G millimeter-wave applications. *IEEE Access: Practical Innovations, Open Solutions*, 9, 51805–51817. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3069185>

Ullah, H., & Tahir, F. A. (2019). «Broadband planar antenna array for future 5G communication standards,» *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, Cilt, 13(15), 2661–2668.

Union, I. (2015). IMT traffic estimates for the years 2020 to 2030. Report ITU, 2370.

Yazgan, E. (1987). Mikroşerit Antenler.

Yoon, N., & Seo, C. (2017). A 28-GHz Wideband 2×2 U-Slot Patch Array Antenna. *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, 17(3), 133–137. <https://doi.org/10.5515/jkiees.2017.17.3.133>

Zhang, Y., Deng, J.-Y., Li, M.-J., Sun, D., & Guo, L.-X. (2019). A MIMO dielectric resonator antenna with improved isolation for 5G mm-wave applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 18(4), 747–751. <https://doi.org/10.1109/lawp.2019.2901961>

Zhang, Y.-X., & Jiao, Y.-C. (2019). 3D-printed lens-antennas with broadband stable radiation performance for 5G communication. *2019 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT)*.

## 5G Uygulamaları için Milimetre Dalga Yama Anten Tasarımı

Cem GÜLER<sup>1</sup>

Sena Esen BAYER KESKİN<sup>2</sup>

### Giriş

Son yıllarda iletişim teknolojileri, hayatımızın her alanında kendine yer bulması ve günlük yaşantımızı kolaylaştırması sebebiyle giderek vazgeçilmez bir hale gelmektedir. Başlangıçta sadece analog ses iletimi ile ortaya çıkan iletişim teknolojileri 1.nesilden 4.nesile kadar kendine her nesil geçişinde yeni özellikler ekleyerek günümüze ulaşmaktadır (Khanh vd., 2022: 2-3). Dijital yakınsama ile kablosuz haberleşmede kullanan cihaz sayısındaki büyüme, önümüzdeki yıllarda mobil trafik akışını bugün kullanılan miktarın çok üzerine çıkaracağı öngörülmektedir (Union, I. (2015:2-10)). Artan veri miktarı, düşük gecikme süreleri, düşük güç tüketimi, güvenlik gibi ihtiyaçları karşılamak 5G teknolojisi en büyük getirileri olmaktadır (Rappaport vd., 2013: 335-336). 5G teknolojisinin çeşitli kullanım senaryolarına göre farklı ihtiyaçları karşılayacak şekilde hizmet sunması planlanmaktadır. Uluslararası Telekomünikasyon Birliği 5G gereksinimlerine göre olası kullanım durumlarını geliştirilmiş mobil geniş bant iletişim (eMBB), ultra güvenilir düşük gecikmeli iletişim (uRLLC), masif makineden makineye iletişim (mMTC) olmak üzere üç farklı şekilde sınıflandırarak haberleşme sistemlerini 5.nesille beraber daha verimli çalışacak bir seviyeye çıkarmaktadır (Popovski vd., 2018: 55765-55766). 5G teknolojisinin hayata geçirilmesi için ilk önce kullanılacak frekans aralığının belirlenmesi gerekmektedir. Artan kullanıcı sayısı ve yüksek veri hızlarına olan talep nedeniyle klasik 6 GHz altı frekans spektrumu çok yoğun olmaktadır. Bu yoğunluktan kaçınabilmek adına 5G teknolojisi 30-300 GHz frekans aralığına ve yaklaşık 1 mm - 10 mm dalga boyuna sahip milimetre dalga (mmWave) bandını tercih etmektedir (Sakaguchi vd.,2017:791). Milimetre dalgalarının daha yüksek bant genişliği ile daha yüksek veri aktarım hızı sağlaması, kısıtlı alanlarda düşük enterferans değerine sahip olması gibi avantajlarının bulunmasının yanı sıra atmosferik koşullar altında yol kaybı zayıflamaları (kırınım, saçılma, yansıma) gibi sinyallerin kalitesini bozan dış etmenler milimetre dalga spektrumunda artmaktadır (Banday vd., 2019:265-266). Bu zorluğun üstesinden gelmek için yüksek kazanç değerine sahip antenler kullanılmaktadır (Hussain vd., 2019:42898).

5G sisteminin gereksinimlerini karşılamak fiziksel donanım olarak antenlerin görevi olmaktadır. 5G uygulamalarında en çok tercih edilen anten çeşidi yama antenlerdir. Mikroşerit yama antenler güçlü performans özellikleri, kompakt yapıları, kolay üretilmeleri, kolay tasarlanabilmeleri gibi konularda kablosuz iletişim teknolojilerinin başlamasından bu yana çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır (Singh ve Tripathi, 2011:1597-1598). Ancak mikroşerit antenlerin iyileştirilmesi gereken birçok parametre (boyut, bant genişliği, verimlilik, kazanç) değeri bulunmaktadır. Literatürde 5G iletişim teknolojilerinde kullanılmak üzere birçok yama anten tasarımı bulunmaktadır. Yama anten tasarımında performans parametrelerini etkilemek için en çok kullanılan yöntem ışıyan yamanın şeklinin değiştirilmesidir. Literatürde milimetre dalga frekansında çalışan değişik yama şekillerine sahip çeşitli tasarımlar bulunmaktadır. Dikdörtgen yama (Mungur ve Duraikannan, 2018:20-21), (Darboe vd., 2019:854-855), dairesel yama (Zaidi vd.,2016:2), elips şeklinde yama (Kumawat ve Joshi, 2021:184-185), altıgen şeklinde yama (Dixit vd., 2021:4), hilal

---

<sup>1</sup> Arş. Gör., Kırklareli Üniversitesi, Lüleburgaz Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Orcid: 0000-0002-6631-7559

<sup>2</sup> Dr. Öğretim Üyesi, Kırklareli Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Orcid: 0000-0001-8309-3393,

şeklinde yama (Cüneray vd., 2020:318-319), ters çevrilmiş c şeklinde yama (Ruchi vd.,2021:1036-1037), literatürde kullanılmaktadır. 2020 yılında bir çalışmada dikdörtgensel, dairesel ve üçgensel şeklindeki yamalar hat besleme kullanarak performans değerlendirmesi yapmaktadır. Dikdörtgensel yamanın dairesel ve üçgensel yamaya göre bant genişliği, kazanç yönlülük ve verimlilik açısından daha iyi performans gösterdiğini elde etmektedirler (Ezzulddin vd.,2020:7202-7201). Bu çalışmada da ışılan yama dikdörtgen şeklinde seçilmektedir.

Yama antenlerin geri dönüş kaybı, bant genişliği ve kazanç gibi performans parametrelerini arttırmak için kullanılan bir diğer yöntem ise toprak düzlemde veya yama düzleminde yuvalar kullanmaktır. Literatürde ışılan yapan yama üzerine H ve E şeklinde yuvalar (Amrutha ve Sudha, 2018:1650-1651), elmas şeklinde yuva kullanımı (Hakanoğlu ve Turkmen, 2017:2), toprak düzleminde (Paul vd., 2021:2-3) yuva kullanımı bulunmaktadır.

Yüksek frekanslarda dielektrik tabaka seçimi, yamanın geometrik boyutlarının belirlenmesi sebebiyle önem kazanmaktadır. Milimetre dalga bantlarında dielektrik katsayı değeri 6.15 olan Taconic Rf-60 (Oyesina vd.,2017:2192-2194), 4.3 dielektrik katsayısı değerine sahip Fr-4 (Bicer, 2020:104-105), dielektrik katsayı değeri 2.94 olan RT/Duroid 6002 (Awan vd.,2019:1-2) malzemeler kullanılmaktadır. Ancak antenlerin istenmeyen ışımanın azaltılabilmesi yama boyutlarının küçültülmesi ancak daha düşük dielektrik sabiti ve daha ince alt tabakalara kullanılması ile mümkün olmaktadır. O yüzden bu çalışma kapsamında 2.2 dielektrik katsayı değerine ve 0.787 mm yüksekliğe sahip Rogers RT/Duroid 5880 tabaka kullanılmaktadır.

Literatürde yama antenlerin kazanç, geri dönüş kaybı, bant genişliği arttırmak için ışılan yamanın üzerine dielektrik rezonatör (DR) eklenmesi (Girjashankar ve Upadhyaya, 2021:2-3), antenden ışılan dalgaları tek bir merkezde toplayarak kazancı arttırmak için üç boyutlu dielektrik lens tabakası eklenmesi (Malik vd.,2019:102470-102471), antenin üzerine veya altına ekstra bir katman olarak metamalzeme eklenmesi (Li ve Chen, 2018:722-723), elektromanyetik bant (EBG) yapılarının kullanılması (Khan vd., 2019:415-416), yüzeye entegre edilmiş dalga kılavuzları (SIW) kullanılması (Hussein vd., 2020:2463-2464) gibi başka yöntemlerde bulunmaktadır. Ancak bu yöntemlerin uygulanması ve prototiplenmesinin zor olmasının dışında anten üzerinde ekstra bir hacim artışı ve maliyet getirmesi daha düşük profilli yapıların geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında 5G uygulamalarında kullanılmak üzere 27.89 GHz merkez frekansında mikroşerit yama anteni sunulmaktadır. Önerilen anten düşük profilli yapısı, kolay üretilebilirliği ile ön plana çıkmaktadır. Matematiksel hesaplamalarla tasarımı yapılan anten -13.9 dB geri dönüş kaybı değeri sunmaktadır. Toprak zeminde açılan spiral şeklinde simetrik iki adet yuva geri dönüş kaybı değerinin ise -77 dB seviyelerine ulaşmasına yardım etmektedir. 1. Bölümde 5G teknolojisinin ve anten tasarımının neden önemli olduğu ve literatür taraması verilmektedir. 2.Bölümde tasarımı yapılan antenin uzunluk ölçüleri ve anten tasarım aşamaları belirtilmektedir. 4. Bölümde ise tasarımı yapılan antenin simülasyon programı ile elde edilen parametrik sonuç değerleri sunularak literatürde benzer çalışmalar ile kıyaslanması sunulmaktadır. Sonuç bölümü ile yapılan çalışma değerlendirilmektedir.

## **Anten Tasarımı**

Mikroşerit yama antenler, ışımayı yapan yamanın, dielektrik alt tabaka üzerine istenilen geometride yerleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Yama ve toprak düzlemi, genellikle düzgün geometrilere sahip olmakla birlikte, düzgün olmayan geometriler de kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında 28 GHz merkez frekansında çalışan dikdörtgen şeklinde yama dielektrik katsayı değeri

2,2 yüksekliği 0.787 mm olan Rogers RT-5880 üzerine inşa edilmektedir. Daha sonra yamanın, dielektrik alt tabakanı ve mikroşerit hattın uzunlukları aşağıda verilen matematiksel denklemler kullanılarak elde edilmektedir (1-6) (Balanis, 2016:863-867).

Dikdörtgen yamanın genişliği  $w$  ;

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

Denklemlerle elde edilmektedir. Burada  $c$  ışık hızı,  $f_r$  rezonans frekansı,  $\epsilon_0$  boşluğun dielektrik sabiti,  $\mu_0$  boşluğun manyetik geçirgenliğidir. Dikdörtgen yamanın gerçek uzunluğu  $L$  ise

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L \quad (2)$$

Denklemlerle bulunmaktadır Burada  $\epsilon_{eff}$  efektif dielektrik sabitidir. Denklem (3)' de  $\epsilon_{eff}$  ve denklem (4)'de  $\Delta L$  verilmektedir.

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2} \quad (3)$$

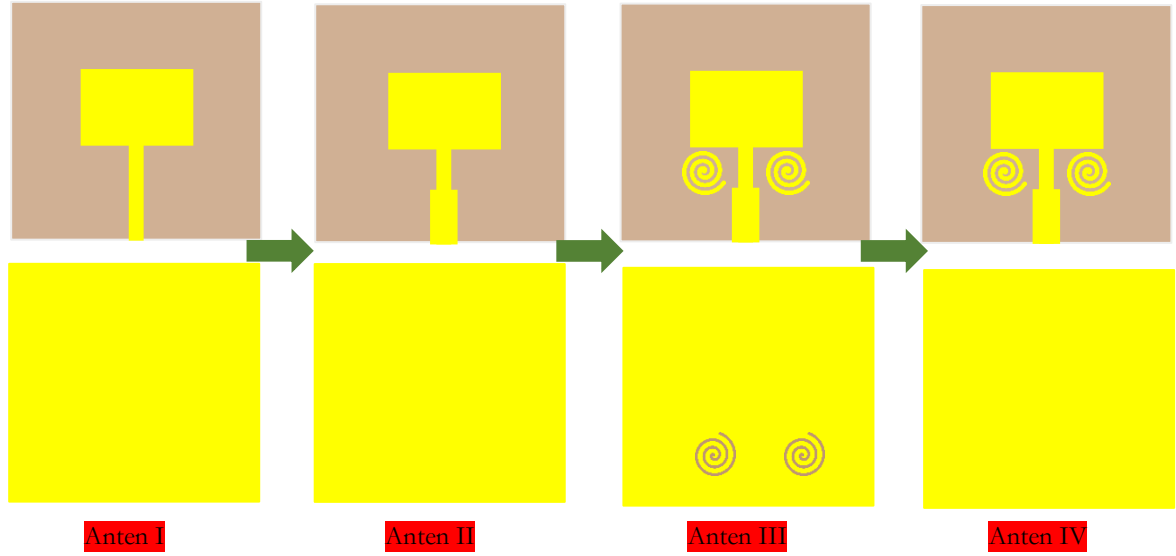
$$\Delta L = 0.412 h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (4)$$

Denklem (5) ve denklem (6)'da dielektrik malzemenin boyutları verilmektedir.

$$W_m = 6h + W \quad (5)$$

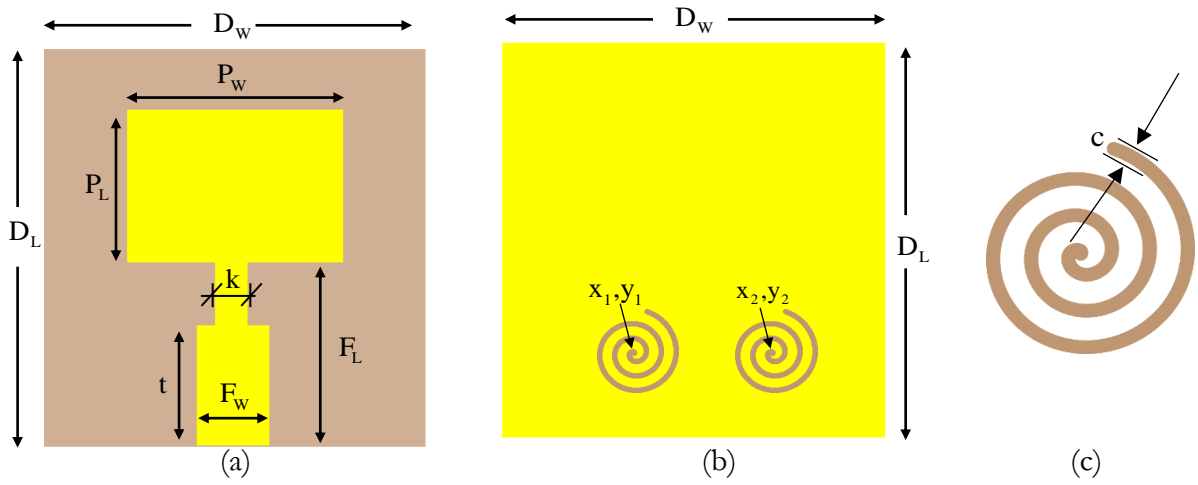
$$L_m = 6h + L \quad (6)$$

Matematiksel formüller ile elde edilen uzunluk parametreleriyle belirlenen dikdörtgen bir yama ve yamayı besleyen bir mikroşerit hat tasarımı yapılarak antenin ilk adımı oluşturulmaktadır. Tasarım adımları şekil 1 ile gösterilmektedir.



Şekil 1 - Antenin tasarım adımları

Şekil 2 a'da önerilen antene ait yama ve dielektrik tabakanın uzunluk değer parametreleri b'de önerilen antenin toprak düzleminde bulunan spiral şeklinde yuvaların ve yuva merkezlerini koordinat düzleminde gösterilmesi, c'de ise oluşturulan spirallerin kalınlık değeri verilmektedir.



Şekil 2 - Anten V - Önerilen anten uzunluk değer parametreleri a) Ön görünüm, b) arka görünüm c) spiral yuva

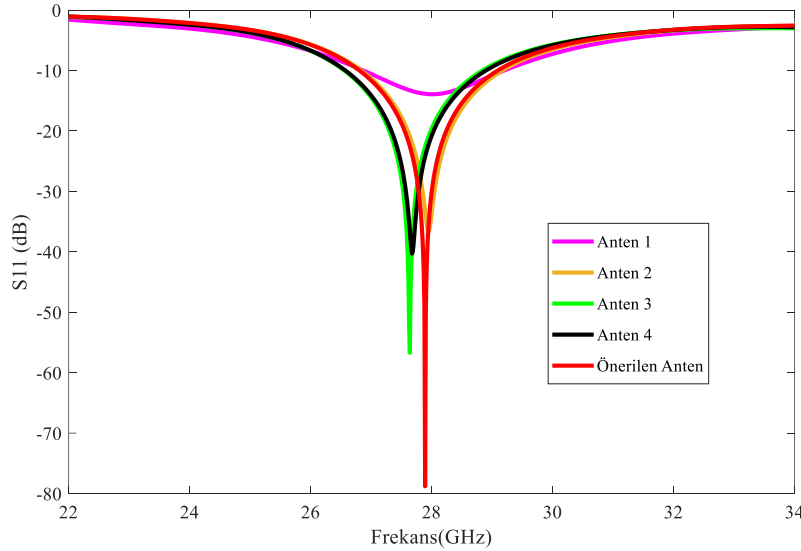
Tablo 1 - Önerilen antenin uzunluk değer parametreleri

Parametre	$D_w$	$D_L$	$P_w$	$P_L$	$F_w$	$F_L$	$k$	$t$	$c$	$X_1, Y_1$	$X_2, Y_2$
Uzunluk(mm)	12	10	4.2	2.94	1	3.94	0.38	2	0.15	(-1.625,-3)	(1.625,-3)

## Sonuçlar ve Tartışma

Yama antenleri modellemek ve simüle etmek amacıyla tasarım geometrisinde değişikliklerin yapılabileceği bir yazılım kullanılması maliyeti düşürmesinin yanında zamandan tasarruf da sağlamaktadır. Bu bölümde simülasyonu CST Microwave studio'da yapılan antenin performans parametre değerleri verilmektedir.

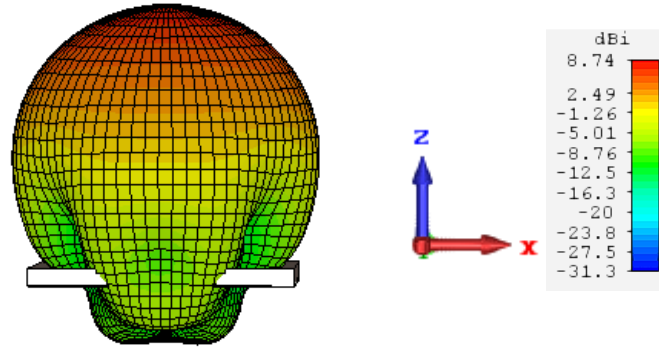
Anten performans kriterlerinin belirlenmesinde yansımaya katsayısı olarak isimlendirilen  $S_{11}$  parametresi önemli bir rol oynamaktadır. Antenin verimli bir şekilde ışıma yaptığıının göstergesi  $S_{11}$  değerinin -10 altında olduğu değerlerdir. Önerilen antenin yansımaya katsayısı grafiği şekil 3'de verilmektedir. 28 GHz merkez frekansında 26.806 GHz ve 29.092 GHz arasında 2.286 GHz bant genişliği ve %8.146 oransal bant genişliği değerine ulaşılmaktadır. Anten 1 -10 dB altında 3.047 GHz bant genişliğine ve -13.926 dB geri dönüş kaybı değerine sahip olmaktadır. Anten 2 2.329 GHz bant genişliği değerine ve -36.83 geri dönüş kaybı değerine ulaşmaktadır. Anten 3 2.282 GHz bant genişliği değerine ve -56.715 dB geri dönüş kaybı değerine ulaşmaktadır. Anten 4 2.323 GHz bant genişliği değerine ve -40.292 dB geri dönüş kaybı değerine sahip olmaktadır. Önerilen anten ise 2.286 GHz bant genişliği değerine ve -78.797 dB geri dönüş kaybı değerine ulaşmaktadır.



**Şekil 3** - Anten tasarım adımlarının geri dönüş kaybı değerleri

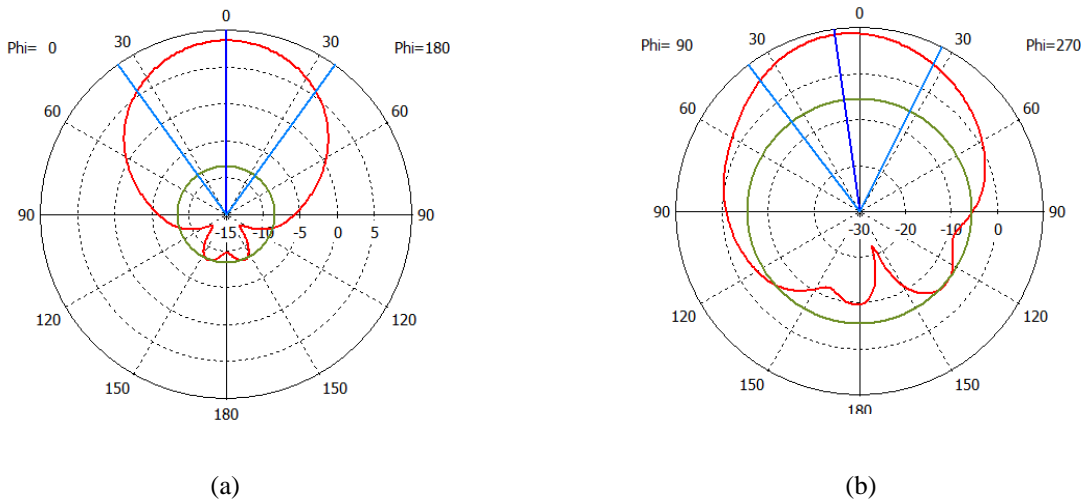
Kazanç grafiği, antenden yayılan elektromanyetik alan şiddetinin belirli uzak alanında oluşturmuş olduğu, açısal değişimini gösteren bir grafikdir. Tasarlanan antenin Simülasyon sonuçları ile elde edilen yönlülük kazanç grafiği 27.89 GHz için Şekil 4'te 3 boyutlu olarak gösterilmektedir.





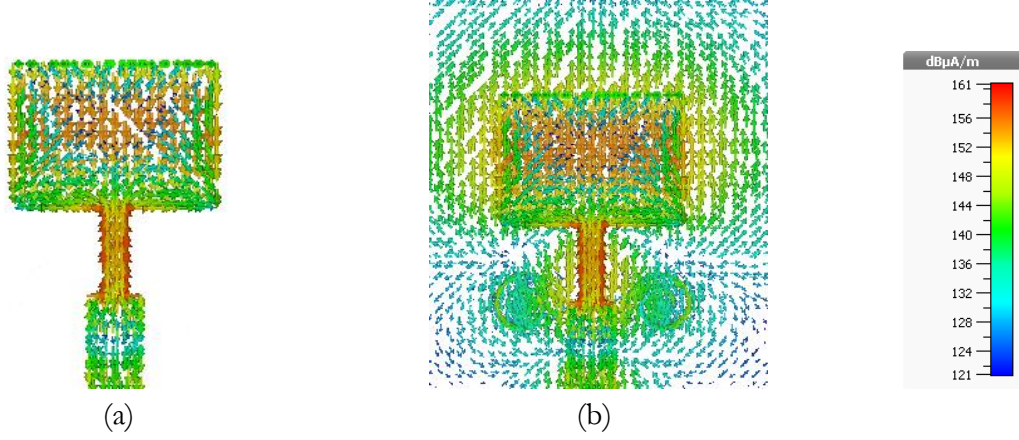
**Şekil 4** - 28 GHz frekansında yama antenin 3-boyutlu yönlülük kazanç grafiği

Anten ışınma deseni bir antenin ışınma karakteristiğini, antenin yönünü ve hangi yönde ışınma yaptığını göstermektedir. Önerilen antene ait ışınma deseni Şekil 5'te gösterilmektedir. Şekil 5 a'da  $\phi=0$  durumunda E-düzlemi, b'de ise  $\phi=90$  durumunda H-düzlemini 27.89 GHz frekansında verilmektedir.  $\phi=0$  durumunda yarı güç hüzm genişliği (HPBW)  $71.3^\circ$  iken  $\phi=90$  durumunda ise  $63.7^\circ$  olmaktadır.



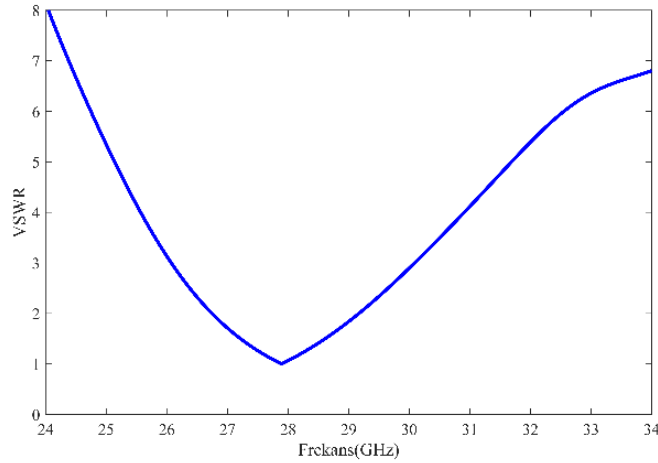
**Şekil 5** - Önerilen antene ait 2-boyutlu ışınma deseni grafiği

Tasarımı yapılan antenin maksimum yüzey akım genliği 27.89 GHz rezonans frekansında  $161 \mu\text{A}/\text{m}$ , olarak elde edilmektedir. 27.89 GHz'de yüzey akımlarının, şekil 4 a'da gösterildiği gibi yamanın kenarlarında ve besleme hattı ile yamanın birleştiği yerde yoğunlaştığı gözlemlenmektedir.



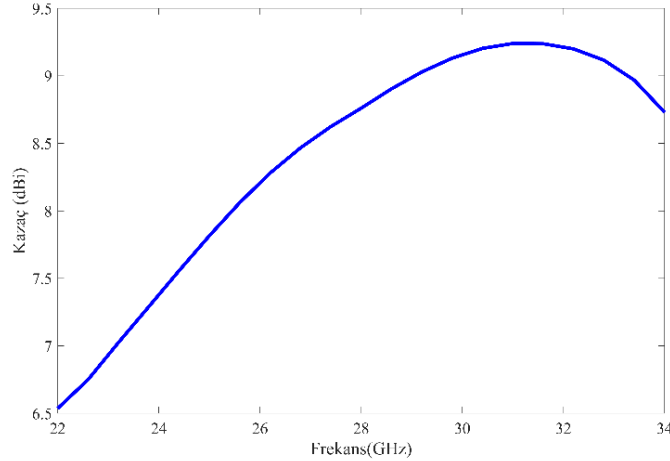
Şekil 6 - Önerilen antene ait a) sadece yama yüzey akım dağılımı, b) hem yama hem toprak yüzey akım dağılımı

Şekil 7’de önerilen antene ait frekans-duran dalga oranı (VSWR) verilmektedir. VSWR, bir anten sisteminde iletilen ve yansıyan voltajların birbirine oranlanması şeklinde ifade edilmektedir. Verimli bir anten sisteminde VSWR değerinin 1’e yakın olması beklenmektedir. Önerilen anten tam merkez frekansında geri dönüş kaybının maksimum olduğu yerde 1.0002 VSWR değerine ulaşmaktadır. Antenin -10 dB altında kalan ışıma yapılan aralıklarında minimum 1.0002 ile 1.886 değeri arasındadır.



Şekil 7 - Önerilen antene ait VSWR grafiği.

Şekil 8’de önerilen antene ait frekans yönlülük grafiğine yer verilmektedir. 27.89 GHz merkez frekansında 8.74 dBi yönlülük kazanç değerine sahip olan anten  $S_{11} < -10\text{dB}$ , 26.806 GHz ile 29.092 GHz aralığında kalan alanda ise yönlülük kazanç değeri 8.46 dBi ile 9 dBi arasında şekil 8’de görüldüğü gibi değişmektedir.



**Şekil 8 -** Önerilen antene ait kazanç grafiği.

5G iletişim teknolojileri üzerine yapılan çalışmalar arasında, önerilen antenin diğer milimetre dalga antenleri ile karşılaştırılması tablo 2 ile verilmektedir. Tablo incelendiğinde, önerilen referans antenin boyut, bant genişliği, kazanç ve geri dönüş kaybı gibi konularda literatürde bulunan çalışmalardan daha iyi değerler sunmaktadır.

**Tablo 2 -** Referans antenin literatürle karşılaştırılması

Referans	Rezonans Frekansı	Anten Boyutları(mm)	Bant genişliği	Kazanç(dB) & Yönlülük kazancı(dBi)	Geri dönüş kaybı
(Mungur ve Duraikannan, 2018)	28 GHz	14.71×7.9×0.254	582 MHz	6.69 dB	-12.59 dB
(Darboe vd., 2019)	28 GHz	6.285×7.235 ×0.52	847 MHz	6.63 dB	-13.48 dB
(Cüneray vd., 2020)	27.92 GHz	35×35×1.524	6 GHz	7.98 dBi	-35.03 dB
(Ruchi vd.,2021)	28 GHz	10.5×7.5×0.8	1.23 GHz	7.4 dB	-17.05 dB
(Paul vd., 2021)	27.47 GHz	20×20×0.79	4.846 GHz	7.98 dBi	-35.03 dB
<b>Bu çalışma</b>	27.89 GHz	12×10×0.787	2.286 GHz	7.97 dB & 8.74 dBi	-78.797 dB

## Sonuç

Bu çalışma kapsamında 5G uygulamalarının milimetre dalga frekans bandında kullanılmak üzere dikdörtgensel bir yamadan ve toprak düzleminde spiral şeklinde açılan yuvalardan oluşan düşük profilli, yüksek kazançlı ve yüksek geri dönüş kaybı değerine sahip bir anten tasarımı sunulmaktadır. Anten 27.89 GHz rezonans frekansında ve 26.806 GHz ve 29.092 GHz frekansları arasında kalacak şekilde 2.286 GHz bant genişliğine sahip olmaktadır. Elde edilen kazanç değeri 7.97 dB, yönlülük değeri 8.74 dBi, toprak düzleminde açılan yarıklarla birlikte geri dönüş kaybı değeri ise -78.797 dB değerine ulaşmaktadır. Literatürde tasarımı yapılan diğer antenlerle kıyaslandığında boyut, bant genişliği ve yönlülük açısından üstün ve 5G teknolojilerinde kullanılmak üzere iyi bir aday olduğu gösterilmektedir.

## Kaynakça

- Amrutha, G. M., & Sudha, T. (2018). Triple Band Antenna for 5G Applications. 2018 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI).
- Awan, W. A., Zaidi, A., & Baghdad, A. (2019). Patch antenna with improved performance using DGS for 28GHz applications. 2019 International Conference on Wireless Technologies, Embedded and Intelligent Systems (WITS).
- Balanis, C. A. (2016). *Antenna theory: Analysis and design* (4th ed.). Wiley-Blackwell
- Banday, Y., Mohammad Rather, G., & Begh, G. R. (2019). Effect of atmospheric absorption on millimetre wave frequencies for 5G cellular networks. *IET Communications*, 13(3), 265–270. <https://doi.org/10.1049/iet-com.2018.5044>
- Bicer, M. B. (2020). A novel coplanar waveguide-fed compact microstrip antenna for future 5G applications. *Tehnički Glasnik*, 14(2), 104–110
- Cuneray, K., Akcam, N., & Okan, T. (2020). Performance enhancement of crescent patch antenna with rectangular slots and inset fed for 5G applications. 2020 2nd Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM).
- Darboe, O., Konditi, D. B. O., & Manene, F. (2019). A 28 GHz rectangular microstrip patch antenna for 5G applications. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 12(6), 854–857.
- Dixit, A., Kumar, A., & Kumar, A. (2021). A wideband SIW hexagonal patch antenna for 5G millimeter-wave applications. 2021 IEEE Indian Conference on Antennas and Propagation (InCAP).
- Ezzulddin, S., Hasan, S., & Mustafa, M. (2020). Design and Simulation of Microstrip Patch Antenna for 5G Application using CST Studio.
- Girjashankar, P. R., & Upadhyaya, T. (2021). Substrate integrated waveguide fed dual band quad-elements rectangular dielectric resonator MIMO antenna for millimeter wave 5G wireless communication systems. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 137.
- Hakanoglu, B. G., & Turkmen, M. (2017). An inset fed square microstrip patch antenna to improve the return loss characteristics for 5G applications. 2017 XXXIInd General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GASS).
- Hussain, N., Jeong, M.-J., Park, J., & Kim, N. (2019). A broadband circularly polarized Fabry-Perot resonant antenna using A single-layered PRS for 5G MIMO applications. *IEEE Access: Practical Innovations, Open Solutions*, 7, 42897–42907. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2908441>
- Hussein, Y. M., A. Rahim, M. K., Murad, N. A., Jawad, M. M., Hanoosh, H. O., Majid, H. A., & Keriee, H. H. A. (2020). Substrate integrate waveguide and microstrip antennas at 28 GHz. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 9(6), 2462–2468. <https://doi.org/10.11591/eei.v9i6.2190>

- Khan, J., Ali Sehrai, D., Ahmad Khan, M., Ahmad Khan, H., Ahmad, S., Ali, A., Arif, A., Ahmad Memon, A., & Kha, S. (2019). Design and performance comparison of rotated Y-shaped antenna using different metamaterial surfaces for 5G mobile devices. *Computers, Materials & Continua*, 60(2), 409–420. <https://doi.org/10.32604/cmc.2019.06883>
- Khanh, Q. V., Hoai, N. V., Manh, L. D., Le, A. N., & Jeon, G. (2022). Wireless communication technologies for IoT in 5G: Vision, applications, and challenges. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2022/3229294>
- Kumawat, P., & Joshi, S. (2021). A novel dual-band orthogonal polarized elliptical patch antenna array for 5G applications. *Journal of Scientific Research*, 65(03), 184–190. <https://doi.org/10.37398/jsr.2021.650322>
- Li, T., & Chen, Z. N. (2018). Design of dual-band metasurface antenna array using characteristic mode analysis (CMA) for 5G millimeter-wave applications. 2018 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC).
- Malik, B. T., Doychinov, V., Zaidi, S. A. R., Robertson, I. D., & Somjit, N. (2019). Antenna gain enhancement by using low-infill 3D-printed dielectric lens antennas. *IEEE Access: Practical Innovations, Open Solutions*, 7, 102467–102476. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2931772>
- Mungur, D., & Duraikannan, S. (2018). Microstrip patch antenna at 28 GHz for 5G applications. *Journal of Science Technology Engineering and Management-Advanced Research & Innovation*, 1(1), 20–22.
- Oyesina, K. A., Anosike, I. E., & John, B. (2017). Design and optimization of a square patch antenna for millimeter wave applications. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 6(4), 2192–2194.
- Paul, L. C., Das, S. C., Sarker, N., Azim, R., Ishraque, M. F., & Shezan, S. A. (2021). A wideband microstrip patch antenna with slotted ground plane for 5G application. 2021 International Conference on Science & Contemporary Technologies (ICSCCT).
- Popovski, P., Trillingsgaard, K. F., Simeone, O., & Durisi, G. (2018). 5G wireless network slicing for eMBB, URLLC, and mMTC: A communication-theoretic view. In arXiv [cs.NI]. <http://arxiv.org/abs/1804.05057>
- Rappaport, T. S., Sun, S., Mayzus, R., Zhao, H., Azar, Y., Wang, K., Wong, G. N., Schulz, J. K., Samimi, M., & Gutierrez, F. (2013). Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work! *IEEE Access: Practical Innovations, Open Solutions*, 1, 335–349. <https://doi.org/10.1109/access.2013.2260813>
- Ruchi, R., Upadhyaya, P., & Dutt, S. (2021). 5G antenna at millimeter wave frequency. 2021 3rd International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICAC3N).
- Sakaguchi, K., Hausteint, T., Barbarossa, S., Strinati, E. C., Clemente, A., Destino, G., Pärssinen, A., Kim, I., Chung, H., Kim, J., Keusgen, W., Weiler, R. J., Takinami, K., Ceci, E., Sadri, A., Xian, L., Maltsev, A., Tran, G. K., Ogawa, H., ... Heath, R. W., Jr. (2017). Where, When, and How mmWave is Used in 5G and Beyond. *IEICE Transactions on Electronics*, E100.C(10), 790–808. <https://doi.org/10.1587/transele.e100.c.790>

- Singh, I., & Tripathi, V. S. (2011). Micro strip patch antenna and its applications: a survey. *Int. J. Comp. Tech. Appl*, 2(5), 1595–1599.
- Union, I. (2015). IMT traffic estimates for the years 2020 to 2030. Report ITU, 2370.
- Zaidi, A., Baghdad, A., Ballouk, A., & Badri, A. (2016). Design and optimization of an inset fed circular microstrip patch antenna using DGS structure for applications in the millimeter wave band. 2016 International Conference on Wireless Networks and Mobile Communications (WINCOM).

## Krom Stresine Maruz Kalan Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) Çeşitlerinde Bazı Yağ Asitleri Dönüştürücü Genlerin Ekspresyon Analizleri

Ekrem BÖLÜKBAŞI<sup>1</sup>

### Giriş

### Aspir Bitkisi ve Önemi

Aspir bitkisi; safran, Amerikan safranı, yalancı safran ve boyacı safran gibi farklı isimlere sahip olan; tek yıllık, geniş yapraklı, sarı, kırmızı, turuncu ve beyaz renkli çiçekleri olan, dikenli ve dikensiz türleri bulunan, çeşitli çevre koşullarına dayanıklı bir bitkidir (Babaoğlu, 2007:3-9). Güney Asya orijinli olduğu, milattan önce ekildiği ve Mısır'dan yayıldığı bilinmektedir. Günümüzde dünyada yayılış gösteren 25 yabancı türünün olduğu bilinmektedir (Babaoğlu, 2007:3-9). Bu yabancı türlerin birkaçı (örneğin, *Carthamus lanatus* ve *C. dentatus*) Türkiye'nin değişik bölgelerinde doğal ortamlarda rahatlıkla görülebilmektedir. Yetiştirilme şartları açısından ülkemizin coğrafi yapısına çok uygun olan aspir bitkisinin az yağış alan ülkemizde neredeyse hiç sulama yapmadan bile üretimi mümkündür. Aynı zamanda ülkemizdeki yağlık bitkiler arasında üretimine en çok destek verilen bitkidir (Babaoğlu, 2007:3-9; Asgarpanah ve Kazemivash, 2013:153-159) (Resim-1).



Resim 1- Aspir bitkisinin genel görünüşü

Aspir, önemi henüz tam olarak anlaşılammış, dünya tarımına ve ekonomiye katkısı sağlanammış önemli bir yağlı tohum bitkisidir (Gilbert vd., 2008). İlk zamanlar tıbbi amaçlarla ve çiçeğindeki boya maddesinin gıda ve kumaş boyacılığında kullanılması amacıyla yetiştirilmiştir (Weiss, 1971:529). Günümüzde ise tohumundaki yağdan faydalanılmaktadır. Bitkisel yağlarının besinsel değerleri, yüksek oranda yağ asitlerinin kompozisyonuna ve iki temel yağ asidinin (oleik ve linoleik) birbirlerine olan oranına bağlıdır (Cao vd., 2013:5-17). Oleik tip yağlar, dünyada genellikle püskürtme yağı olarak bisküvilerde, ekmekçilik ürünleri ve meyvelerin kurutulmasında, yaşlı ve çocuklara özgü gıda katkı maddelerin eldesinde, margarin ve mayonez gibi gıda maddelerinin üretilmesinde karışım yağı olarak kullanılmaktadır. Yüksek oksidatif kararlılığı sebebiyle de kozmetik ve boya gibi pek çok endüstri dâhil olmak üzere biyodizel üretiminde de kullanılmaktadır. Linoleik tip yağlar ise genelde salatalarda, yemeklerde ve margarinde kullanılmaktadır (Kaya vd., 2007:28-31; Bölükbaşı, 2018).

---

<sup>1</sup> Adı Soyadı, Unvan, Üniversite, Bölüm: Dr. Öğr. Üyesi, Amasya Üniversitesi, Suluova Meslek Yüksekokulu, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü.

İçerdiği yağ miktarı oransal olarak %30 ile %45 arasında değişen aspir bitkisi, önemli bir yağ bitkisi olarak ilk sıralarda yer almaktadır. Aspir yağı bünyesinde insan sağlığı açısından önemli yağ asitlerini barındırmaktadır. Bunlardan, Linoleik (Omega-6) yağ asiti; kimya ve pek çok endüstriyel alanda ve hayvan yem sanayisinde önemli hammadde kaynağıdır. Oleik yağ asit ise (Omega-9, zeytin yağı kalitesinde) yemeklik yağ olarak kullanılan ve sağlık açısından oldukça kaliteli bir yağ çeşididir (Johnson ve Jimmerson, 2003; Mündel, 2008).

İlaç sanayi, gıda ve kumaş boyacılığında kullanılmasının yanı sıra vernik, margarin, yem sanayisinde ve tıbbi bitki olarak kullanılan aspir; daha sonraları ise, tohumundaki yağ içeriğinin fazlalığı ve kaliteli olması sebebiyle tarım bitkisi olarak yetiştirilmeye başlanmıştır (Babaoğlu, 2007:3-9). Son yıllarda Oleik asit (Omega-9) oranı yüksek tipler üzerindeki çalışmalar hızlanmıştır. Ayrıca aspir yağı, içerdiği yüksek orandaki linoleik asit (Omega-6) nedeniyle biodizel yapımında da kullanılmaktadır (Herández vd., 2009:6199-6206).

## **1.2 Ağır Metaller ve Canlılar Üzerine Etkileri**

Biyosferin birer parçaları olan toprak, su ve hava gibi ekosistemlerinde yoğun bir şekilde biriken ağır metaller günümüz dünyasında önemli bir çevre sorunu haline almıştır. Giderek atran teknoloji, sanayi vb. faaliyetler sonucu çevreye salınan yada bırakılan ağır metaller bitkilerden insanlara kadar tüm canlı gruplarında kritik olumsuz etkilere yol açmaktadır. Bunun sonucu olarak ta ağır metal kirliliği küresel bir sorun haline almıştır (Yarsan vd., 2000:93-96; Büyük vd., 2012: 19-24).

Ağır metallerin toprak ve su ekosisteminde yoğun şekilde birikimi besin zinciri yoluyla tüm canlılara ulaşmaktadır (Koç vd., 2012). Ağır metal kirliliği, özellikle de tarımsal üretimde verim ve ürün kalitesinin düşmesine de sebep olmaktadır. Bu durum da insanlığı dolaylı olarak olumsuz şekilde etkilemektedir (Yıldız, 2001; Bölükbaşı, 2018; Bölükbaşı, 2021:339-345).

### **1.2.1 Krom (VI) (Cr<sup>+6</sup>) Ağır Metalinin Etkileri**

Krom (Cr) elementi yeryüzünde en bol bulunan yedinci elementtir ve özellikle de yer kabuğundaki yoğunluğuyla toksik etki yaratan ağır metaller içerisinde yer alır. Krom ağır metali doğal olarak trivalent formda [kromik; olarak adlandırılır, Cr (III) veya Cr<sup>+3</sup>] veya heksavalent formda [kromat olarak adlandırılır; Cr (VI) veya Cr<sup>+6</sup>] bulunmaktadır. Her iki formu da bitkiler açısından toksik etkiye sahiptir. Krom (VI) olarak adlandırılan formu oksiyanyon formda bulunur ve kromat (CrO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) veya dikromat (Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>-2</sup>) bileşikleri halinde bulunur. Bu form en toksik formudur. Bu formun mobilitesi de oldukça yüksektir. Krom (III) formu ise daha az mobiliteye ve toksisiteye sahip olan formudur. Doğada oksitler, sülfatlar ve hidroksit bileşikleri halinde bulunur. Toprak ve sucul ekosistemlerde organik bileşiklere bağlı olarak bulunur. Her iki formda da toksik etkiye sahip olmasına karşın krom, konsantrasyonuna bağlı olarak besleyici özelliği de olan bir metaldir (Zayed ve Terry, 2003:139-156).

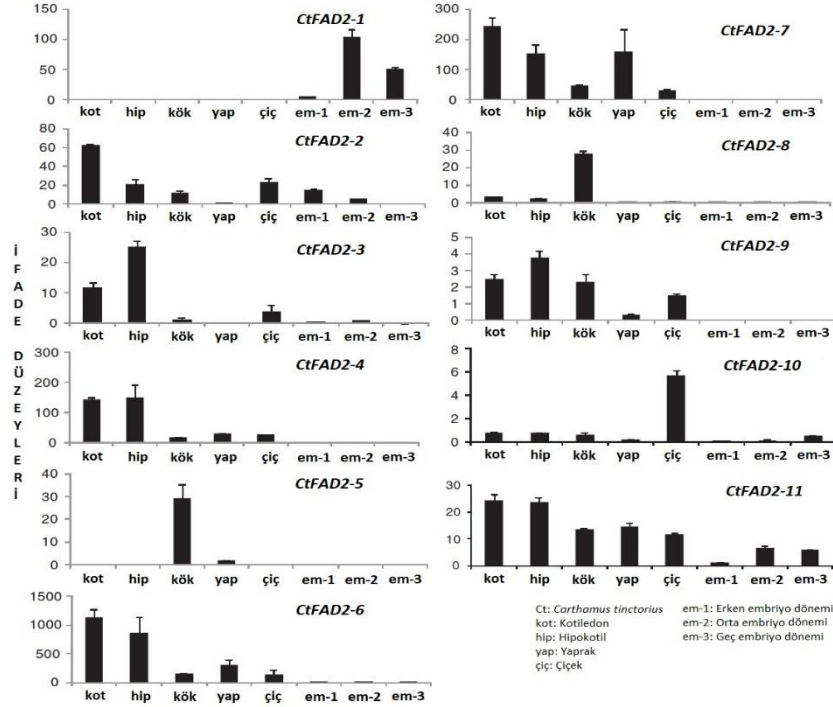
Sesil hayat formuna sahip olan bitkilerde krom ağır metali, çimlenme sürecinden büyüme ve gelişmeye kadar olan evrelerde toksik etkiye sahiptir. Kök, gövde ve yaprak gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle de bitki beslenmesinde bozulma, antioksidan enzim sisteminin bozulması ve serbest radikallerin oluşumu gibi pek çok önemli biyokimyasal ve fizyolojik süreçte negative etki oluşturmaktadır (Pandey, 2008:28-40). Cr<sup>+6</sup>'nın toksik etkisi, reaktif oksijen türlerinin oluşumuna yol açarak kalıtsal materyalde oksidatif stres yoluyla DNA hasarlarına ve buna bağlı olarak ta ekspresyon düzeylerinde önemli değişimlere neden olarak toksisitesini göstermektedir (Bekiaroglou ve Karataglis, 2002:201-205; Bölükbaşı, 2018; Bölükbaşı, 2021:339-345).



Sonuç olarak krom ağır metalinin olumsuz etkileri canlılarda genotoksisteye yol açmakta, genetik materyale hasar vererek ya da ekspresyon farklılıklarına yol açarak pek çok değişime sebep olmaktadır.

### 1.3 Aspir Bitkisi ve *FAD2* Geni

*FAD* genleri desaturaz enzimlerini kodlayan genlerdir. Desaturaz enzimlerinin yağlık bitkilerin çoğunda oleik asidin linoleik aside çevriminden sorumlu olduğu bilinmektedir. Yüksek oleik içeriğe sahip çeşitlerde özellikle çiçeklenmeden hemen sonra bu enzim bloke edilerek çok az linoleik asit üretilebilmektedir. İlk *FAD2* geninin *Arabidopsis thaliana*'da klonlanmasından sonra, soya fasulyesi, pamuk, kolza, yer fıstığı ve keten gibi bitkilerde, benzeri olan DNA dizileri karakterize edilmiştir. Örneğin, soya fasulyesinde *FAD2* kodlayan üç farklı gen ailesi üyesi bulunurken bu sayı pamuk bitkisinde dördüttür (Cao vd., 2013:5-17). Ancak gerçekleştirilen literatür taramasında aspir bitkisinde bu konuda gerçekleştirilmiş olan çalışmaların oldukça az sayıda olduğu gözlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2- Aspir bitkisinde tanımlanmış *FAD2* genlerinin dokulara göre ekspresyon düzeyleri

Yapılan bu çalışmada, Krom (VI) ağır metalinin farklı konsantrasyonlarında hazırlanan deney gruplarında, bu elementin stresine maruz bırakılan Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) çeşitlerinde *FAD2* geninin mRNA ifade seviyelerinde olabilecek muhtemel olumsuz/genetoksik etkileri kantitatif Real-Time PCR (qRT-PCR) yöntemiyle araştırılması ve belirlenmesi yapılmıştır. Böylelikle Aspir tarımının yapıldığı toprak özellikleri/içeriği ve gereksinimlerinin yanı sıra, önemi özellikle de endüstriyel açıdan çok önemli olan Aspir bitkisinde; oleik asidin linoleik aside çevrimini sağlayan enzimleri kodlayan *FAD2* genlerinin ifadesi üzerine krom ağır metalinin etkileri moleküler biyolojik açıdan da belirlenmiştir.

## **2. MATERYAL ve YÖNTEM**

### **2.1. Materyal Temini, Aspir Fidelerinin Yetiştirilmesi ve Stres Uygulaması Yapılan Krom Ağır Metal Uygulaması**

Çalışmamızda kullanılan dört farklı aspir çeşidinden üçü ulusal tescilli çeşitler (BALCI, ASOL ve LINAS), biri Amerikan (BDYAS-04) menşei olup, "Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü ve Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Seçilen bu çeşitlerin tamamı dikenli bir yapıya sahip olup, yağ oranları % 35-45 arasında değişmektedir. Tüm aspir çeşitlerinin tohumları %5 (h/h) hipoklorit içeren solüsyonda 5 dakika yüzey sterilizasyonundan sonra çimlendirilmiş ve 0.2L modifiye 1/10 Hoagland solüsyonu içeren saksılarda hidroponik olarak büyütülmüştür.

Hoagland besiyerinin hazırlanmasında makro ve mikro besinler kullanılmıştır. Son iyon konsantrasyonu 2 mM Ca,  $10^{-6}$  olan makro besinler ( $K_2SO_4$ ,  $KH_2PO_4$ ,  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , Ca  $(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$  ve KCl) ve mikro besinler ( $H_3BO_3$ ,  $MnSO_4$ ,  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ,  $NH_4Mo$ ,  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ) 2 mM Ca,  $10^{-6}$  M Mn, 4 mM  $NO_3$ ,  $2 \cdot 10^{-7}$  M Cu, 1 mM Mg,  $10^{-8}$  M  $NH_4$ , 2 mM K,  $10^{-6}$  M Zn, 0.2 mM P,  $10^{-4}$  M Fe ve  $10^{-6}$  M B. Aspir fideleri 25 °C'de, %70 bağıl nemde 250 mmol  $m^{-2} s^{-1}$  fotosentetik etki, 16 saat gündüz ve 8 saat gece şartları oluşturularak kontrollü şekilde iklimlendirme kabini içinde yetiştirilmiştir.

Aspir çeşitlerine uygulanan krom ağır metal solüsyonu belirtilen oranlarda 1X'lik Hoagland solüsyonunda çözülerek hazırlanmış ve ardından 21 gün sürede yetiştirilecek olan besi ortamına konularak yetiştirme ortamının sabit kalması sağlanmıştır. Krom çözeltisi ise 4000 mg/L olacak şekilde hazırlandıktan sonra 40 mg/L-640 mg/L arasında seyreltilerek hazırlanmıştır. Kontrol grubu için ise sadece Hoagland kullanılmıştır. Yetiştirilen fideler 21. günün sonunda 24 saat süre ile krom stresine maruz bırakılmıştır. 24. Satın sonunda farklı dokulardan alınan örnekler doldurularak RNA izolasyon basamağına kadar saklanmıştır.

### **2.2. RNA ekstraksiyonu ve cDNA (Komplementer DNA) Sentezi**

Krom ağır metal stresine maruz bırakılan farklı aspir çeşitlerinden 24 saat süre sonunda alınan kök, kotiledon ve yaprak örneklerinden Trizol (TRIGent) protokolü kullanılarak (Chomczynski ve Mackey 1995) RNA ekstraksiyonu yapılmış ve sonrasında RNA miktarları ve saflığı belirlenmiştir. Daha sonra, ProtoScript-II First Strand cDNA Synthesis Kit (BioLabs Inc.) aracılığıyla cDNA sentezi yapılmıştır.

### **2.3 *FAD2* genlerinin qRT-PCR analizleri**

Housekeeping geni olarak Actin (*ACT*) primerleri ve bu çalışmada kullanılan *FAD2* genleri, gen bankasındaki (NCBI; National Center for Biotechnology Information) aspir (*Carthamus tinctorius* L.) bitkisinin dizileri kullanılarak tasarlanmıştır. Bu genler hakkında bilgiler ve tasarlanan en uygun primer dizileri Tablo 2.1'de verilmiştir.

**Tablo 2.1-** FAD2 genleri ve qRT-PCR'de kullanılan primerlerin dizileri ve erime sıcaklıkları

Gen/ Primer isimleri	Uzunluk	Gen Bank No	Sekans (5'-3')	Tm (°C)
<i>FAD2-6</i>	1148 bp	KC257452.1	F: ACCAATGCAGTCAAGCCCAT	60 °C
			R: TCTGCACCTTCATCTGGCTC	60 °C
<i>FAD2-7</i>	1210 bp	KC257453.1	F: CGCAAACCATTTCCTACCGC	60 °C
			R: CGTCGATTTTCAGGCCCTTGGA	60 °C
<i>FAD2-11</i>	1213 bp	KC257457.1	F: ACGCCITATTTTCGCCTGGAA	60 °C
			R: TCGCGATCTTGGACTTACGT	60 °C
<i>ACTIN</i>	1678 bp	KJ634809.1	F: GGCGTGACCTTACAGATTC	60 °C
			R: CAAGCTCTTGCTCGTAGTC	60 °C

Krom ağır metalinin farklı konsantrasyonlarındaki streslerine 24 saat süre ile maruz kalan farklı çeşitlere ait aspir fidelerinden kök, kotiledon ve yaprak dokularından alınan RNA örneklerinde cDNA sentezini takiben *FAD2* ve *ACT* genlerinin ifade düzeyleri Real-Time PCR reaksiyonu sonucu belirlenmiştir (Light Cycler Nano (Roche)-SYBR Green I MasterDye).

Real-Time PCR reaksiyonları, aşağıdaki gibi elde edilen optimal koşullar kullanılarak üç kopya halinde (biyolojik ve teknolojik tekrarlar) gerçekleştirilmiştir (Ön denatürasyon 95 °C'de 10 dakika, (40 döngü) 95 °C 15 saniye, 60 °C 20 saniye, 72 °C 20 saniye). Real-Time PCR reaksiyonu sırasında elde edilen ekspresyon verilerinin Ct (Cycle Threshold) değerleri, *ACT* (aktin) housekeeping geni kullanılarak Livak ve Schmittgen'in  $2^{-\Delta\Delta Ct}$  yöntemine göre normalize edilmiştir (Livak ve Schmittgen 2001:402-408).

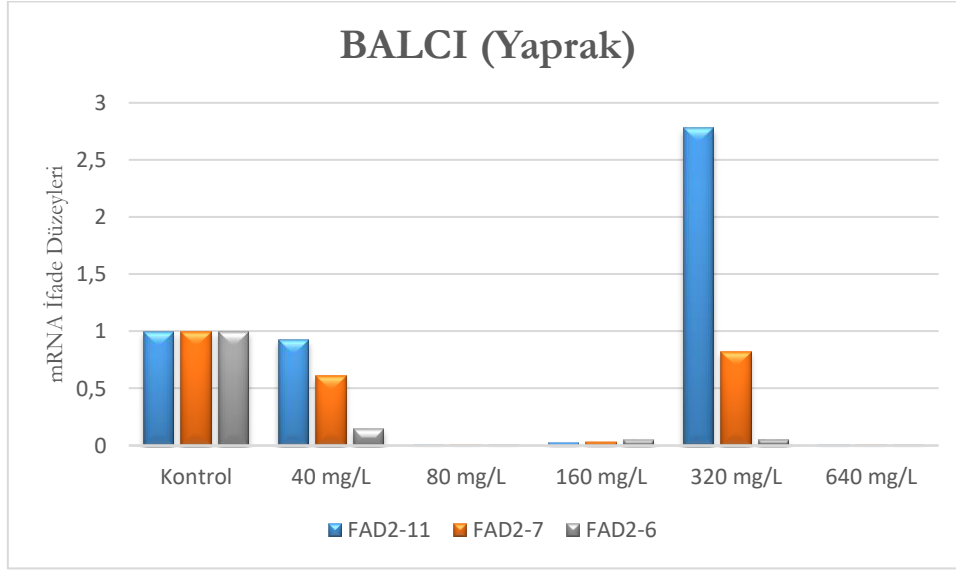
### 3. BULGULAR

Farklı konsantrasyonlarda krom (Cr) stresi uygulanan BALCI, BDYAS-04, LİNAS ve ASOL, çeşitlerinde farklı dokularına ait *FAD2-6*, *FAD2-7*, *FAD2-11* genlerine ait ekspresyon verileri aktin (*ACT*) ve stres koşulları dikkate alınarak  $2^{-\Delta\Delta Ct}$  metoduna göre normalize edilmiştir.

Normalizasyon sırasında elde edilen verilerin ortalaması alınarak *FAD2-6*, *FAD2-7*, *FAD2-11* genlerinin krom ağır metalinin farklı konsantrasyonlarına bağlı ekspresyon düzeyindeki değişimler farklı dokulara göre ayrı ayrı verilmiştir.

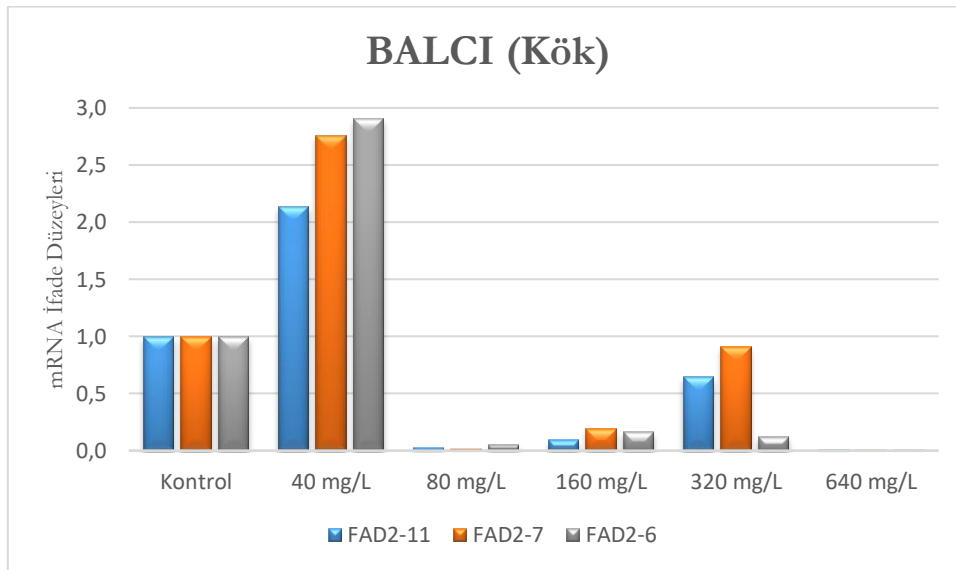
#### 3.1 Krom (Cr) stresine maruz kalan BALCI çeşidi gen ekspresyon sonuçlarının analizi

Krom ağır metal stresi uygulanan Balcı çeşidine ait yaprak, kök ve kotiledon örneklerinden konsantrasyona bağlı elde edilen *FAD2* genlerindeki ifade seviye değişimleri sonuçları şekil 3.1-3-3'de ayrıntılı olarak verilmiştir.



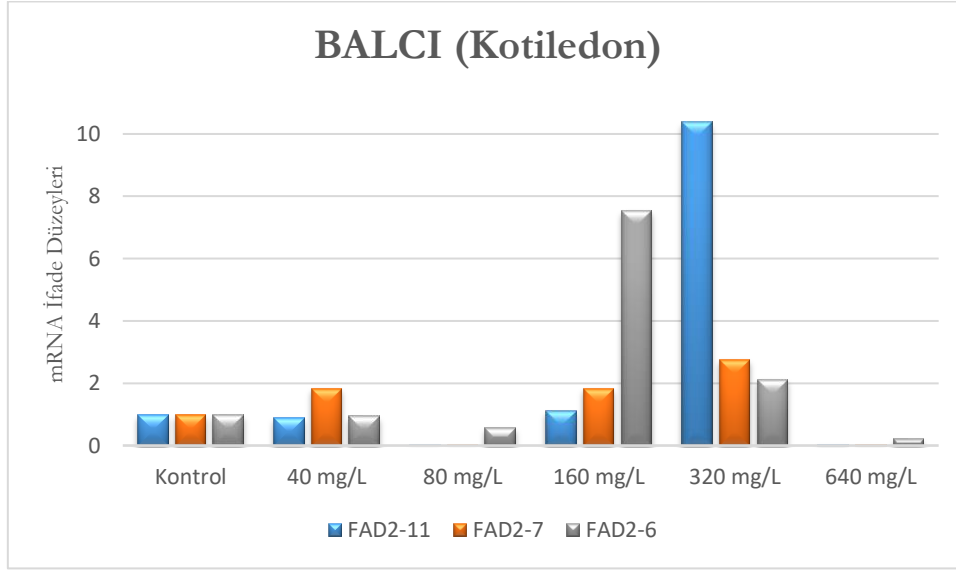
Şekil 3.1- Krom ağır metal stresi sonucu BALCI çeşidi yaprak örneklerine ait *FAD2* genlerinde meydana gelen ekspresyon düzeyleri

Farklı konsantrasyonlarda krom ağır metal stresine maruz kalan Balcı çeşidine ait yaprak örneklerine ait *FAD2* genlerine ait ekspresyon verileri; kontrol grubuyla kıyaslandığında 40-160 mg/L arasında düşüş gözlemlenirken, 320 mg/L krom ağır metal konsantrasyonunda ani bir artış söz konusudur. Bu durum Balcı çeşidine ait yaprak örneklerinde artan krom toksisitesine karşın azalan dasaturaz etkinliğini ve 320 mg/L'de ise savunma mekanizmasının devreye girerek ifade seviyesinin artığının göstergesi olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.2- Krom ağır metal stresi sonucu BALCI çeşidi kök örneklerine ait *FAD2* genlerinde meydana gelen ekspresyon düzeyleri

Farklı seviyelerde krom ağır metal stresine maruz kalan Balcı çeşidine ait kök örneklerine ait *FAD2* genlerine ait ekspresyon verileri incelendiğinde; kontrol grubuyla kıyaslandığında 40 mg/L konsantrasyonda ani bir artış söz konusudur. Bu durum Balcı çeşidine ait kök örneklerinde krom toksisitesine karşın kök dokusunun olumsuz etkiye daha fazla maruz kaldığını ve savunma mekanizmasının daha düşük konsantrasyonda devreye girdiğini göstermektedir. Artan konsantrasyonla beraber azalan dasaturaz etkinliğinin 80 mg/L'de ve üstündeki konsantrasyonlarda neredeyse yok denecek kadar azaldığı görülmüştür.

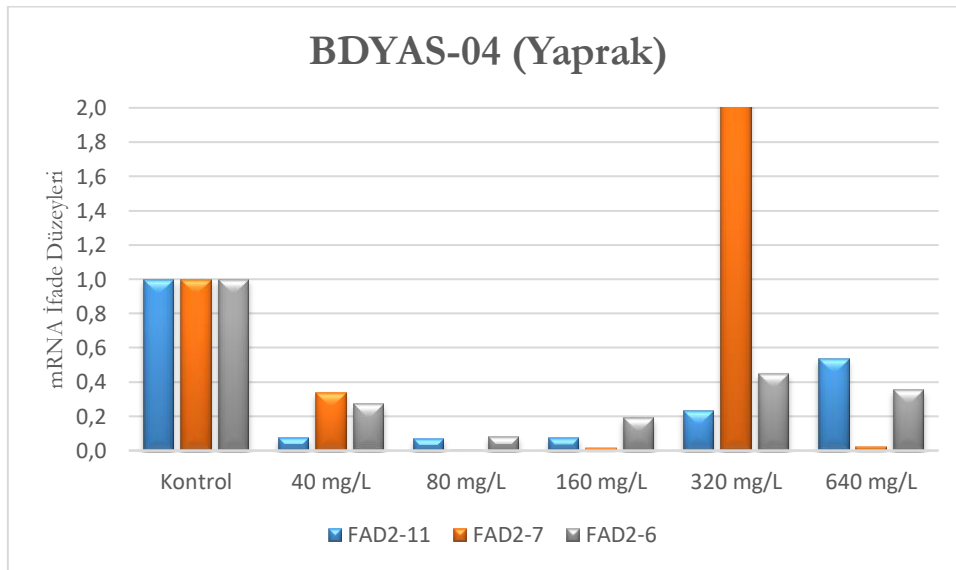


**Şekil 3.3-** Krom ağır metal stresi sonucu BALCI çeşidi kotiledon örneklerine ait *FAD2* genlerinde meydana gelen ekspresyon düzeyleri

Farklı konsantrasyonlarda krom ağır metal stresine maruz kalan Balcı çeşidine ait kotiledon örneklerine ait *FAD2* genlerine ait ekspresyon verileri incelendiğinde ise; kontrol grubuyla kıyaslandığında 40-160 mg/L arasında bazı genlerin ifadesinde düşüş gözlemlenirken, 320 mg/L krom ağır metal konsantrasyonunda ani bir artış söz konusudur. Bu durum Balcı çeşidine ait kotiledon örneklerinde artan krom toksisitesine karşın azalan dasaturaz etkinliğini ve 160-320 mg/L'de ise savunma mekanizmasının devreye girerek ifade seviyesinin artmasının göstergesi olarak kabul edilmiştir.

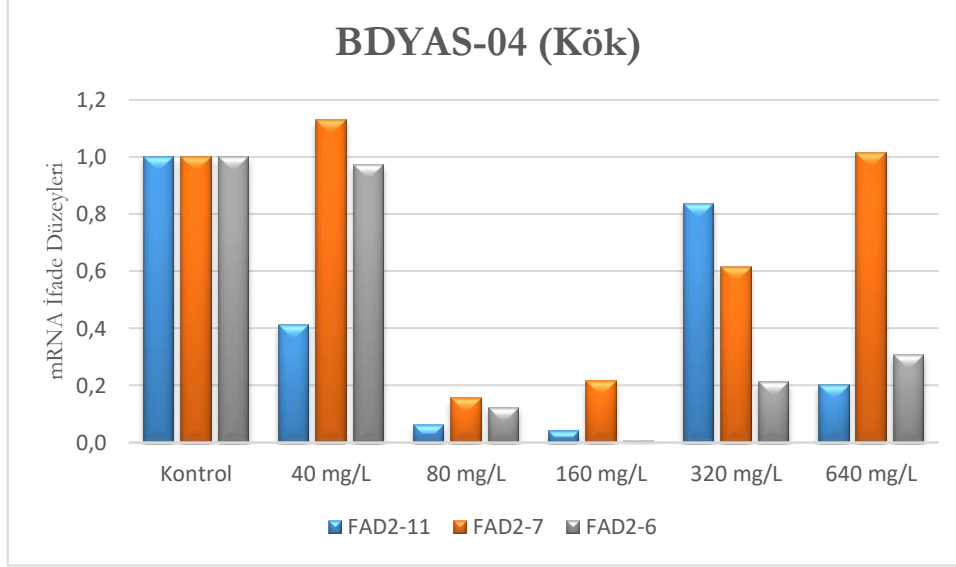
### 3.2 Krom (Cr) stresine maruz kalan BDYAS-04 çeşidi gen ekspresyon sonuçlarının analizi

Krom ağır metal stresi uygulanan BDYAS-04 çeşidine ait yaprak, kök ve kotiledon örneklerinden konsantrasyona bağlı elde edilen *FAD2* genlerindeki ifade seviye değişimleri sonuçları şekil 3.4-3-6'da ayrıntılı olarak verilmiştir.



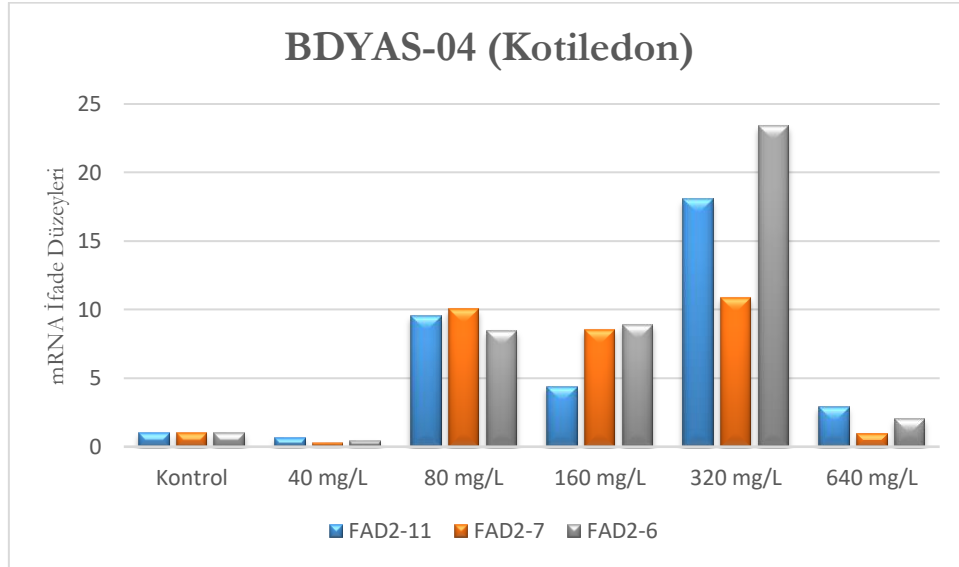
**Şekil 3.4-** Krom ağır metal stresi sonucu BDYAS-04 çeşidi yaprak örneklerine ait *FAD2* genlerinde meydana gelen ekspresyon düzeyleri

Farklı konsantrasyonlarda krom ağır metal stresine maruz kalan Bdyas-04 çeşidine ait yaprak örneklerine ait *FAD2* genlerine ait ekspresyon verileri; kontrol grubuyla kıyaslandığında 40-160 mg/L arasında düşüş gözlemlenirken, 320 mg/L krom ağır metal konsantrasyonunda ani bir artış söz konusudur. Bu durum Bdyas-04 çeşidine ait yaprak örneklerinde artan krom toksisitesine karşın azalan dasaturaz etkinliğini ve 320 mg/L'de ise savunma mekanizmasının devreye girdiğinin göstergesi olarak kabul edilmiştir.



**Şekil 3.5-** Krom ağır metal stresi sonucu BDYAS-04 çeşidi kök örneklerine ait *FAD2* genlerinde meydana gelen ekspresyon düzeyleri

Farklı seviyelerde krom ağır metal stresine maruz kalan Bdyas-04 çeşidine ait kök örneklerine ait *FAD2* genlerine ait ekspresyon verileri incelendiğinde; kontrol grubuyla kıyaslandığında 40-160 mg/L arasında düşüş gözlemlenirken, 320 mg/L ve sonrasında krom ağır metal konsantrasyonunda ani bir artış söz konusudur. Bu durum Bdyas-04 çeşidine ait kök örneklerinde artan krom toksisitesine karşın azalan dasaturaz etkinliğini ve 320 mg/L ve sonrasında ise savunma mekanizmasının devreye girdiğinin göstergesi olarak kabul edilmiştir.

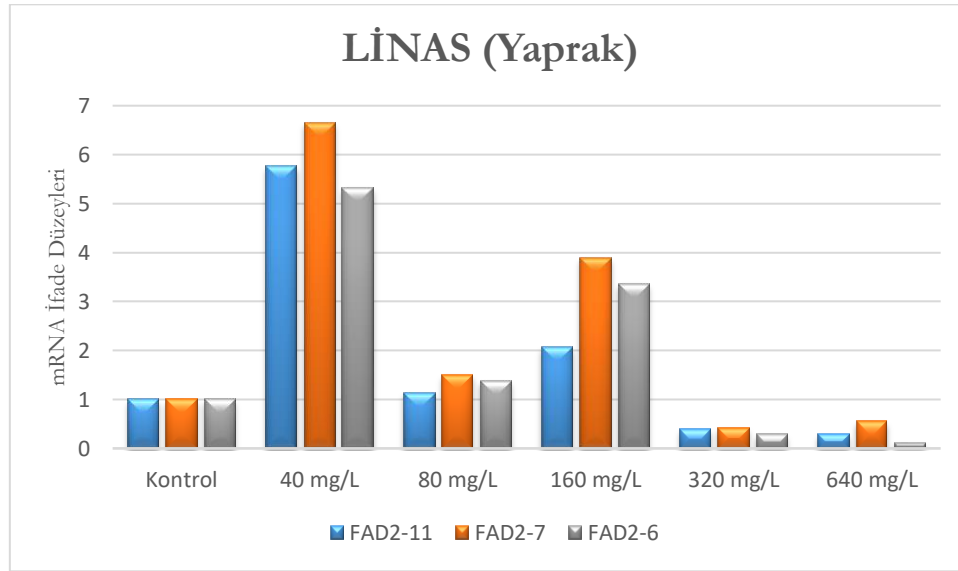


**Şekil 3.6-** Krom ağır metal stresi sonucu BDYAS-04 çeşidi kotiledon örneklerine ait *FAD2* genlerinde meydana gelen ekspresyon düzeyleri

Farklı konsantrasyonlarda krom ağır metal stresine maruz kalan Bdyas-04 çeşidine ait kotiledon örneklerine ait *FAD2* genlerine ait ekspresyon verileri; kontrol grubuyla kıyaslandığında 40 mg/L düşüş gözlemlenirken, 80 mg/L ve sonrasındaki artan konsantrasyonlarda artış söz konusudur. Bu durum Bdyas-04 çeşidine ait kotiledon örneklerinde artan krom toksisitesine karşın savunma mekanizmasının devreye girdiğinin ve 640 mg/L'de ise etkisiz kaldığının göstergesi olarak kabul edilmiştir.

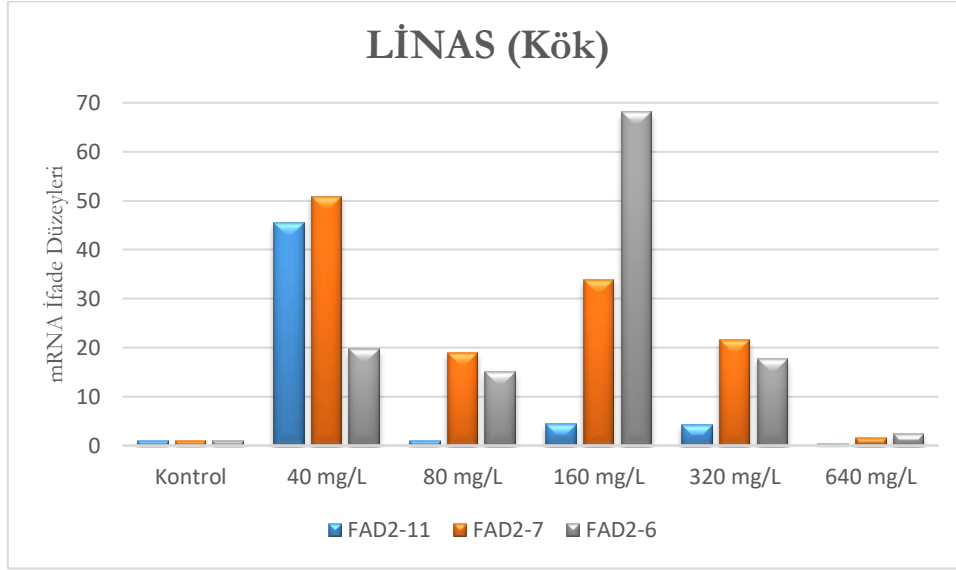
### 3.3 Krom (Cr) stresine maruz kalan LİNAS çeşidi gen ekspresyon sonuçlarının analizi

Krom ağır metal stresi uygulanan LİNAS çeşidine ait yaprak, kök ve kotiledon örneklerinden konsantrasyona bağlı elde edilen *FAD2* genlerindeki ifade seviye değişimleri sonuçları şekil 3.7-3-9'da ayrıntılı olarak verilmiştir.



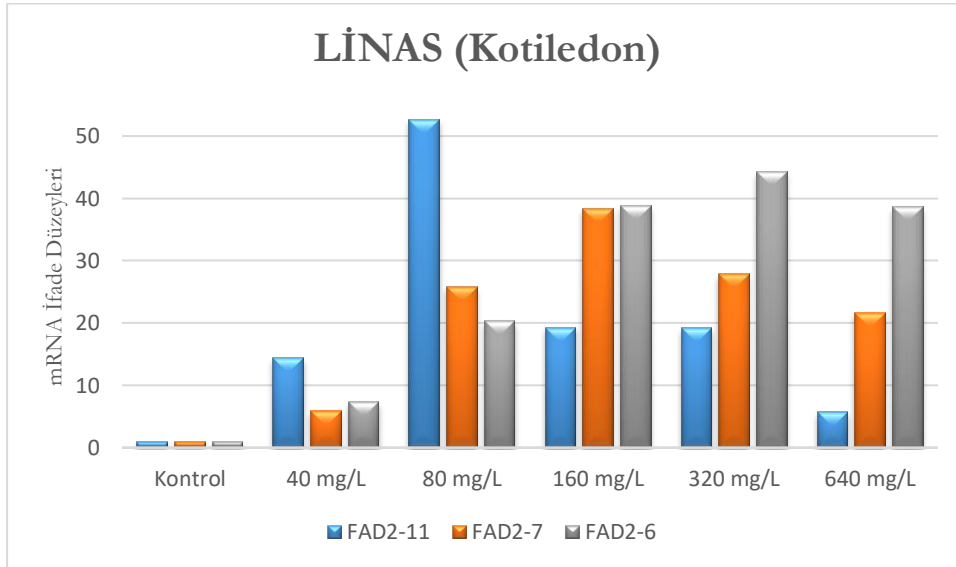
Şekil 3.7- Krom ağır metal stresi sonucu LİNAS çeşidi yaprak örneklerine ait *FAD2* genlerinde meydana gelen ekspresyon düzeyleri

Farklı konsantrasyonlarda krom ağır metal stresine maruz kalan Linas çeşidine ait yaprak örneklerine ait *FAD2* genlerine ait ekspresyon verileri; kontrol grubuyla kıyaslandığında 40-160 mg/L arasında artış gözlemlenirken, 320 mg/L ve sonrasında ifadenin azaldığı görülmüştür. Bu durum Linas çeşidine ait yaprak örneklerinde 320 mg/L 'ye kadar artan krom toksisitesine karşın dasaturaz etkinliğinin devam ettiğini ve 320 mg/L'de ise etkisiz kaldığının göstergesidir. Bu durum aynı zamanda bu çeşidin bu dokusundaki strese karşı dayanıklılığının da daha yüksek olduğunu ifade etmektedir.



**Şekil 3.8-** Krom ağır metal stresi sonucu LİNAS çeşidi kök örneklerine ait *FAD2* genlerinde meydana gelen ekspresyon düzeyleri

Farklı seviyelerde krom ağır metal stresine maruz kalan Linas çeşidine ait kök örneklerine ait *FAD2* genlerine ait ekspresyon verileri incelendiğinde; kontrol grubuyla kıyaslandığında 40-320 mg/L arasında neredeyse bütün genler aktif olarak desaturaz etkinliğini devam ettirmektedir. Bu durum Linas çeşidine ait kök örneklerinde de artan krom toksisitesine karşı daha fazla direnç gösterebildiğinin kanıtı olarak kabul edilmiştir.



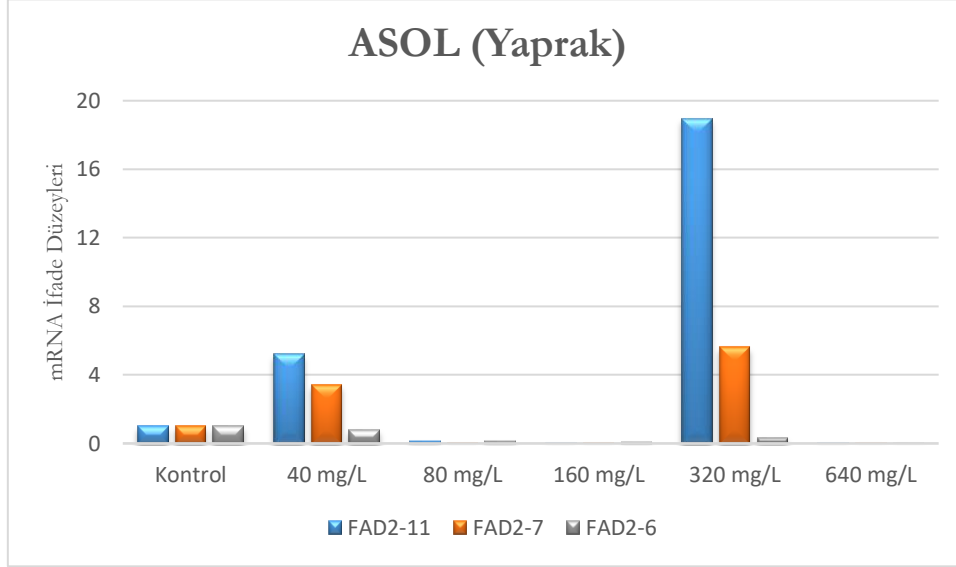
**Şekil 3.9-** Krom ağır metal stresi sonucu LİNAS çeşidi kotiledon örneklerine ait *FAD2* genlerinde meydana gelen ekspresyon düzeyleri

Farklı konsantrasyonlarda krom ağır metal stresine maruz kalan Linas çeşidine ait kotiledon örneklerine ait *FAD2* genlerine ait ekspresyon verileri; kontrol grubuyla kıyaslandığında bütün konsantrasyonunda artış söz konusudur. Genel olarak diğer dokularda göz önünde bulundurulduğunda; bu durum Linas çeşidinin artan krom toksisitesine karşı en dayanıklı çeşit olduğunun göstergesi olarak kabul edilmiştir.



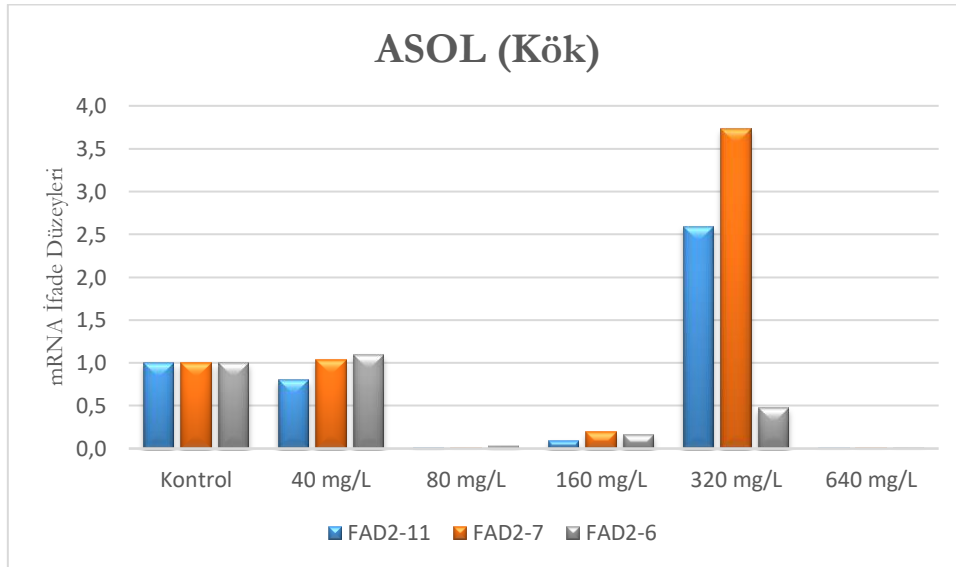
### 3.4 Krom (Cr) stresine maruz kalan ASOL çeşidi gen ekspresyon sonuçlarının analizi

Krom ağır metal stresi uygulanan Balcı çeşidine ait yaprak, kök ve kotiledon örneklerinden konsantrasyona bağlı elde edilen *FAD2* genlerindeki ifade seviye değişimleri sonuçları şekil 3.10-3-12'de ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 3.10- Krom ağır metal stresi sonucu ASOL çeşidi yaprak örneklerine ait *FAD2* genlerinde meydana gelen ekspresyon düzeyleri

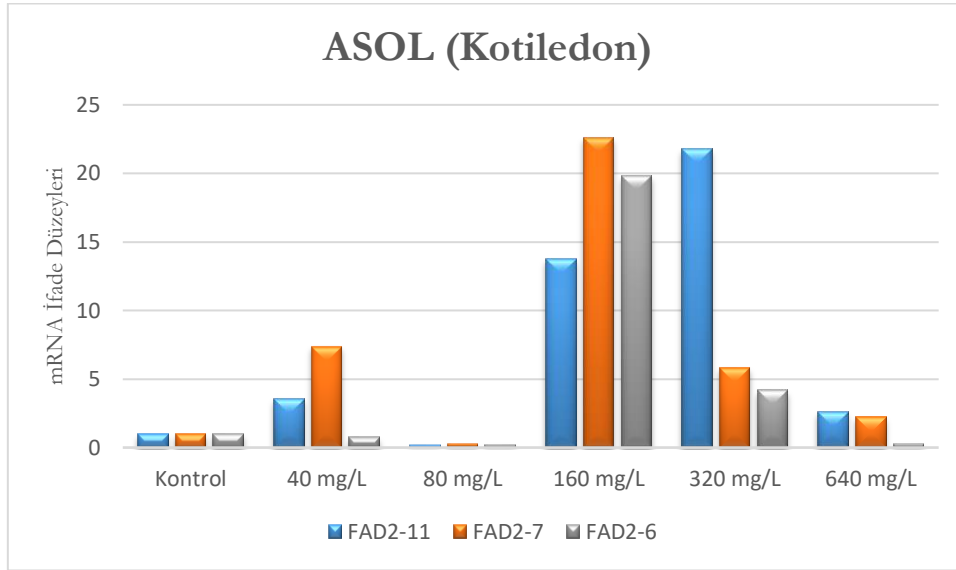
Farklı konsantrasyonlarda krom ağır metal stresine maruz kalan Asol çeşidine ait yaprak örneklerine ait *FAD2* genlerine ait ekspresyon verileri; kontrol grubuyla kıyaslandığında sadece 40 mg/L ifade gözlemlenirken, artan diğer konsantrasyonlarda gen ifadeleri nerdeyse sıfıra yakındır. 320 mg/L krom ağır metal konsantrasyonunda ani bir artış söz konusudur. Bu durum Asol çeşidine ait yaprak örneklerinde artan krom toksisitesine karşın azalan dasaturaz etkinliğini ve 320 mg/L'de ise savunma mekanizmasının devreye girdiğinin göstergesi olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.11- Krom ağır metal stresi sonucu ASOL çeşidi kök örneklerine ait *FAD2* genlerinde meydana gelen ekspresyon düzeyleri

Farklı seviyelerde krom ağır metal stresine maruz kalan Asol çeşidine ait kök örneklerine ait *FAD2* genlerine ait ekspresyon verileri incelendiğinde; kontrol grubuyla kıyaslandığında 40 mg/L'de

ifade gerçekleşirken, 320 mg/L krom ağır metal konsantrasyonunda ani bir artış söz konusudur. Bu durum Asol çeşidine ait kök örneklerinde artan krom toksisitesine karşın azalan desaturaz etkinliğini ve 320 mg/L'de ise savunma mekanizmasının devreye girdiğinin göstergesi olarak kabul edilmiştir.



**Şekil 3.12-** Krom ağır metal stresi sonucu ASOL çeşidi kotiledon örneklerine ait *FAD2* genlerinde meydana gelen ekspresyon düzeyleri

Farklı konsantrasyonlarda krom ağır metal stresine maruz kalan Asol çeşidine ait kotiledon örneklerine ait *FAD2* genlerine ait ekspresyon verileri; kontrol grubuyla kıyaslandığında 40mg/L konsantrasyonda artış gözlemlenirken, 80 mg/L'de düşüş ve 160 mg/L ve sonrasındaki krom ağır metal konsantrasyonlarında ani bir artış ve azalma söz konusudur. Bu durum Asol çeşidine ait kotiledon örneklerinde artan krom toksisitesine karşın (80 mg/L) azalan desaturaz etkinliğini ve 160 mg/L ve sonrasında ise savunma mekanizmasının devreye girdiğinin ve etkinliğinin giderek azaldığını ve etkisiz kaldığının göstergesi olarak kabul edilmiştir.

#### 4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada, krom toksisitesine maruz kalan Aspir fidelerinden alınan kök, yaprak ve kotiledon örneklerinde değişen konsantrasyon aralıklarına bağlı olarak farklı miktarlarda *FAD* genlerinde değişimler gözlemlenmiştir. Aspir fidelerinin farklı dokularından elde edilen ekspresyon verileri değerlendirildiğinde; Krom ağır metal stresine maruz kalan aspir fidelerinin farklı dokularında *FAD2-6*, *FAD2-7* ve *FAD2-11* genlerinin aktif olduğu ve dokuya spesifik farklı stres cevapları oluşturduğu gösterilmiştir. Ayrıca bu farklılık sadece doku düzeyinde olmayıp, aspir çeşitleri arasında da görülmüştür. Elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde; Linas çeşidinin artan krom toksisitesine karşın en dayanıklı çeşit olduğunun, Asol çeşidinin ise daha az dayanıklı olduğu kabul edilebilir düzeydedir.

Çalışmadan elde edilen veriler değerlendirildiğinde düşük konsantrasyonlardaki krom toksisitesine karşın desaturaz etkinliğinin az da olsa arttığı tespit edilmiştir. Değişen çeşitlere bağlı farklı dokularda ise *FAD2* genlerinin ifade düzeylerinde ani artış ve azalışlar da gözlemlenmiştir. Literatürde bilgisine göre elde edilen bu sonuçların kromun bitkiler tarafından mikro besin elementi olarak kullanımından kaynaklandığı düşünülmektedir. Artan konsantrasyonlarında ise yine aspir çeşitlerinin farklılığına bağlı olarak dokulara göre de farklılık gösterdiği ve *FAD2* genlerinin ifadelerinin düştüğü bulunmuştur. Bu durum düşük konsantrasyonlarda *FAD* genlerinin aktif olduğu ve desaturaz etkinliğinin devam ettiğini fakat, artan konsantrasyonlarda ise ani artış

azalışlarla savunma mekanizmasında da etkin rol aldığıın göstergesi olarak yorumlanabilmektedir. Çalışma verilerine göre eşik değer kabul edilebilecek konsantrasyonlar olan 80 mg/L, 160 mg/L ile 320 mg/L'de *FAD* genlerindeki görülen artış, oluşan strese karşı savunma mekanizmasının devreye girdiğini göstermektedir. Böylelikle *FAD2* genlerinin strese karşı savunmada rol aldığı da çalışma sonucunda belirlenmiştir. 320 mg/L ve özellikle de 640 mg/L krom ağır metal konsantrasyonlarında ise *FAD2* genlerinin ifade düzeylerindeki yeniden düşüş ya da sıfıra yakın ifade düzeyi krom stresine karşı verilen cevabın moleküler seviyede yetersiz kaldığını göstermektedir (Bölükbaşı, 2018).

**Sonuç olarak;** *FAD2* genlerinin daha fazla bitkide özellikle de yağ bitkilerinde tanımlanması ve daha kapsamlı çalışılması, elde edilecek yağ kalitesinin değerini artıracak ve oluşabilecek stres direncinin de anlaşılmasına yardımcı olacaktır. Yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar; önemli bir yağ bitkisi olan Aspir bitkisinde *FAD2* genlerinin krom ağır metal stresine karşı gelişim, üretim, yağ çeviriminde ve özellikle de savunma mekanizmasında önemli rol oynadığını göstermiştir. Ayrıca bu çalışma, *FAD2* genlerinin; ileride aspir bitkisiyle tasarlanacak olan moleküler biyolojik çalışmalar için iyi bir aday gen olduğunu da göstermiştir.

## TEŞEKKÜR

Yazar, Amasya Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Birimi'ne (Proje No: FMB-BAP 20-0480) bu çalışmaya maddi destek verdiği için teşekkür eder.

## KAYNAKÇA

Asgarpanah, J. ve Kazemivash, N. (2013). Phytochemistry, pharmacology and medicinal properties of *Carthamus tinctorius* L. *Chinese journal of integrative medicine*, 19(2), 153-159.

Babaoğlu, M. (2007). Aspir ve tarımı. *Trakya Tarımsal Araştırmalar Enstitüsü*, 13, 3-9.

Bekiaroglou, P. ve Karataglis, S. (2002). The effect of lead and zinc on *Mentha spicata* L. *Journal of agronomy and crop science*, 188(3), 201-205.

Bölükbaşı, E. (2018). Bakır ( $Cu^{+}$ ), kurşun ( $Pb^{+2}$ ) ve kadmiyum ( $Cd^{+2}$ ) ağır metal streslerine maruz kalmış aspir (*Carthamus tinctorius* L.) çeşitlerinde *FAD2* geni mRNA ifade seviyelerinin belirlenmesi. (Yayınlanmamış Doktora Tezi) Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bölükbaşı, E. (2021). Expression analysis of Some Stress-Related Genes Induced by Cadmium on Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Plants. *Hittite Journal of Science and Engineering*, 8 (4), 339-345. DOI: 10.17350/HJSE19030000247.

Büyük, İ., Soydam-Aydın, S. ve Aras, S. (2012). Bitkilerin stres koşullarına verdiği moleküler cevaplar. *Turkish Bulletin of Hygiene & Experimental Biology*, 69(2), 19-24.

Cao, S., Zhou, X.-R., Wood, C.C., Green, A.G., Singh, S.P., Liu, L. ve Liu, Q. (2013). A large and functionally diverse family of *FAD2* genes in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *BMC plant biology*, 13(1), 5-17.

Gilbert, J., Knights, S. ve Potter, T. (2008). International safflower production-an overview. Paper presented at the Proceedings of the 7th International Safflower Conference, Wagga Wagga, NSW, Australia.

Herrández, M.L., Padilla, M.N., Mancha, M. ve Martinez-Rivas, J.M. (2009). Expression analysis identifies *FAD2-2* as the olive oleate desaturase gene mainly responsible for the linoleic acid content in virgin olive oil. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(14), 6199-6206.

Johnson, B. ve Jimmerson, J. (2003). Safflower. Briefing No: 58. Agricultural marketing policy center. *J. Montana State University*, Montana, USA.

Kaya, Y., Evcı, G., Kaya, V. ve Kaya, M. (2007). Oleik tip ayçiçeği tarımı ve gelecekteki yönü. *1. Ulusal Yağlı Tobumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu*, 28-31.

Koç, E., Üstün, A. & Arıcı, Y.K. (2012). Biber (*Capsicum annuum* L.) Fidelerinde farklı çinko konsantrasyonlarının total protein, hidrojen peroksit içeriği ve peroksidaz aktivitesi üzerine etkisi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13(2), 205-212.

Livak, K.J. ve Schmittgen, T.D. (2001). Analysis of Relative Gene Expression Data Using Real- Time Quantitative PCR and the  $2^{-\Delta\Delta CT}$  Method. *Methods*, 25, 402-408.

Mündel, H.H. (2008). Major achievements in safflower breeding and future challenges. Paper presented at the Proceedings of Products, *VIIth International Safflower Conference*.

Pandey, S.K. (2008). Germination and seedling growth of field pea (*Pisum sativum*) Malviya Matar-15 (HUDP-15) and Pusa Prabhat (DDR-23) under varying level of copper and chromium. *Journal of Am Sci.*, 4(3); 28-40.

Weiss, E. (1971). Castor, sesame and safflower. *Barnes and Noble. Inc.*, New York, 529.

Yarsan, E., Bilgili, A. ve Türel, İ. (2000). Heavy metal levels in mussels (*Unio stevenianus krynicki* L.) obtained from Van Lake. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 24(1), 93-96.

Yıldız, N. (2001). Toprak kirletici bazı ağır metallerin (Zn, Cu, Cd, Cr, Pb, Co ve Ni) belirlenmesinde kullanılan yöntemler. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(2).

Zayed, A.M. ve Terry, N. (2003). Chromium in the Environment: Factors Affecting Biological Remediation. *Plant Soil*, 249; 139-156.

## Bursa Uludağ Üniversitesi'nde Katı Atık Karakterizasyonu ve Geri Dönüşüm Potansiyelinin Belirlenmesi

Ezgi GÖZEN<sup>1</sup>  
N.Kamil SALİHOĞLU<sup>2</sup>

### Giriş

Sanayi devrimiyle birlikte kentlerde artan nüfus ve ihtiyaçlar doğrultusunda, toplumların tüketim alışkanlıkları değişmiştir. Artan ihtiyacı karşılamak üzere sanayide yapılan üretim çalışmaları, daha fazla hammadde kullanımı ve daha fazla atık oluşumuna sebep olmuştur. Üretim aşında gelişen teknoloji ile daha az hammadde kullanan, yeniden kullanım ve geri dönüşüm olanaklarıyla daha az atık oluşturmayı hedefleyen temiz üretim çalışmaları artsa da (Davarcıoğlu ve Lelik, 2017: 94-105), oluşan atıkların daha kompozit ve karmaşık hale gelmesiyle atık yönetimi her geçen gün yönetilmesi daha güç bir sorun haline gelmiştir.

Avrupa Parlamentosu ve Konseyi, atığı; sahibinin atmak istediği veya atması gereken bir madde veya nesne olarak tanımlamıştır (European Parliament Council, 2008: 9). Geçmişte katı atıkların yönetiminde halk sağlığının korunması için atıkların yaşam alanlarından uzaklaştırılması yeterli görülse de, kontrolsüz bertarafın tehlikeleriyle karşılaşılarak düzenli depolama sistemine geçilmiştir (Shekdar, 2009: 1438). Ancak büyük alan ihtiyacı ve oluşan depolama gazı ile sızıntı suyunun yönetiminin karmaşık ve hassas olması, depolama sahalarının yönetiminde zorluklar yaratmaktadır. Yakma tesisleri ise kurulumunun ve işletilmesinin maliyetli olması ve yarattığı hava kirliliği sorunları ile her bölgede uygulanabilecek bir sistem olmaktan uzaktır.

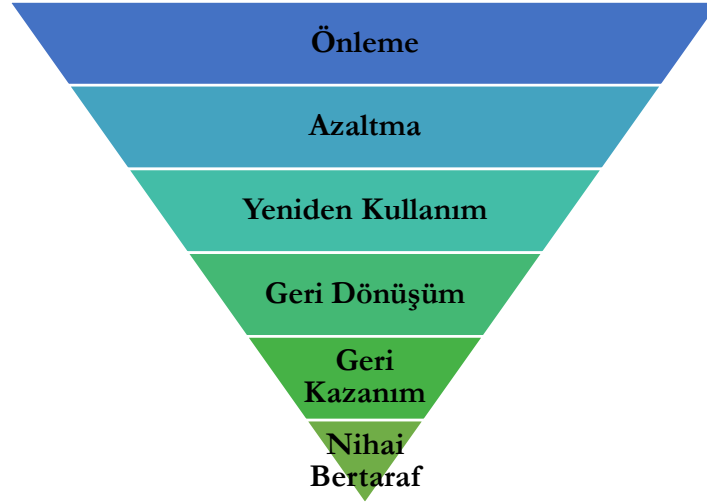
Zamanla doğal kaynakların korunması ve enerji tasarrufunun öneminin anlaşılmasıyla insan sağlığı ve çevreyi koruma ihtiyacı artmış, böylelikle kontrolsüz bertaraf ve yakma yöntemleri yerini, atık işleme, geri dönüşüm ve arıtma sistemlerini kapsayan entegre sistemlere bırakmıştır (Townsend vd., 2015: 1). Entegre katı atık yönetimi; ekonomik, sosyal ve çevresel faktörleri dikkate alarak, atıkların çevre ve insan sağlığına zarar vermeden, oluşumunun önlenmesiyle geri dönüşüm, arıtma ve bertaraf çalışmalarını içeren bir atık yönetim sistemidir (Chandrappa ve Das, 2012: 17).

Atıkların yönetiminde en önemli kural atığın oluşumunu önlemektir. Bu sayede kontrol ve bertaraf edilecek olan atık miktarında azalma sağlanacağı gibi doğal kaynakların gereksiz tüketimi engellenerek sürdürülebilir bir çevre ile dünyanın korunması sağlanacaktır. Atıkların doğru yönetim biçimi Şekil 1'de verilmiştir.

---

<sup>1</sup> Ezgi Gözen, Yüksek Lisans Öğrencisi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Orcid: 0000-0001-7692-1103

<sup>2</sup> N.Kamil Salihoğlu, Prof. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Orcid: 0000-0002-7730-776X



Şekil 1 - Atık Yönetim Hiyerarşisi

Ülkemizde katı atık yönetiminde geri kazanım işlemi yetersiz uygulanarak, atığın büyük bir kısmı depolamaya gönderilmekte ve katı atık bünyesindeki ekonomiye kazandırılabilir olan değerli maddeler, kirlilik kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır (Gönüllü, 2021: 131). Bu nedenle sürdürülebilir bir atık yönetiminde temel ilke; atık oluşumunu en aza indirmek, geri dönüşüm ve yeniden kullanımı en üst seviyeye çıkararak atıkların çevreye zarar vermeyecek şekilde güvenli yöntemlerle bertarafını sağlamaktır (Rao vd. 2017: 5).

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı sürdürülebilir bir gelecek için atıkların etkin yönetimi konusunda çeşitli hedefler belirlemiştir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2012: 12). İklim Değişikliği Eylem Planı'nda belirtilen hedefler şu şekildedir;

HEDEF 1 - 2005 yılı baz alınarak düzenli depolama tesislerine kabul edilecek biyobozunur atık miktarının, 2015 yılına kadar ağırlıkça %75'ine, 2018 yılına kadar %50'sine, 2025 yılına kadar %35'ine indirilmesi

HEDEF 2 - 2023 yılı sonuna kadar ülke genelinde entegre katı atık bertaraf tesislerinin kurulması ve belediye atıklarının %100'ünün bu tesislerde bertaraf edilmesi

HEDEF 3 - Ambalaj Atığı Yönetim Planlarının tamamlanması

HEDEF 4 - AB ile uyumlu Entegre Atık Yönetimi anlayışı ile Katı Atık Ana Planı (KAAP/2010) kapsamında öngörülen geri kazanım tesislerinin kurulması

HEDEF 5 - 2023 yılına kadar vahşi depolama sahalarının %100'ünün kapatılması

Bu hedeflere ulaşmak için sadece idari yönetimlerin değil, atığı üreten her bir bireyin sorumluluk olarak çalışması gerekmektedir. Atığı daha oluşmadan önleme, önlenemiyorsa azaltma, ardından yeniden kullanım ve geri dönüşüm seçeneklerini değerlendirme davranışı, bireylerin normal alışkanlıkları haline getirilerek doğru atık yönetimi her vatandaşa benimsetilmelidir.

Sıfır atık, ürünlerin ve ambalajlarının çevre ve insan sağlığını riske atmayacak şekilde yakılmadan, su, toprak ve havaya herhangi bir deşarj yapılmadan; üretimi, tüketimi, yeniden kullanımı ve geri kazanımı aşamalarında sorumluluk alınarak tüm kaynakların korunması anlamına gelmektedir (Bogusz vd., 2021: 3). Bu nedenle sağlıklı bir atık yönetimi için sıfır atığın temelini oluşturan atık yönetim hiyerarşi basamakları izlenmelidir.

Atığın içeriğini ve oluşum aşamalarını tanımlama süreci sürekli devam eden bir sorundur (Butti, 2012: 1621). Şayet atık kategorileri daha net ve atığın kullanım imkanları uygun şekilde tanımlanmışsa, atık bünyesinde bulunan değerli kaynakların daha sağlıklı bir şekilde geri kazanılması muhtemeldir (Gharfalkar vd., 2015: 306).

Katı atıkların bertarafında en uygun teknolojinin belirlenmesi ve sağlıklı bir katı atık yönetim sisteminin kurulması için oluşan atığın miktarının ve içeriğinin bilinmesi çok önemlidir. Karakterizasyon çalışmasının ardından atığın ekonomik ve sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde nasıl değerlendirileceği ve nasıl bertaraf edileceğine karar verilebilir (Kemirtlek, tarihsiz: 6). Ayrıca oluşan atığın karakterizasyon çalışmasının yapılmasıyla bünyesindeki geri dönüştürülebilir madde oranı tespit edilerek, atığın ekonomik değeri anlamlandırılır. Bu geri kazanım potansiyelinin belirlenmesi ile atık işleme ekipmanlarının tasarımı, ulusal ve uluslararası direktiflere uyum aşamaları kolaylaşarak başarılı bir yönetim sağlanmış olur (Gidarakos, 2005: 668).

Çevre ve atık yönetimi konusunda doğru adımlar atabilmek için bilinçli bireylere ihtiyaç duyulmaktadır. Bilinçli ve kaliteli bir toplumun kilit noktası ise iyi bir eğitim sistemine sahip olmaktır. Kalkınma hedefleri için önemli bir değer olan eğitim, ülkelerin gelişmişlik düzeyini belirleyen bir ölçüttür. Üniversite, bireylerin bilgilerini arttırarak, onları daha nitelikli hale getiren, aynı zamanda ekonomik kalkınmayı arttırmasıyla bireylerin yaşam seviyelerini yükselten bir kurumdur (Ali Yılmaz Gündüz, 2017: 56).

Üniversite kampüsleri kapladıkları alan, nüfus ve çevre üzerindeki etkileri bakımından bünyelerinde gerçekleştirdikleri karmaşık faaliyetlerle “küçük şehirler” olarak anılmaktadır. Kampüslerde yapılan öğrenim ve araştırma faaliyetleri ile yerleşim alanlarındaki enerji ve kaynak tüketimlerinden kaynaklanan çevre kirliliği, uygun yönetim sistemleri ile önlenebilir (Alshuwaikhat ve Abubakar, 2008: 1777).

Toplumlar, üniversitelerin sürdürülebilirlik konusundaki gücü üzerine büyük beklenti içerisinde ve bu durum birçok farklı fırsat algısına dönüşmektedir (Stephens vd., 2008: 320). İnovatif düşünce yapısı ile topluma ve geleceğe yol gösteren üniversitelerin atık yönetimi konusunda üzerine düşen sorumluluk büyüktür. Bu çalışma ile “sürdürülebilir bir kampüs” olma yolunda Bursa Uludağ Üniversitesi Görükle Kampüsü’nde oluşan katı atıkların miktar ve bileşenleri tespit edilerek sıfır atık politikası çerçevesinde bölgesel iyileştirme çalışmaları değerlendirilmiştir.

## Literatür Özeti

Sıfır atık felsefesi ile etkin atık yönetimi birçok üniversitede öncelikli hale gelip araştırma konusu olmuştur. Pakistan’da bulunan UMT Üniversitesi kafeterya ve yiyecek büfelerinde oluşan katı atıkların yönetilmesinde doğru ve uygulanabilir bir iyileştirme yapılabilmesi için atık karakterizasyonu çalışması yapılmıştır. Çalışmada üniversitede bulunan altı kafeteryada oluşan atıklar, toplam atık üretimini ve oluşan atıkların karakterizasyonunu belirlemek amacıyla, iki hafta boyunca toplanmış ve elle ayrılarak karakterizasyonu belirlenmiş ve el tartısı ile miktarı hesaplanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda organik atığın toplam atık miktarının %60’ını kapsadığı ve paket servis hizmetinin fazla tercih edilmesinden dolayı organik atığı, kağıt ve plastik atıklarının izlediği görülmüştür. Ayrıca kampüs içerisinde 370 katılımcıya anket çalışması uygulanmış ve katılımcıların genel olarak katı atık yönetimi hakkında bilgiye sahip olduğu görülse de, kafeterya ve büfelerde doğru farkındalığın oluşmadığı görülmüştür. Çalışma sonucunda yemek israfının azaltılması yönünde eğitimlerin verilmesi ve toplanan organik atıkların kompost yöntemi ile faydalı bir ürün haline getirilmesiyle atık bertaraf maliyetinin düşürülmesi planlanmıştır. Geri dönüştürülebilir atıklarda azalmanın sağlanabilmesi için de sürdürülebilir kampüs felsefesiyle atık yönetim



hiyerarşisinin sürekli ve organize eğitimlerle teşvikinin sağlanması gerekliliği görülmüştür (Jaafar vd., 2017: 84-94).

Malezya TVET kampüsünde oluşan evsel atıkları ve bileşimlerinin tespiti için herhangi bir atık yönetim sistemi uygulanmayan yemekhane ve kafeteryaya ait atık noktalarında çalışmalar yürütülmüştür. Çalışmada hafta sonu hariç, birbirini izleyen 10 gün boyunca atıklar tartılmış ve atıklar organik, kâğıt, plastik, cam, metal ve diğer atıklar olarak kategorize edilmiştir. Yapılan analiz sonucu en yüksek miktar organik atıkta görülürken, en düşük miktar cam atıkta görülmüştür. Proje kapsamında organik atıklar için kompost uygulaması önerilmiştir. Ayrıca mevcut geri dönüşüm kutularının yetersiz kaldığı ve kullanıcılarda bilgi ve farkındalık eksikliği gözlenmiştir. Bu yüzden geri dönüşüm kutularının erişilebilir alanlara ve yeterli miktarda yerleştirilmesi ve tabelalar ile görünürlüğünün sağlanması, bununla birlikte öğrencilerin ve çalışanların geri dönüşüm ve kaynağında azaltma konularında teşvik edilmesi amacıyla ödül ve ceza sistemi gibi kampanya ve yaptırımların uygulanması önerilmektedir (Rodzi vd., 2019:158-170).

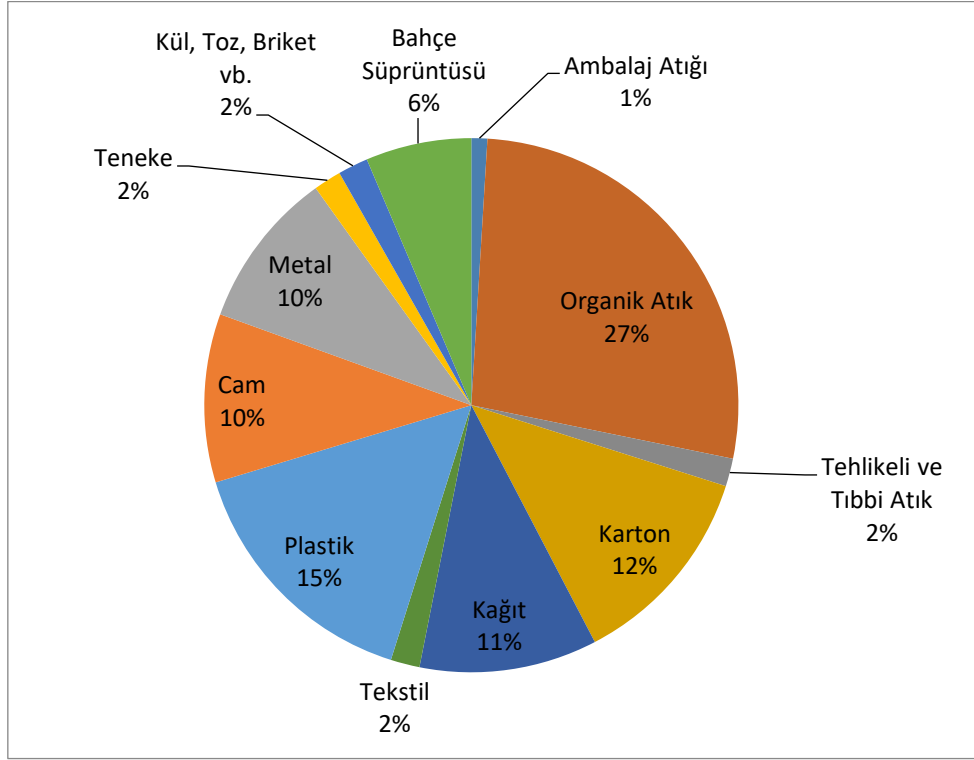
Bangladeş'te bulunan Chittagong Üniversitesi'nde, kampüs alanı içerisindeki mevcut katı atık yönetimini öğrenmek için katı atığın üretim hızı ve karakterizasyonunun belirlenmesi amacıyla 5 gün boyunca atıklar toplanarak ağırlıkları kayıt altına alınmıştır. Daha sonra bu atıklar elle ayrıştırılarak organik atık, kâğıt, ambalaj, plastik, tekstil, cam, metal, ahşap ve diğerleri olmak üzere 9 farklı gruba bölünmüştür. Yapılan madde gurubu analizi sonucu en yüksek oranda organik atık oluşumu gözlenirken, kâğıt atıkları ikinci sırada yerini almıştır. Kampüste gelişigüzel atılmış atıklarla oluşan açık çöp sahaları, sinek, fare ve diğer mikroorganizmaların üreme alanı haline gelmiş ve paraziter hastalıkların yayılmasına neden olmuştur. Ayrıca biyolojik olarak parçalanabilen katı atıklar yağmur suları tarafından süzülme ve su kirliliğine de sebep olmaktadır. Kampüs kullanıcılarının ise atıkların doğru yönetimi konusunda bilgi sahibi olmadığı görülmüştür. Elde edilen bulgular çerçevesinde kampüs içerisinde belirli bir bertaraf alanının oluşturulması ve bu alanın düzenli bir şekilde izlenmesi, bu bölge dışına atık atıkların tespiti halinde cezai işlem uygulanmasına karar verilmiştir. Katı atıkların uygunsuz bertarafının çevreye etkileri üzerine bilgi ve eğitim çalışmalarının verilmesi, organik atıklar için kompost ve diğer atıklar için de geri dönüşüm uygulamalarının teşvik edilmesi konuları önemli basamaklar olarak görülmüştür (Rahman vd., 2013: 25-30).

Baja Kaliforniya Otonom Üniversitesi'nde geri kazanım, atık azaltma ve geri dönüşüm basamaklarını etkin bir biçimde kullanan bir atık yönetim programının uygulanabilmesi için atık karakterizasyonu çalışması yapılması planlanmıştır. Kampüs alanı içinde 3 temsili alan seçilmiş ve ardışık 12 gün boyunca bu alanlarda atık toplanmıştır. Daha önce kampüs içerisinde oluşan atıklarla ilgili hiçbir verinin tutulmadığı göz önüne alındığında yapılan çalışma sonucunda aslında oluşan atıkların büyük bir kısmının geri dönüştürülebilirliği görülmüştür. Her bir bölgenin durumu ayrı ayrı değerlendirilirken oluşan gıda atıklarının büyükbaş hayvan yetiştiricilerine teslim edilmesi ve diğer organik atıkların kompost üretimi için kullanımı planlanmıştır. Ayrıca oluşan kâğıt atıkları için yeniden kullanım önerilmiş ve uygun görüldüğü alanlarda elektronik medyanın kullanımı gibi diğer iletişim yöntemleri teşviki için çalışmalar yapılmıştır. Geri dönüşüm kutularının yanına bilgilendirme kampanyaları ve posterler konularak görünürlüklerinin artırılması planlanmıştır (De Vega vd., 2008: 21-26).

Nijerya, Lagos Üniversitesi'nde geri dönüşümün teşvik edilmesi ile sıfır atık çerçevesinde sürdürülebilir bir üniversite yaratmak için mevcut durum tespiti yapılmıştır. Çalışmada kampüs alanı 4 bölgeye ayrılmış ve her bölgeden 12 atık numunesi alınarak karakterizasyon çalışması yapılmıştır. Uygulama sonucunda maliyetinin düşük olmasından dolayı "poşet su" olarak tanımlanan ve polietilen ambalajlar içinde satılan içme suyu ile en büyük atık oluşum oranını polietilen torbaların oluşturduğu görülmüştür. Geri dönüşüm kapasitesi çok az veya hiç olmayan bu atığın oluşması büyük bir sorun olarak görülürken kampüs içerisinde su sebillerinin kullanılması yönünde çeşitli

politikaların oluşturulması beklenilmektedir. Ayrıca atık geri dönüşüm oranlarının artırılması için toplumun katılımının sağlanması gerekliliği ile doğru stratejik politikaların uygulanması tartışılmıştır (Adeniran vd., 2017: 3-10).

Bursa Uludağ Üniversitesi Görükle Kampüsünde Salihoğlu (2015) tarafından yürütülen bilimsel araştırma projesi ile kampüs içerisinde oluşan atıklar ve içeriği incelenmiştir. Mevcut çalışmaya önderlik etmesi açısından önemi olan bu projede kampüs alanı 12 bölgeye ayrılmış ve madde grubu analizi uygulanmıştır. Analize ait yüzdesel atık dağılımı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2 - Görükle Kampüsü Atık Dağılım Yüzdeleri (2014-2015)

## Yöntem

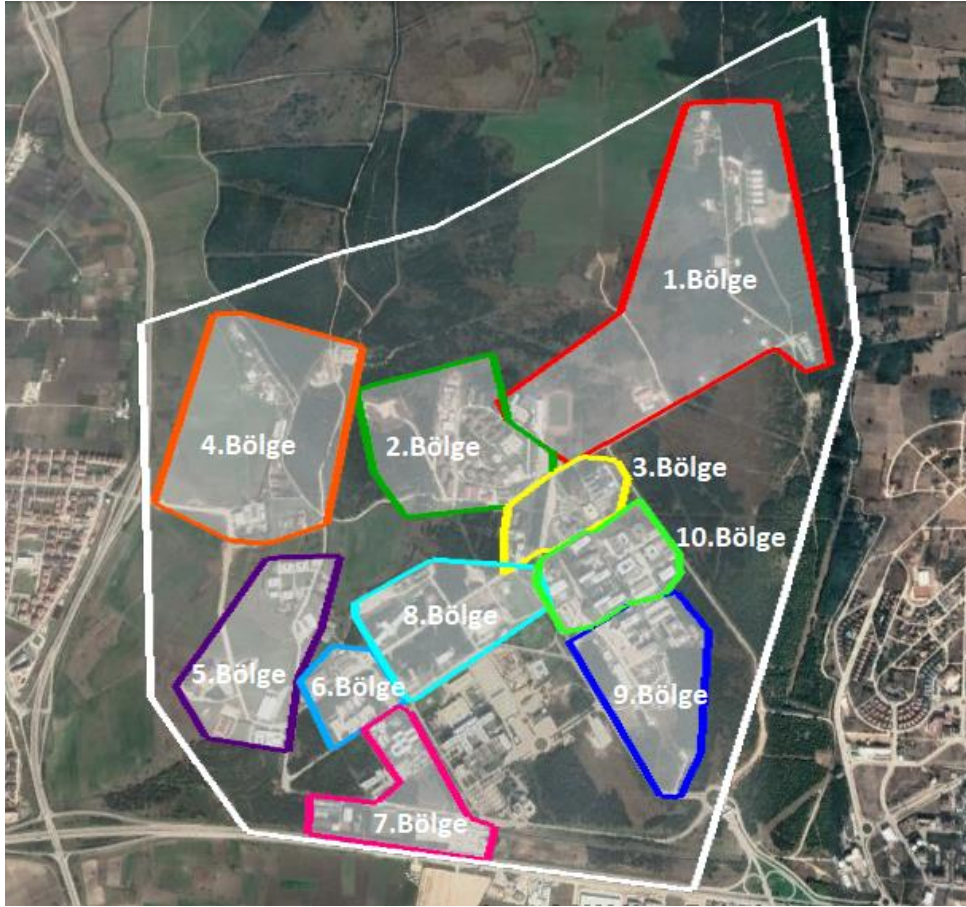
### Çalışma Alanı.

Çalışma alanı olan Bursa Uludağ Üniversitesi Görükle Kampüsü, toplam 1441 ha alana sahip olup, %55,4'lük kısmı ormanlık alanlardan ve %26'lık kısmı tarla ve bahçelerden oluşmaktadır. Kampüste; Tıp, İktisadi ve İdari Bilimler, Mühendislik, Veteriner, Ziraat, Eğitim, Fen-Edebiyat, Mimarlık, Spor Bilimleri, Sağlık Bilimleri, Dış Hekimliği Fakültelerinin tamamı ile Güzel Sanatlar Fakültesinin Resim Bölümü, Devlet Konservatuarı, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu ve Mennan Pasinli Atçılık Meslek Yüksekokulu, Enstitüler, Bölüm Başkanlıkları ve Rektörlük merkez binası bulunmaktadır. Bursa Uludağ Üniversitesi Görükle Kampüsünde 53.182 öğrenci, 1792 idari personel ve 2103 akademik personel olmak üzere toplam 57.077 kişi bulunmaktadır. Ziraat Fakültesi'ne bağlı 1000 m<sup>2</sup>lik alanda tıbbi ve aromatik bitkileri içeren özel bir koruma ve yetiştirme alanı mevcuttur. Kampüs alanına ait florada 9'u endemik olmak üzere 252 ayrı tür bulunmaktadır. Ayrıca kampüs içerisinde 7,2 ha'lık bir alanda Kızıl Geyik koruma bölgesi bulunmaktadır.

Sıfır Atık Belgesi'ne sahip olan Bursa Uludağ Üniversitesi 2021 yılında UI Green Metric Dünya Üniversite Sıralamasına başvurarak, dünyada başvuru yapan 956 üniversite arasında 335. olmuştur. Türkiye'den 71 üniversitenin katıldığı sürdürülebilirlik sıralamasında ise 20. sırada yer almıştır. Ayrıca yeşil alan, bitki örtüsü, yaban hayatı ve sağlık konularındaki altyapısı ile sürdürülebilirlik üzerine yaptığı eğitim çalışmalarıyla Türkiye sıralamasında üçüncü yeri almıştır.

### Madde Grubu Analizi.

Proje kapsamında mevcut durumun tespiti için Görükle kampüsü Şekil 3'te gösterildiği gibi 10 bölgeye ayrılmıştır. Çalışmanın pandemi döneminde yürütülmesinden dolayı Tıp Fakültesini içeren alan projeye dahil edilmemiştir. Bölgelere ait ayrıntılı bilgi Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 3 - Kampüs Alanı ve Proje Bölgeleri

**Tablo 1 - Proje Bölgelerinin Kapsadığı Alanlar**

Bölge No	Bölgenin Kapsadığı Alan
1. Bölge	Beden Eğitimi ve Spor Öğretmenliği Bölümü, İnşaat Dairesi ve Lojmanı, Arıcılık Geliştirme-Uygulama ve Araştırma Merkezi, Veterinerlik Fakültesi Araştırma Çiftliği
2. Bölge	KYK yurtları, KYK lojmanları, KYK durakları ve özel güvenlik birimi
3. Bölge	Veteriner Fakültesi(I. Öğrenci Kompleksi, II. A Blok, Dekanlık binası, Anatomi Diseksiyon Salonu, Hayvan Hastanesi), Güler - Osman Köseoğlu ve Nilüfer Hatun Kız Öğrenci Yurtları
4. Bölge	Kampüs Görükle çıkışının sağ tarafında kalan Besaş, Güzel Sanatlar Fakültesi(Resim Bölümü) ve Ziraat Fakültesi Çiftliği (Besaş Ar-Ge ve ekmek fırını HARİÇ)
5. Bölge	Ziraat Fakültesi eğitim binaları, Dekanlık binası, Basımevi, ULUTEK Araştırma Merkezi, Konservatuar Bölümü, Spor Salonu
6. Bölge	Fen-Edebiyat Fakültesi, Fen Bölümü, Sosyal Bilimler Bölümü, Unpa Cafe, Han Cafe ve Sera
7. Bölge	Tıp Eğitim Birimleri, PTT, Maliye Bakanlığı Döner Sermayesi, Saymanlık Müdürlüğü, Rektörlük, Sanat Galerisi, Tapu İşleri Tek Daire Başkanlığı, Otopark alanı, Metro giriş ve çıkışları, Duraklar, Otopark, Tenis Kortu, Stadyum
8. Bölge	Mediko, Rabia Rıza Biçen Yurdu, Fen-Edebiyat Fakültesi yeni bina, Üniversite lojmanları, anaokulu ve kreş, Çamlık Yemekhanesi, Mete Cengiz Kültür Merkezi
9. Bölge	Eğitim Fakültesi( A,B,C bloklar), Resim - İş(heykel) bölümü, Müzik Bölümü, Enstitü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mimoza Kafe, Aytu Pide Kebap, büfeler, kırtasiye ve Kampüsün Şehir Merkezi giriş kapısı
10. Bölge	Kütüphane, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi (A-B-C Bloklarını), Makine Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği, Mimarlık Fakültesi Binası, Otomotiv Mühendisliği, Çevre Mühendisliği, Mühendislik Ana Binası, 2 Tekstil 1 Fizik Laboratuvarı

Çevre Mühendisliği Bölümü öğrencilerinin aktif katılımının sağlandığı çalışmada öğrencilerden oluşan gruplar belirtilen bölgelere atanmıştır. Daha küçük atık biriktirme ekipmanları olan sabit plastik çöp konteynerleri ve kafes tipi bahçe çöp kovaları dolduğunda galvanizli çöp konteynerlerine aktarıldığından bu ekipmanlar çalışmaya dahil edilmemiş, sadece galvanizli konteynerler incelenmiştir.

Çalışmada her öğrenci grubu kendi bölgesini gezerek atıkları fotoğraflamış ve bölgelerini temsil edecek şekilde, farklı nokta ve kaynaklardan atıkları toplayarak madde grubu analizi için numune oluşturmuşlardır. Toplanan atıkların karakterizasyonu için uygun bir alanda yaygı bezi serilerek, atıklar dökülmüş ve türlerine göre gruplandırılmıştır. Gruplandırılan her bir atık bileşeni el tartısıyla tartılarak kayıt altına alınmıştır. Her ölçüm sonunda tartı kalibre edilmiştir.

Dört gün boyunca süren atık karakterizasyon çalışmasında Tablo 2'de verilen atık bileşenleri esas alınmıştır (Türkiye Belediyeler Birliği, 2015: 21).

**Tablo 2 - Katı Atık Bileşenleri**

Atık Bileşenleri	Kapsamı
Mutfak Atıkları	Yemek Artıkları, Ekmek, Sebze, Meyve
Kağıt	Gazete, Kağıt, Defter
Karton	Süt Kutusu, Meyve Suyu Kutusu, Tetra-pak kutuları
Hacimli Karton	Karton Kutular
Plastik	Tüm Plastikler
Cam	Cam Şişe, Cam Bardak, Kavanoz
Metal	Teneke Kutu, Çatal, Bıçak
Hacimli Metal	Metal Dolap, Masa vb.
Elektrikli ve Elektronik Ekipman Atıkları	Telefon, Radyo vb.
Tehlikeli Atık	Pil, Boya Kutusu
Park Ve Bahçe Atıkları	Dal, Ağaç Parçası, Çim vb.
Diğer Yanmayanlar	Taş, Kum, Toz, Seramik
Diğer Yanabilenler	Kumaş, Çocuk Bezi, Ayakkabı, Terlik, Yastık
Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar	Mobilya, Tahtadan Yapılmış Malzemeler vb.
Diğer Yanmayan Hacimli Atıklar	-
Diğer (Yukarıdaki Gruplar Hariç)	-

## Bulgular

Çalışmada Bursa Uludağ Üniversitesi Görükle Kampüsü 10 ayrı bölgeye ayrılmış ve 4 gün boyunca madde grubu analizi çalışması yapılmıştır. Her bir bölgeyi temsil eden günlük ortalama atık değerleri Tablo 3'te paylaşılmıştır.

**Tablo 3 - Bölgelere Göre Günlük Ortalama Atık Değerleri (kg/gün)**

Atık Bileşenleri	Bölgeler									
	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	5. Bölge	6. Bölge	7. Bölge	8. Bölge	9. Bölge	10. Bölge
Mutfak atıkları	0,0675	0,7213	0,2738	0,4538	0,0000	0,0075	0,1750	0,0000	1,0765	0,2213
Park ve bahçe atıkları	0,0000	0,0000	0,2238	0,0450	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Kağıt	0,1525	0,0625	0,5713	0,0825	0,0163	0,0213	0,0200	0,0250	0,2100	1,4513
Karton	0,3400	0,1250	0,2163	0,1988	0,0725	0,3775	0,0805	0,3813	0,2588	0,5238
Hacimli karton	0,2200	0,1163	0,1925	0,0650	0,0763	0,0825	0,2775	0,0788	0,1975	1,1900
Plastik	0,2438	0,1763	0,2775	0,1975	0,1875	0,6663	0,1850	0,4188	0,3838	1,4250
Cam	0,0963	0,5225	0,8600	0,1525	0,5713	0,8538	0,4463	1,1488	0,5250	1,3250
Metal	0,0063	0,0488	0,0288	0,0063	0,0038	0,0800	0,0038	0,0000	1,1363	0,7338
Hacimli metal	0,0100	0,0813	0,0058	0,2185	0,0430	0,0000	0,0013	0,0625	0,0288	0,0000
Elektrikli/elektronik ekipman atıkları	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0425	0,0000	0,0463
Tehlikeli atık	0,0000	0,0600	0,1788	0,0375	0,0000	0,0175	0,0000	0,0000	0,0745	0,8200
Diğer yanmayanlar	0,4463	0,0000	0,0250	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Diğer yanabilenler	0,0125	0,0000	0,0488	0,0265	0,0275	0,0000	0,0000	0,0000	0,0913	1,7938
Diğer yanabilir hacimli atıklar	0,0000	0,0163	0,0000	0,0000	0,0020	0,0000	0,0000	0,0000	0,0688	1,1375
Diğer yanmayan hacimli atıklar	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0813
Diğer (yukarıdaki gruplar hariç)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0113
GENEL TOPLAM	1,595	1,930	2,902	1,484	1,000	2,106	1,189	2,158	4,051	10,760

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde;

1.Bölge'de en fazla atığı % 27,98 oranıyla diğer yanmayan atıkların oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bölge içinde geri dönüştürülebilir atığın oranı ise %67,1 olarak bulunmuştur. Bölgede kompostlanabilir atık oranı ise %4,23'tür.

2.Bölge'de en fazla atığı % 37,37 oranıyla mutfak atıkların oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bölge içinde geri dönüştürülebilir atığın oranı ise %58,68 olarak bulunmuştur. Bölgede kompostlanabilir atık oranı ise %37,37'dir.

3.Bölge'de en fazla atığı % 29,63 oranıyla cam atıkların oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bölge içinde geri dönüştürülebilir atığın oranı ise %74,16 olarak bulunmuştur. Bölgede kompostlanabilir atık oranı ise %17,14'tür.

4.Bölge'de en fazla atığı % 30,58 oranıyla mutfak atıkların oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bölge içinde geri dönüştürülebilir atığın oranı ise %62,07 olarak bulunmuştur. Bölgede kompostlanabilir atık oranı ise % 33,61'dir.

5.Bölge'de en fazla atığı % 57,13 oranıyla cam atıkların oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bölge içinde geri dönüştürülebilir atığın oranı ise % 97,05 olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmada bölgede kompostlanabilir atık tespit edilmemiştir.

6.Bölge'de en fazla atığı % 40,53 oranıyla cam atıkların oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bölge içinde geri dönüştürülebilir atığın oranı ise %98,81 olarak bulunmuştur. Bölgede kompostlanabilir atık oranı ise % 0,36'dır.

7.Bölge'de en fazla atığı % 37,52 oranıyla cam atıkların oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bölge içinde geri dönüştürülebilir atığın oranı ise %85,28 olarak bulunmuştur. Bölgede kompostlanabilir atık oranı ise % 14,72'dir.

8.Bölge'de en fazla atığı % 53,24 oranıyla cam atıkların oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bölge içinde geri dönüştürülebilir atığın oranı ise %98,03 olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmada bölgede kompostlanabilir atık tespit edilmemiştir.

9.Bölge'de en fazla atığı % 28,05 oranıyla metal atıkların oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bölge içinde geri dönüştürülebilir atığın oranı ise %67,64 olarak bulunmuştur. Bölgede kompostlanabilir atık oranı ise % 26,57'dir.

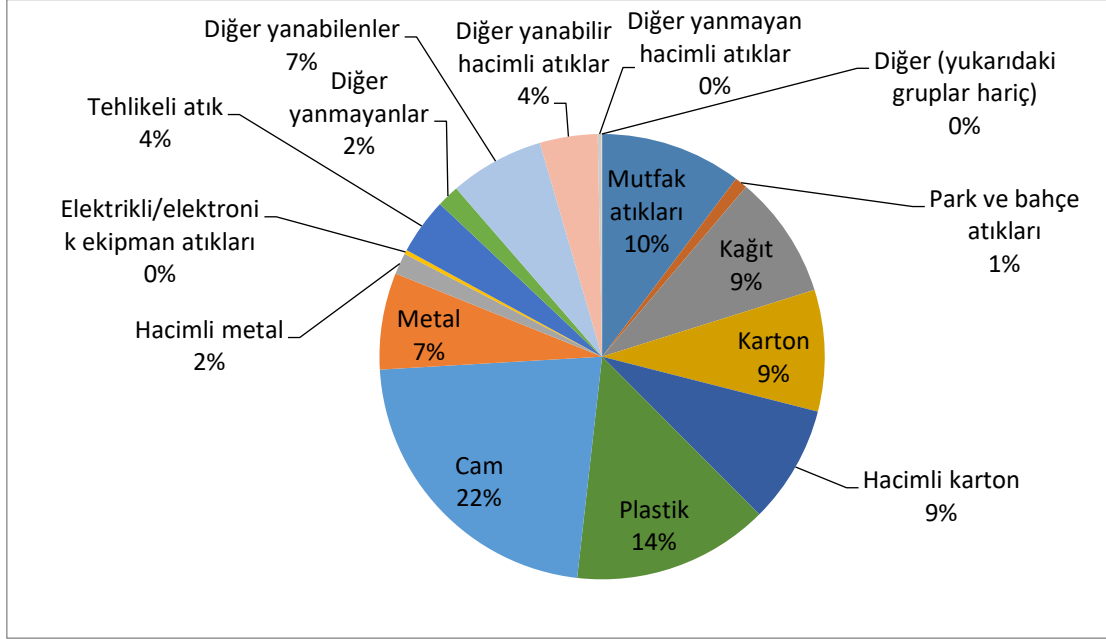
10.Bölge'de en fazla atığı % 16,67 oranıyla diğer yanabilen atıkların oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bölge içinde geri dönüştürülebilir atığın oranı ise %61,79 olarak bulunmuştur. Bölgede kompostlanabilir atık oranı ise %2,06'dır.

Tablo 4'te görüldüğü gibi yapılan ölçümler sonucunda 10 bölgeyi içeren kampüs alanında günlük ortalama 29,175 kg atığın atıldığı görülmüştür. Kampüs genelinde atık dağılım pasta grafiği Şekil 4'te verilmiştir.

**Tablo 4 – Bursa Uludağ Üniversitesi Görükle Kampüsü Günlük Ortalama Atık Değerleri (kg/gün)**

Atık Bileşenleri	Kg/gün	%
	Günlük Ortama Atık Miktarı	Yüzde
Mutfak atıkları	2,997	10,271
Park ve bahçe atıkları	0,269	0,921
Kağıt	2,613	8,955
Karton	2,574	8,824
Hacimli karton	2,496	8,556
Plastik	4,161	14,263
Cam	6,501	22,284
Metal	2,048	7,018
Hacimli metal	0,451	1,546
Elektrikli/elektronik ekipman atıkları	0,089	0,304
Tehlikeli atık	1,188	4,073
Diğer yanmayanlar	0,471	1,615
Diğer yanabilenler	2,000	6,856
Diğer yanabilir hacimli atıklar	1,225	4,197
Diğer yanmayan hacimli atıklar	0,081	0,278
Diğer (yukarıdaki gruplar hariç)	0,011	0,039

GENEL TOPLAM	29,175	100,000
--------------	--------	---------



Şekil 4 - Görükle Kampüsü Günlük Ortalama Atık İçeriği (yüzde)

Tartım sonuçları doğrultusunda kampüste galvanizli çöp kutularına günlük ortalama 20,84 kg geri dönüştürülebilir atık atıldığı görülmüştür. En fazla atılan geri dönüştürülebilir atık türü cam olup, ikinci sırada plastik ve ardından kağıt atıkları olmuştur. Atılan bu atıkların %71,45 oranında geri dönüştürülebilir ve %11,19 oranında kompostalanabilir olduğu tespit edilmiştir.

Atıklara ilişkin hacim, yoğunluk, nem oranları ve enerji değerleri hesaplanarak Tablo 5'te verilmiştir.

Atıkların yoğunluk - Hacim değerleri;

$$\rho = m/V \quad (1)$$

$\rho$  = Yoğunluk ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$m$  = Kütle (kg)

$V$  = Hacim ( $\text{m}^3$ )

Atıkların nem değerleri;

$$M = [(w - d)/w] * 100 \quad (2)$$

$M$  = Nem içeriği (%)

$w$  = Başlangıçta alınmış örneğin ağırlığı (kg)

$d$  =  $105^\circ\text{C}$ 'de kurutulduktan sonra örneğin ağırlığı (kg)

Atıkların enerji değerleri;

$$E \text{ atık} = \text{Toplam atık miktarı} * \text{Atık türünün yüzdesi} * \text{Birim enerji değeri} \quad (3)$$

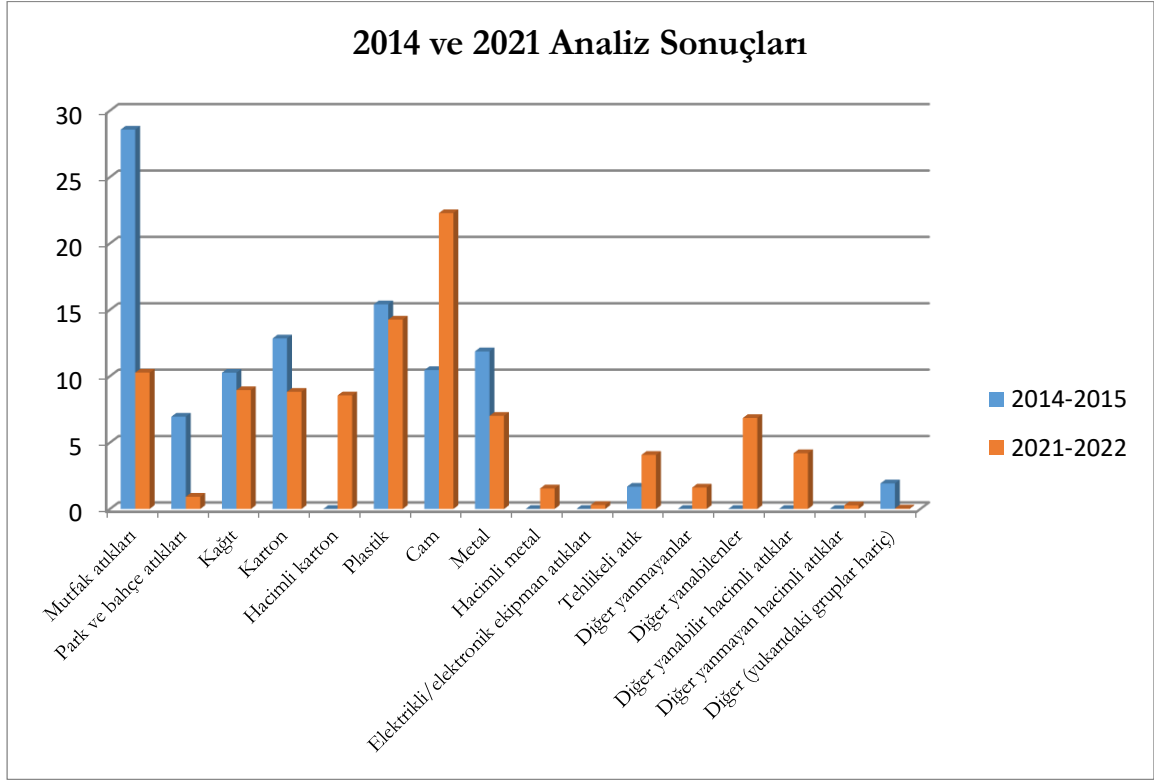
E = Enerji değeri (kj/kg)

**Tablo 5 – Atıklara Ait Özgül Ağırlık, Nem ve Enerji İçeriği**

Atık Bileşenleri	Ortalama Atık Miktarı (kg/gün)	Özgül Ağırlık		Nem İçeriği			Enerji İçeriği	
		Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Hacim (m <sup>3</sup> )	Nem Oranı (%)	Nem ağırlık (kg)	Kuru Ağırlık (kg)	Birim Enerji (kj/kg)	Toplam Enerji (kj)
Mutfak atıkları	2,997	290	0,0103	70	2,0976	0,8990	4650	13933,725
Park ve bahçe atıkları	0,269	105	0,0026	60	0,1613	0,1075	6500	1746,875
Kağıt	2,613	85	0,0307	6	0,1568	2,4558	16750	43759,375
Karton	2,574	50	0,0515	5	0,1287	2,4455	16300	41960,275
Hacimli karton	2,496	50	0,0499	5	0,1248	2,3714	16300	40688,875
Plastik	4,161	65	0,0640	2	0,0832	4,0780	32600	135656,750
Cam	6,501	195	0,0333	2	0,1300	6,3712	150	975,188
Metal	2,048	320	0,0064	3	0,0614	1,9861	700	1433,250
Hacimli metal	0,451	90	0,0050	3	0,0135	0,4375	700	315,700
Elektrikli/elektronik ekipman atıkları	0,089	181	0,0005	1	0,0009	0,0879	35159	3120,359
Tehlikeli atık	1,188	300	0,0040	0,54	0,0064	1,1818	9750	11585,438
Diğer yanmayanlar	0,471	300	0,0016	10	0,0471	0,4241	6978	3288,383
Diğer yanabilenler	2,000	119	0,0168	15	0,3000	1,7002	6978	13957,745
Diğer yanabilir hacimli atıklar	1,225	119	0,0103	15	0,1837	1,0408	6978	8544,561
Diğer yanmayan hacimli atıklar	0,081	300	0,0003	10	0,0081	0,0731	6978	566,963
Diğer (yukarıdaki gruplar hariç)	0,011	130	0,0001	15	0,0017	0,0096	6978	78,503
GENEL TOPLAM	29,175	-	0,2874	-	3,5052	25,6695	-	321611,962
		Yoğunluk:	101,5253	% Nem Miktarı		12,01462	Birim Enerji	11023,6407
				% Kuru Madde		87,98538	Enerji Kuru Madde	12528,9453

Çalışmada kampüs alanı içerisinde yıllar arasında değişen atık oluşumu görebilmek için Salihoğlu'nun(2015) çalışması ile proje değerleri karşılaştırılmıştır. Mevcut projede çalışma alanları belirlenirken Salihoğlu'ndan yararlanılmış ve bölgeler için aynı sınırlar konulmuştur. İki proje arasında karşılaştırma yapılırken pandemi nedeniyle çalışmaya dahil edilmeyen bölgeler Salihoğlu'nun projesinden de çıkarılmıştır. İki çalışmaya ait grafik gösterimi Şekil 5'te verilmiştir.





Şekil 5 – 2014 ve 2021 Yılları Madde Grubu Analizi Sonuçları

2015 ve 2021 yılında yapılan iki çalışmanın sonuçlarına bakıldığında mutfak atıkları ve park bahçe atıkları için belirgin bir azalma görülmektedir. Pandemi sürecinden kaynaklı online eğitime geçilmesi, kampüste yemekhanenin kapatılması gibi nedenlerden dolayı bu düşüş anlamlandırılabilir. Ayrıca cam atıklarında 2014 yılına göre bir artış gözünürken, diğer ambalaj malzemelerinden sayabileceğimiz karton, plastik ve metal atıklarının eski sonuçlara yakın bir seviyede olduğu görülmektedir. Pandemi ile birlikte evde kalarak online eğitim sürecine geçilmesinden kaynaklı bu değerlerin düşmesi beklenebilirdi, ancak bu dönemde bireyler daha fazla hazır gıdaya yönelmiş ve bu da ambalaj atıklarında yine yüksek oranların görülmesine neden olmuştur.

## Sonuç ve Tartışma

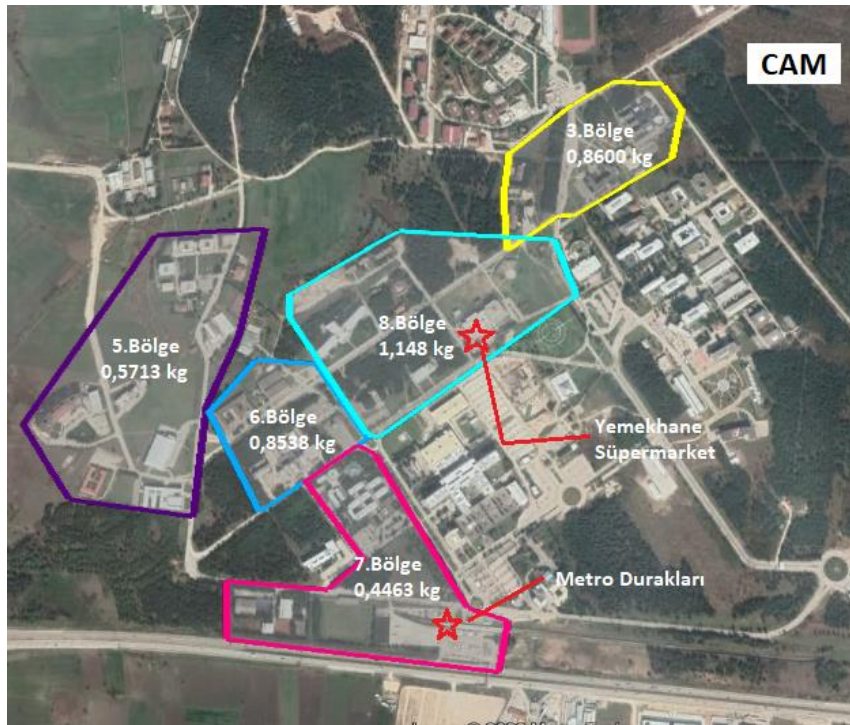
Artan nüfus ile oluşan ihtiyaçların karşılanması sonucu meydana gelen atık problemi yönetilmesi zor bir hal almıştır. Yetersiz geri kazanım uygulamaları gibi yanlış atık yönetimi ile hammadde kayıpları da artmaktadır. Bu kayıpların azaltılması ve geri kazanım uygulamalarının uzun vadede etkili olabilmesi için, atığın oluşum anında önlenmesini hedefleyen sıfır atık yönetimi karşımıza çıkmaktadır (Cheremisinoff, 2003:14-491). Atıkların oluşum anında önlenmesi ile kontrol ve bertaraf edilecek olan atık miktarında azalma sağlanacağı gibi doğal kaynakların gereksiz tüketimi engellenerek sürdürülebilir bir çevre ile dünyanın korunması sağlanacaktır.

Geleceği şekillendirecek yeni nesilleri yetiştiren üniversiteler, çevreye karşı sorumluluk konusunda etik ve ahlaki değerlere sahip olduğundan, uygun atık yönetim planı ile çevreyi korurken, atık yönetimine ayrılan mali kaynaklar azaltılacak, böylelikle öğrencilere ve topluma örnek olacaktır (De Vega vd., 2008: 22).

“Atık oluşumunun önlenmesinden başlayarak, atıkların azaltılması, kaynağında ayrı biriktirilmesi, geçici depolanması, ayrı toplanması, taşınması ve işlenmesi süreçlerinin hepsini içine alan, fayda ve maliyet unsurları göz önünde bulundurularak oluşturulan yönetim sistemi” olarak tanımlanan sıfır atık yönetim sisteminin üniversitelerde kurulması ile sürdürülebilir kampüs olma yolunda büyük bir adım atılmış olacaktır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2019).

Projede Bursa Uludağ Üniversitesi Görükle Kampüsü içerisinde atık yönetiminin sürdürülebilir ve doğru şekilde yönetilebilmesi için oluşan katı atıkların miktarı ve içeriğinin tespit edilebilmesi amacıyla madde grubu analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmanın sonuçları incelendiğinde geri dönüştürülebilir atık sınıfına giren kağıt, karton, hacimli karton, plastik, cam, metal ve hacimli metal atıklarının yüksek oranda çöpe atıldığı görülmüştür.

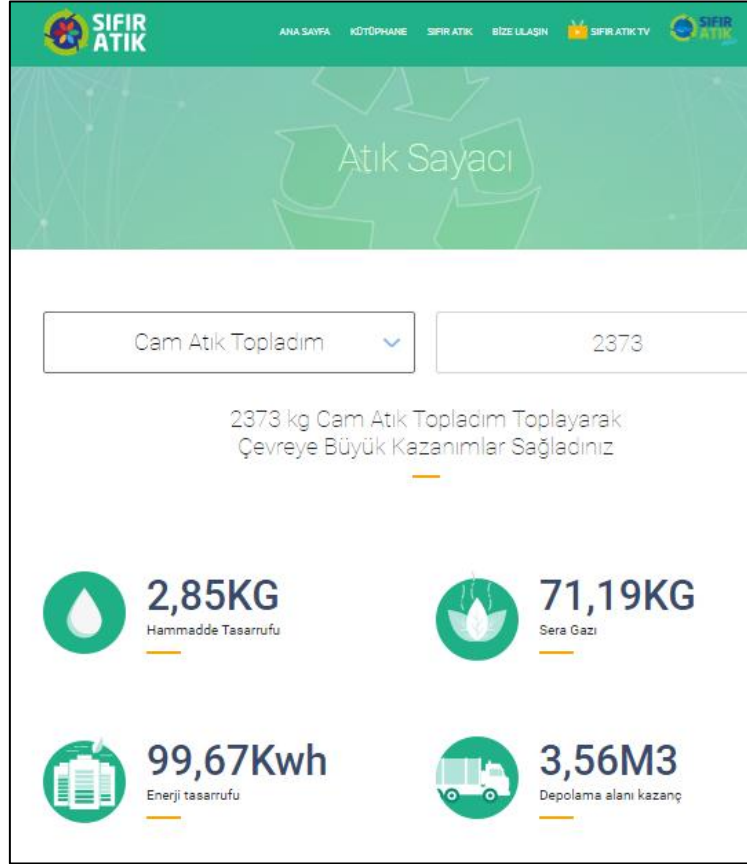
Projeye konu 10 bölgenin 5’inde en fazla oluşan atık türü cam olarak kaydedilmiştir. Bu bölgelerin konumları incelendiğinde, kampüsün merkezi olan 8. bölgede yemekhanenin ve bir süpermarketin bulunması, bireylerin bu iki noktadan almış oldukları içecekleri hareket halinde tüketerek, oluşan cam atıklarını bu bölge ve bu bölgeye komşu olan 3, 5, 6 ve 7. bölgelerdeki galvanizli konteynerlere atmış oldukları öngörülmektedir. Bölge 3, bölge 5, bölge 6, bölge 7 ve bölge 8’in gösterdiği harita Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6 – Cam Atığının Yoğun Olduğu Bölgeler

Analiz esnasında cam atıklarının çoğunun içecek şişelerinden kaynaklandığı görülmüştür. Bu bölgeler kampüsü dolaşan, en işlek ana yolun etrafında yer almaktadır. Bu nedenle bu yol hattına fazladan cam atık kutusu konulması faydalı olacaktır. Cam atıklarının doğada kaybolma süresi 4000 yıl olup, orman yangınlarına sebebiyet verdiklerinden dolayı doğru bir şekilde yönetilmeleri çok önemlidir (Mehmet Yıldırım Gündüz, 2021; 32). Öte yandan cam atıkları kalite kaybı olmadan sonsuz defa geri dönüştürülerek ekonomiye ve çevreye yarar sağlayabilen bir atık türüdür. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yürütülen sıfır atık projesi kapsamında kullanıcıya sunulan atık sayacı kullanılarak, Görükle Kampüsü’nde 1 yılda ortalama 2.373 kg cam

atığının oluşacağı varsayımıyla, oluşması beklenen kazanımlar Şekil 7'de verilmiştir (<https://sifiratik.gov.tr/sifir-atik/atik-sayaci>).



Şekil 7 – Atık Sayacı – Cam Atık Kazanımları

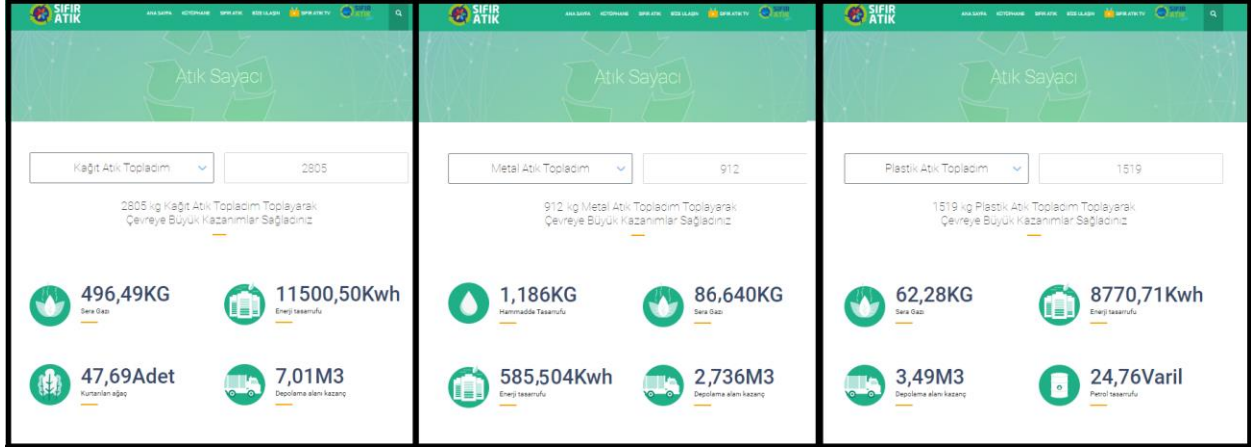
Dokuzuncu bölgede en fazla metal atığı oluşmuştur. Bu atık çeşitli içecek kutularının ambalajlarından kaynaklanmaktadır. Bölgede bulunan gıda işletmelerinde içilen içecekler işletmenin içerisinde kalmakta ve kafe görevlisi tarafından işletmeye ait atık kutusuna atılmaktadır. Bu yüzden gıda işletmelerinin bulunduğu alanlara fazladan geri dönüşüm kutusunun konulması gerekmektedir.

Çalışma bölge bazlı incelendiğinde yurtlar bölgesini temsil eden 2.bölge ve kampüsün Görükle Mahallesi çıkışını temsil eden 4. bölgede mutfak atıklarının en yüksek değerleri aldığı görülmektedir. İkinci bölgede yurtlara özel yemek hizmeti bulunması burada fazla mutfak atığının oluşmasına sebep olmaktadır. Bunun yanında bölgenin kampüs merkezine oranla daha yüksek kotta olması nedeniyle, ihtiyaç durumunda yeniden merkeze yürümek adına, bireyler yurda girmeden çeşitli gıda alışverişi yapmaktadırlar. Bu durumun mutfak atıklarının daha fazla oluşması için bir potansiyel yarattığı öngörülmektedir. Dördüncü bölge ise kampüs alanının en uç noktası olup, şehir bölgesine daha yakındır. Bu bölgede yeterli gıda işletmesinin olmaması ve diğer bölümlere uzak olmasıyla, kampüs dışından veya kampüsün merkez bölgesinden buraya çok fazla gıda getirilmektedir. Bu durum da mutfak atıklarının fazla oluşması için bir sebep olarak gösterilebilir.

Bölgesel çapta hiçbir alanda plastik ve kağıt atığı en yüksek sıralamayı almasa da kampüs geneline bakıldığında plastik atıklarının ikinci, kağıt atıklarının ise üçüncü sırada olduğu görülmüştür. Pandemi sürecinde bireylerin tüketim davranışlarında değişimler olmuş ve düzenli çalışmayan yemekhane nedeniyle paket servis hizmeti ile daha çok kapalı gıdalara yönelmiştir. Bu durum plastik gibi ambalaj atıklarının miktarını arttırmıştır. Kağıt atıklarının fazla olması ise eğitim

kurumları için normal karşılanabilir ancak geleceğe yön vermesi beklenen üniversitelerde bu durum normalleştirilmemeli ve yeniden kullanım, geri dönüşüm yöntemleri uygulanmalıdır.

Kampüs içerisinde oluşan diğer geri dönüştürülebilir atıklar için de 1 yılın sonunda elde edilebilecek kazançlar atık sayacında incelenmiş olup Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8 – Atık Sayacı – Kağıt, Metal, Plastik Atık Kazanımları

Kampüs içerisinde çok fazla ekonomik değeri olan geri dönüştürülebilir atık çöpe atılmaktadır. Bu problemi sürdürülebilir bir şekilde çözmek için, öncelikle tüm kampüs paydaşlarına eğitim verilmelidir. Bu eğitimler belirli periyotlarla tekrarlanmalı ve bireylerin atık yönetimine karşı yaklaşımı anket çalışmalarıyla takip edilmelidir. Bu eğitim çalışmaları hem aktif bir şekilde konferans salonunda yönetilmeli, hem de okul içi reklam panolarında yerini almalıdır. El afişleri, broşürleri çok fazla atık oluşmasına sebep olmaktadır ve çoğunluğu incelenmeden çöp kutusuna veya etrafa atılmaktadır. Bu yüzden basılı materyal hazırlamak yerine, kampüsteki mevcut panolar, televizyon ekranları değerlendirilmelidir. Ayrıca üniversitenin resmi internet sitesi üzerinde çalışma yapılarak, ana sayfaya kampüsteki çevresel faaliyetleri gösteren, özel bir sayfa için direkt bir yönlendirme butonu konulmalıdır. Böylece bireyler siteye girdiğinde bu buton dikkat çekecek ve menüler arasında dolanmadan, doğrudan çevre sayfasına yönlendirilecektir. Bunun için Güzel Sanatlar Fakültesi ile ortak çalışma yapılarak, ilgi çekici, dinamik görsellerle üniversite paydaşlarının atık yönetimine daha fazla ilgi duymasına sağlanabilecektir.

Eğitim çalışmalarının yanında geri dönüşüm işlemini daha cazip hale getirmek için kampüs içinde depozito sistemi uygulanabilir. Özellikle ürün ambalajları için kullanılabilir olan depozito uygulaması ile üniversite kantinlerinde indirimli ürün alışı, yemekhane kartına fazladan yemek hakkı verilmesi gibi ödüllerle sistem özellikle öğrenciler için daha ilgi çekici kılınabilir. Ayrıca kampüs içi ulaşım için özel bisiklet ağı kurularak, bu imkanlardan ücretsiz faydalanma olanağı sağlanabilir. Eski kitaplar, ders notları gibi artık ihtiyaç duyulmayan kağıt atıkları, kütüphaneye konulacak özel biriktirme alanına getirilebilir. Atık miktarı ve atığı getiren kişilerin bilgileri alınarak, belirli bir dönem sonunda bu kişi ödüllendirilebilir.

Geri dönüştürülebilecek atıkların yanında, Uludağ Üniversitesi sahip olduğu geniş ormanlık ve yeşil alan sayesinde kompost çalışmalarının yürütülebilmesi için çok uygun bir kampüstür. Yemekhane'den oluşan gıda atıkları ve kampüs içindeki yeşil alanların yönetimiyle ortaya çıkan park bahçe atıkları için özel çalışma yapılmalı ve bu atıkları değerlendirmek üzere bir kompost tesisi kurulmalıdır. Bu çalışma için Ziraat Fakültesi ve Veteriner Fakültesi ile disiplinler arası çalışma yapılmalıdır. Böylece bu atıklar değerlendirilerek faydalı bir ürün haline gelecek ve kompost ürünlerinin satılmasıyla ekonomik kazanç da sağlanmış olacaktır.

Gün geçtikçe bireyler değişmekte ve oluşan atıklar da aynı oranda değişmektedir. Atıkların uygulanabilir ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi için bu değişimler izlenmelidir. Aksi takdirde atığı tanımadan yönetmeye çalışmak uygulanabilir bir yöntem olmayacaktır. Üniversiteler yarınları şekillendirecek bireyleri yetiştiren kurumlardır. Daha temiz bir hava, berrak bir su ve yeşil bir dünya için atık yönetimi konusunda bugünden gerekenler önlemler alınmalıdır.

Bu çalışma ile Bursa Uludağ Üniversitesi Görükle Kampüsü'nde atık karakterizasyon çalışması yapılmış ve oluşan atıkların sağlıklı yönetilebilmesi için çözümler aranmıştır. Tüm paydaşların birlikte çalışarak, hayatın her anında atık yönetim uygulamalarını benimseyerek uygulamasıyla sürdürülebilirlik sağlanmış olacaktır.

## Kaynakça

- Adeniran, A. E., Nubi, A. T., & Adelofo, A. O. (2017). Solid waste generation and characterization in the University of Lagos for a sustainable waste management. *Waste Management*, 67, 3-10.
- Alshuwaikhat, H. M., & Abubakar, I. (2008). An integrated approach to achieving campus sustainability: Assessment of the current environmental management practices. *Journal of Cleaner Production*, 16(16), 1777-1785.
- Bogusz, M., Matysik-Pejas, R., Krasnodebski, A., & Dziekański, P. (2021). The concept of zero waste in the context of supporting environmental protection by consumers. *Energies*, 14(18), 5964.
- Butti, L. (2012). Birth and death of waste. *Waste Management*, (9), 1621-1622.
- Chandrappa, R., & Das, D. B. (2012). *Solid waste management: principles and practice*. Springer Science & Business Media.
- Cheremisinoff, N. P. (2003). *Handbook of solid waste management and waste minimization technologies*. Butterworth-Heinemann.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2012. Türkiye Cumhuriyeti İklim Değişikliği Planı 2011-2023.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2019. Sıfır Atık Yönetmeliği, 12.07.2019, RG No: 30829
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı "Sıfır Atık". Erişim: 28.04.2022. <https://sifiratik.gov.tr/sifir-atik/atik-sayaci>.
- Davarcıoğlu, B., & Lelik, A. (2017). Sanayide iklim değişikliğine uyum ve eko-verimlilik (temiz üretim) programı: örnek uygulamalar. *Mesleki Bilimler Dergisi (MBD)*, 6(2), 94-105.
- De Vega, C. A., Benítez, S. O., & Barreto, M. E. R. (2008). Solid waste characterization and recycling potential for a university campus. *Waste Management*, 28, S21-S26.
- European Parliament Council (2008). Directive 2008/98/EC of the European Parliament And Of The Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain directives. *Official Journal of the European Union*.
- Gharfalkar, M., Court, R., Campbell, C., Ali, Z., & Hillier, G. (2015). Analysis of waste hierarchy in the European waste directive 2008/98/EC. *Waste Management*, 39, 305-313.
- Gidakos, E., Havas, G., & Ntzamilis, P. (2006). Municipal solid waste composition determination supporting the integrated solid waste management system in the island of Crete. *Waste Management*, 26(6), 668-679.
- Gündüz, A. Y. (2017). Ülke kalkınmasında üniversitelerin rolü: doğu ve güneydoğu anadolu üniversiteleri örneği. *Sakarya İktisat Dergisi*, 6(1), 56-69.

Gündüz, M. Y. (2021). Geri dönüşebilir atıkların kontrolü ve sıfır atık projesi uygulamaları: Necmettin Erbakan Üniversitesi örneği (Yüksek Lisans Tezi), Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya.

Gönüllü, G. (2021). Çöp dökmekten atık yakmaya: İZAYDAŞ atık yakma tesisleri. *Çağdaş Yerel Yönetimler*, 30(2), 129-162.

Jaafar, I., Ibrahim, T. A., Ila, N. H. M., & Zaki, N. S. M. (2017). Waste audit in UMT campus: generation and management of waste in cafeteria and food kiosk. *Journal of BIMP-EAGA Regional Development*, 3(1), 84-94.

Kemirtlek, A. Entegre katı atık yönetimi. İstaç A.Ş. Erişim tarihi:28.04.2022 <http://www.istac.com.tr/media/18153/Entegre%20Katı%20Atık%20Yönetimi.pdf>.

Rahman, M. A., Hossain, M. L., Rubaiyat, A., Mamun, S. A., Khan, M. Z. A., Sayem, M. M., & Hossain, M. K. (2013). Solid waste generation, characteristics and disposal at Chittagong university campus, Chittagong, Bangladesh. *Discovery Science* (Vol. 4, No. 11, pp. 25-30).

Rao, M. N., Sultana, R., Kota, S. H., Shah, A., & Davergave, N. (2016). *Solid and hazardous waste management: science and engineering*. Butterworth-Heinemann.

Rodzi, R. M., Nopiah, Zu. M., Basri, N. E. A. (2019). Analysis of solid waste generation and composition in malaysia TVET campus. *International Journal Of Integrated Engineering*. 11(2), 158-170.

Salihoğlu, K. (2015), Uludağ Üniversitesi Görükle Kampüsünde Atık Yönetim Planının Oluşturulması. B.U.Ü Bilimsel Araştırma Projesi

Shekdar, A. V. (2009). Sustainable solid waste management: An integrated approach for Asian countries. *Waste Management*, 29(4), 1438-1448.

Stephens, J. C., Hernandez, M. E., Román, M., Graham, A. C., & Scholz, R. W. (2008). Higher education as a change agent for sustainability in different cultures and contexts. *International Journal Of Sustainability In Higher Education*. 9(3), 317–338.

Townsend, T. G., Powell, J., Jain, P., Xu, Q., Tolaymat, T., & Reinhart, D. (2015). *Sustainable practices for landfill design and operation*. Springer.

Türkiye Belediyeler Birliği (2015). *Katı atık geri dönüşüm ve arıtma teknolojileri*. Ankara, 298 s

## Nötr Akımın Dengesiz Yükler ve Harmonikler ile Etkileşimi

Faruk KÜRKER<sup>1</sup>

### Giriş

Güç elektroniği teknolojisinin gelişmesi sebebiyle, doğrusal olmayan cihazlar yaygın olarak kullanılmaktadır ve bu da ciddi harmonik kirliliklere yol açmaktadır. (Veeraiah, 2014:1). Diğer bir ifade ile doğrusal olmayan yüklerin kullanılması, güç dağıtım sistemlerinde harmoniklerin ana nedenidir. Bu nedenle, şebeke çıkışlarında voltaj bozulması ve dağıtım hatlarında aşırı nötr akım ortaya çıkmış ve dağıtım sistemlerinde bir takım ciddi sorunlara yol açmıştır (Fukami vd., 2001:1; Zadeh ve Farjah, 2009:1).

Harmonik akımların mevcut olması, cihaz arızalarına ve hatta yangınlara neden olabilir. Harmonik akımlar ayrıca verimin düşmesine neden olarak enerji israfına ve hatta ekstra işletme maliyetlerine neden olur. Tüm tek fazlı lineer olmayan yükler, dağıtım sisteminde aynı harmonik akımların akmasına neden olur ve tekil harmonikler (3., 5., 7., 9., 11., 13., 15. vb.) sistemde üretilir. Üç bölünebilen ve “triplens” (3., 9., 15., 21., 27. vb.) adı verilen harmonikler dışında, harmonik akımlar nötr telde birbirini götürür. Elektrik dağıtım sisteminde akan triplen harmonik akımların neden olduğu problemlerin başında, dağıtım sistemi boyunca  $I^2R$  kayıplarından kaynaklanan ısıdır. Tellerden geçen ekstra akım, tellerin ısınmasına neden olur ve sistem küçük kesitli nötr iletkenleriyle yapılmışsa ve yüksek triplen harmonik akımlar geçiyorsa, teller özellikle bağlantılarda eriyip yangınlara neden olacak kadar ısınabilir. Harmonik akımın neden olduğu ısı, görünüşte rastgele devre kesicinin açılmasına ve hatta arızaya neden olabilir (Lowenstein, 2008:1-2).

Nötr akımın varlığı kısaca hatlarda ve transformatörlerde gerçek güç kayıplarının artmasına neden olur. Nötr akım oluşum nedenlerinden olan triplen harmonikler, dengesiz yükler ve faz dengesizliği ile bunların azaltılması için birçok çalışma yapılmıştır.

2009 yılında yapılan çalışmada, yük dengesizliği ve doğrusal olmayan yüklerin nötr iletken akımı üzerindeki etkisinin analizi çalışması yapılmıştır. Ayrıca yük akımı harmonikleri, ticari yükü besleyen şebekede nötr iletken akımının rms değeri üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu elde etmişlerdir (Stojanovic vd., 2009:1). 2014 yılında, dağıtım sistemlerinde faz dengesizliğini ve nötr hat akımı harmoniklerini azaltmak için geleneksel üç fazlı transformatörden türetilen bir faz dengeleyici kullanmışlardır (Gupta vd., 2014:1). 2015 yılında yapılan çalışmada, güç dağıtım sistemlerinde artan harmonikler ve yük dengesizliği ve bunların eşmerkezli nötr kablolar üzerindeki etkilerini belirlemek için çok topraklı nötr sistemler için eşmerkezli nötr kabloların kapasitesini tahmin etmek için bir yöntem sunmuşlardır. Sadece faz akımının toplam harmonik distorsiyonu (THD) ve sıfır dizi akım oranının gerekli olduğu kabloda izin verilen akım şiddeti ve kablo yüklenme tahmini için basitleştirilmiş bir yöntem olarak bir çizelge sunmuşlardır (Yong ve Xu, 2015:1). 2017'deki çalışmada, üç fazlı dört telli elektrik şebekesindeki faz dengesizliği ve harmoniklerin etkisi incelemiştir. Faz akımlarında önemli harmonikler mevcut olduğunda, nötr tel akımının faz akımlarının değerinden çok daha yüksek çıktığını tespit etmişlerdir (Belitckiy ve Voytyuk, 2017:1). 2018 yılındaki çalışmada ise, 3 fazlı 4 telli güç kaynağının matematik modelini kullanarak, faz akımı dengesizliği faktörünün ve akımın toplam harmonik bozulmasının nötr akımın değeri üzerindeki etkisini gözlemlemişlerdir (Belitskiy vd., 2018:2).

---

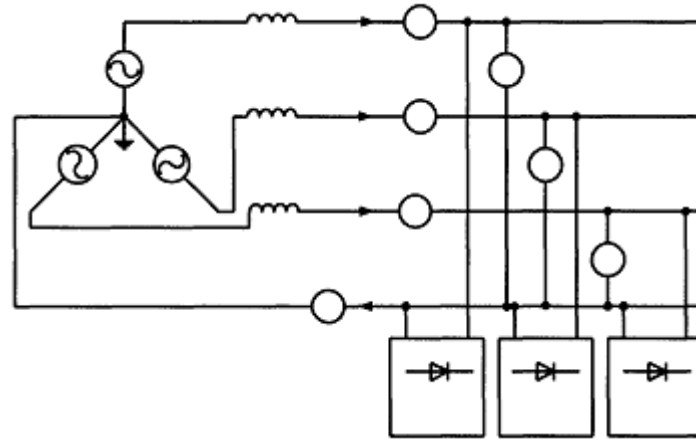
<sup>1</sup> Faruk KÜRKER, Dr. Öğr. Üyesi, Adıyaman Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği



Bu çalışmada bir endüstri tesisinde üç fazda (FazA, FazB ve FazC) dört ölçüm yapılarak güç parametreleri ölçülmüştür. Ölçülen parametrelerden aktif güç ve toplam harmonik bozulma değerleri (özellikle üç ve üçün katı olan harmonik değerleri) göz önünde bulundurularak nötr akıma etkisi gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın amacı, dengesiz yüklerin ve doğrusal olmayan yüklerin nötr akımına etkilerini değerlendirmektir.

## YÖNTEM

Yapılan çalışmada üç fazda dört ölçüm ile güç parametrelerinin durumu ve tüm fazlarda harmonik bozulmanın spektrumu tespit edilerek yükteki dengesizliklerle, üçlü (triplen) harmoniklerin büyüklüğüne bağlı olarak nötr akım değeri gözlemlenmiştir. Şekil 1'de üç fazlı dört telli elektrik güç dağıtımının ölçümleri için şematik diyagram görülmektedir.



Şekil 1. Üç fazlı dört telli elektrik güç dağıtımının ölçümleri için şematik diyagram (AbuBakar, 2008:2)

Tesiste güç analizörü ile dört ölçüm üç faz için yapılmıştır. Güç analizörü ile gerilim rms ( $U_{rms}$ ) ve akımın rms ( $I_{rms}$ ) (root mean square) değeri, aktif güç (P), akımın toplam harmonik bozulma (%THD<sub>i</sub>) değeri ile güç faktörü (PF) değeri ölçülmüştür. Ayrıca tesislerdeki akım ve gerilim grafiği ile akımın harmonik spektrumu (triplen harmonikler) da gözlemlenmiştir. Yapılan ölçümlerde triplen harmonik değerleri ile fazlardaki aktif güç değerleri ele alınmış ve nötr akımına etkisi değerlendirilmiştir.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

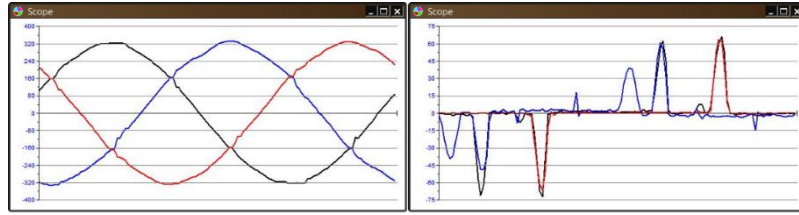
Dört ölçüm için nötr akımı en küçük ve en büyük olan değerdeki bulgular, Şekil 2 ve Şekil 3, (a)'da tüm parametreler, (b)'de gerilim için sinüs dalga şekli, (c)'de akım için sinüs dalga şekli, (d)'de birinci faz için akım harmonik spektrumu, (e)'de ikinci faz için akım harmonik spektrumu ve (f)'de ise üçüncü faz için akım harmonik spektrumu görülmektedir.

Şekil 2'de ve tablo 1'de de görüldüğü üzere en küçük nötr akımına sahip ölçümde, birinci fazda aktif güç değeri 2199 W, ikinci fazda 1975 W ve üçüncü fazda ise 1076 W'tır. Güç değerlerinden de anlaşıldığı üzere fazlarda yüklerin neden olduğu dengesizlik mevcuttur. Triplen harmoniklere bakıldığında ise birinci fazda akımın 3. harmonik mertebesi %8, ikinci fazda %63, üçüncü fazda %98, 9. harmonik mertebesi için sırasıyla %3, %64, %82, 15. harmonik mertebesi

için sırasıyla %4, %30, %58 ve 21. harmonik mertebesi için sırasıyla %7, %29, %32'dir. Yük dengesizliğinden ve triplen harmoniklerin etkisinden kaynaklı olarak ölçülen nötr akımı 39.63 A'dır.

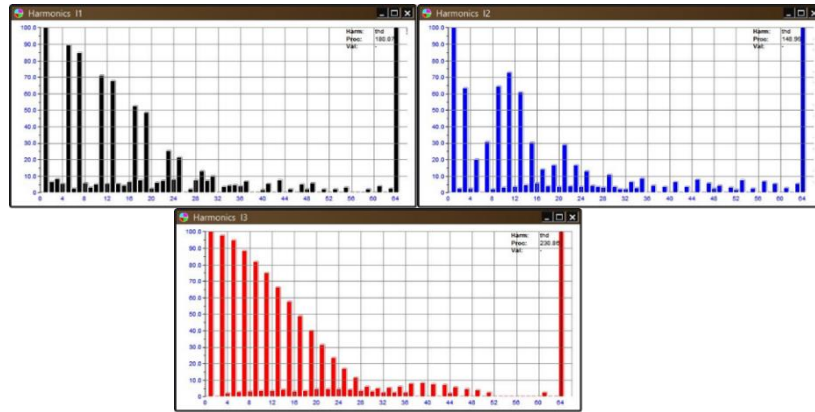
1st phase		2nd phase		3rd phase	
U <sub>rsm</sub>	U <sub>L12</sub>	U <sub>rsm</sub>	U <sub>L23</sub>	U <sub>rsm</sub>	U <sub>L13</sub>
226.703	394.037	227.038	392.144	227.340	393.336
thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)
0	4.582	0	3.527	0	3.279
I <sub>rsm</sub>	P(kW)	I <sub>rsm</sub>	P(kW)	I <sub>rsm</sub>	P(kW)
20.210	-2.199	15.536	1.975	14.423	1.076
thd(I)	Q(kVAR) c	thd(I)	Q(kVAR) i	thd(I)	Q(kVAR) c
180.068	4.019	148.992	2.922	230.865	-3.097
Pf c	dPf	Pf i	dPf	Pf c	dPf
0.480	1.000	0.560	0.998	0.328	0.847
Total info					
Stot(kW)	Qtot(kVAR)	Ptot(kW)	Pfot i	I null	
3.94	3.84	0.85	0.22	39.63	

(a)



(b)

(c)



(d)

(e)

(f)

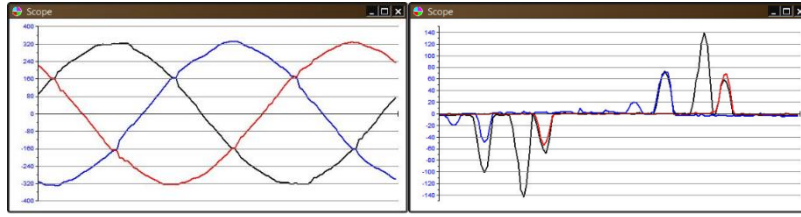
Şekil 2. Tesiste yapılan en küçük nötr akım ölçümünün a) tüm parametreleri b) Gerilim için sinüs dalga şekli c) Akım için sinüs dalga şekli d) birinci fazda akımın harmonik spektrumu e) ikinci fazda akımın harmonik spektrumu ve f) üçüncü fazda akımın harmonik spektrumu

Şekil 3'de ve tablo 2'de de görüldüğü üzere en büyük nötr akımına sahip ölçümde, birinci fazda aktif güç değeri 5727 W, ikinci fazda 1606 W ve üçüncü fazda ise 976 W'tır. Güç değerlerinden de anlaşıldığı üzere fazlarda yüklerin neden olduğu ciddi bir dengesizlik mevcuttur. Triplen harmoniklere bakıldığında ise birinci fazda akımın 3. harmonik mertebesi %48, ikinci fazda %75,

üçüncü fazda %97, 9. harmonik mertebesi için sırasıyla %48, %65, %82, 15. harmonik mertebesi için sırasıyla %22, %44, %59 ve 21. harmonik mertebesi için sırasıyla %11, %27, %35'dir. Yük dengesizliğinden ve triplen harmoniklerin etkisinden kaynaklı olarak ölçülen nötr akımı 53.29 A'dır.

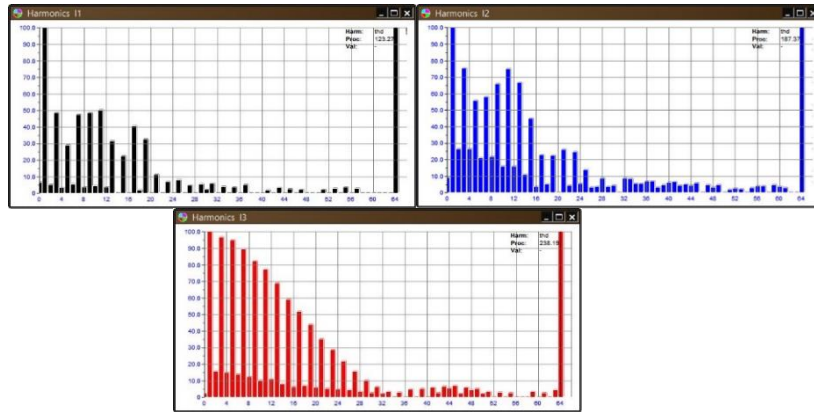


(a)



(b)

(c)



(d)

(e)

(f)

Şekil 3. Tesiste yapılan en büyük nötr akım ölçümünün a) tüm parametreleri b) Gerilim için sinüs dalga şekli c) Akım için sinüs dalga şekli d) birinci fazda akımın harmonik spektrumu e) ikinci fazda akımın harmonik spektrumu ve f) üçüncü fazda akımın harmonik spektrumu

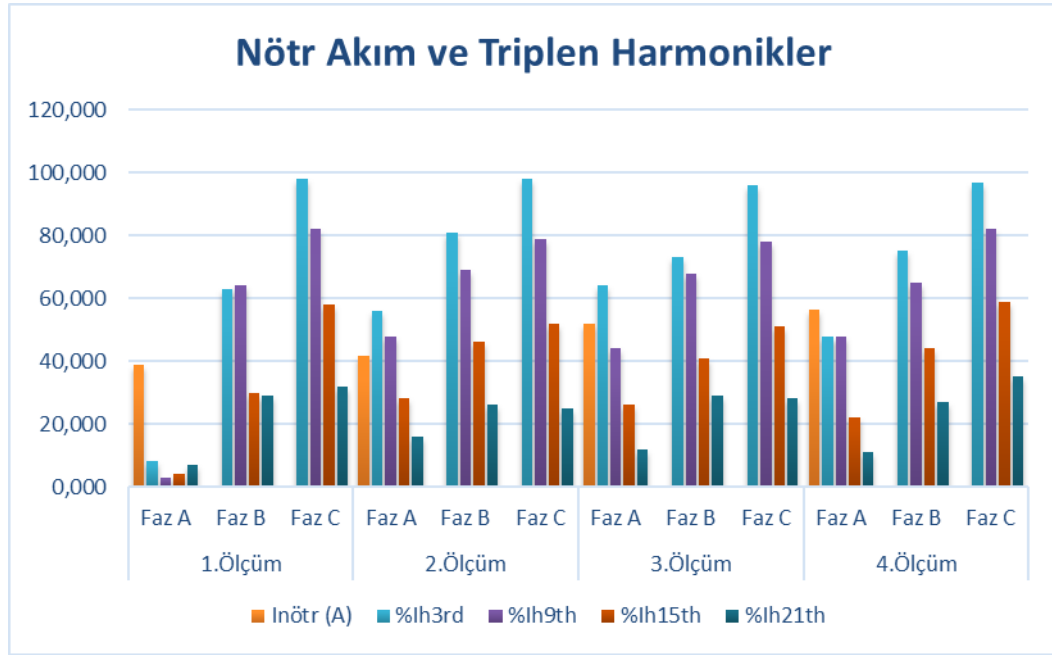
Tablo 1. Üç faz için birinci ve ikinci ölçüm güç parametre değerleri

	1. Ölçüm			2. Ölçüm		
	FazA	FazB	FazC	FazA	FazB	FazC
%Ih <sup>3rd</sup>	8	63	98	56	81	98
%Ih <sup>9th</sup>	3	64	82	48	69	79
%Ih <sup>15th</sup>	4	30	58	28	46	52
%Ih <sup>21th</sup>	7	29	32	16	26	25
%Ih <sup>27th</sup>	2	3	12	6	5	7
%Ih <sup>33th</sup>	3	7	6	2	6	5
P (W)	2199	1975	1076	5150	1743	1148
I <sub>rms</sub> (A)	20.210	15.235	14.423	37.605	16.523	25.897
V <sub>rms</sub> (V)	226.703	227.038	227.340	226.473	226.837	217.293
PF	0.480	0.56	0.341	0.605	0.465	0.334
%THD <sub>I</sub>	180.068	148.992	230.865	132.097	185.526	224.052
I <sub>nötr</sub> (A)		39.63			51.91	

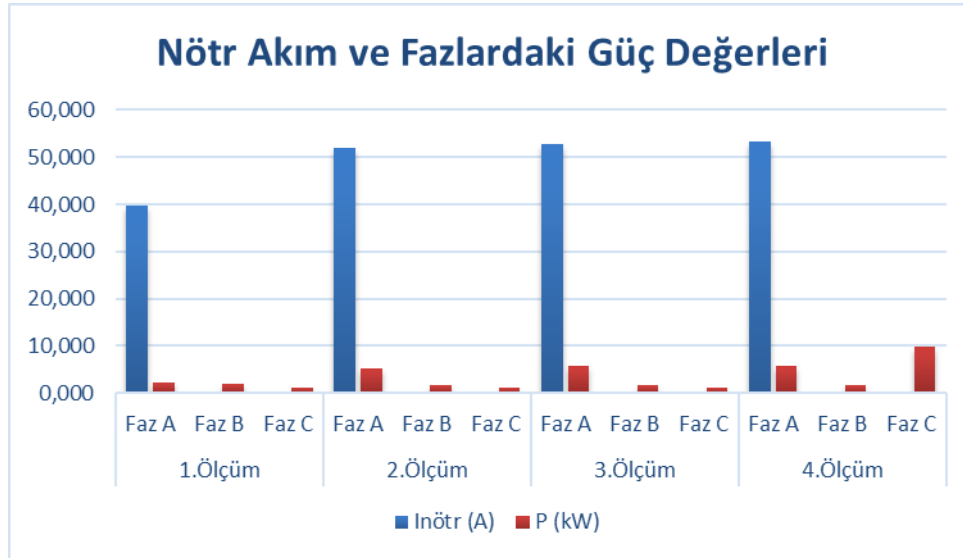
Tablo 2. Üç faz için üçüncü ve dördüncü ölçüm güç parametre değerleri

	3. Ölçüm			4. Ölçüm		
	FazA	FazB	FazC	FazA	FazB	FazC
%Ih <sup>3rd</sup>	64	73	96	48	75	97
%Ih <sup>9th</sup>	44	68	78	48	65	82
%Ih <sup>15th</sup>	26	41	51	22	44	59
%Ih <sup>21th</sup>	12	29	28	11	27	35
%Ih <sup>27th</sup>	7	8	13	6	9	17
%Ih <sup>33th</sup>	6	7	5	4	4	4
P (W)	5827	1575	1025	5727	1606	976
I <sub>rms</sub> (A)	41.933	14.197	26.306	40.091	15.235	13.384
V <sub>rms</sub> (V)	226.352	226.869	213.881	226.949	226.625	226.651
PF	0.999	0.489	0.341	0.629	0.465	0.322
%THD <sub>I</sub>	128.761	176.075	220.291	123.271	187.373	238.192
I <sub>nötr</sub> (A)		52.87			53.29	

Şekil 4’de üç fazdaki tüm ölçümler için nötr akım, %THD<sub>I3</sub>, %THD<sub>I9</sub>, %THD<sub>I15</sub> ve %THD<sub>I21</sub> değişimi görülmektedir. Tablolardan ve grafikten de görüldüğü üzere triplen harmonik değeri arttıkça nötr akım değeri de belirgin oranda artmıştır. Şekil 5’de benzer biçimde her fazdaki aktif güç değerlerindeki değişim yani fazların dengesiz yüklenmesi, artıkça nötr akım değerinde de artış gözlemlenmiştir.



Şekil 4. Tüm ölçümler için üç fazda nötr akım, %THD<sub>13</sub>, %THD<sub>19</sub>, %THD<sub>15</sub> ve %THD<sub>21</sub> değişimi



Şekil 5. Tüm ölçümler için üç fazda nötr akım ve aktif güç (P) değişimi

## SONUÇ

Yapılan çalışmada, tesisteki fazlarda yük dengesizliklerinin ve lineer olmayan yüklerden kaynaklı triplen harmoniklerin nötr akımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ölçümler neticesinde, fazlardaki triplen harmonikler ve güç dengesizliği sebebiyle nötr iletkeninde önemli ölçüde akımın aktığı tespit edilmiştir. Triplen harmonikler ve yüklerdeki dengesizlik arttıkça nötr akım değeri de belirgin oranda artmaktadır.

## KAYNAKÇA

- Abu Bakar M. I., Assessments for the impact of harmonic current distortion of non linear load in power system harmonics, 2008 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, 2008, pp. 1-6, doi: 10.1109/TDC-LA.2008.4641724
- Belitskiy A. A. and Voytyuk I. N., 2017. The question of compensation overload neutral wire current in low voltage electrical networks, 2017 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 2017, pp. 779-783, doi: 10.1109/EIConRus.2017.7910674.
- Belitskiy A. A., Rastvorova I. I. and Denisova O. V., 2018. Nonlinear and unbalanced load as a basic factor of a neutral conductor current, 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 2018, pp. 570-571, doi: 10.1109/EIConRus.2018.8317162.
- Fukami T., Onchi T., Naoe N. and Hanaoka R., 2001. Compensation for neutral current harmonics in a three-phase four-wire system by a synchronous machine, IEMDC 2001. IEEE International Electric Machines and Drives Conference (Cat. No.01EX485), 2001, pp. 466-470, doi: 10.1109/IEMDC.2001.939346.
- Yong J. and Xu W., 2015. A Method to Estimate the Impact of Harmonic and Unbalanced Currents on the Ampacity of Concentric Neutral Cables, in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 31, no. 5, pp. 1971-1979, Oct. 2016, doi: 10.1109/TPWRD.2014.2331852.
- Lowenstein, M. Z., 2008. Eliminating harmonic neutral current problems," 2008 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2008, pp. 1-4, doi: 10.1109/TDC.2008.4517148.
- Stojanovic D. P., Korunovic L. M. and Jovic A., 2009. Measurement and analysis of neutral conductor current in low voltage distribution network, IEEE EUROCON 2009, 2009, pp. 1481-1486, doi: 10.1109/EURCON.2009.5167836.
- Veeraiah S., 2014. Elimination of neutral current harmonics in the three phase four wire system. *Transactions on Engineering and Sciences*, 2 (5), 45-47.
- Zadeh J. K. and Farjah E., 2009. New control technique for compensation of neutral current harmonics in three-phase four-wire systems, 2009 IEEE Bucharest PowerTech, 2009, pp. 1-6, doi: 10.1109/PTC.2009.5281802.

## Biyel Kollarına Uygulanan Isıl İşlem Parametrelerinin Yapıya ve Mekanik Özelliklere Etkilerinin Araştırılması

Onur Cihan BOYUNEĞMEZ<sup>1</sup>  
Gizem KARABULUT<sup>2</sup>  
Nuray BEKÖZ ÜLLEN<sup>3</sup>

### Giriş

Otomobiller hayatımızın her anında kullandığımız vazgeçilmez araçlar haline gelmiştir. Otomobil üretiminde kullanılan malzeme ve teknolojiler istenen tüm özellikleri karşılamak için sürekli gelişme eğilimindedir. Bu anlamda araçlarda en kapsamlı ilgilenilen bölüm motor parçalarının malzemeleri ve üretim teknolojileridir. Otomobil motorları artan pazar rekabetinde müşterilerin seçeneği olabilmek adına iyileştirme sürecini devamlı sürdürür. Bu gelişmeler yakıt tasarrufunu arttırmak, motor ömrünü uzatmak, daha çevreci hale getirmek, yüksek performans ve yüksek verim elde etmek amacına odaklanarak yapılmaktadır. Müşteri açısından yapılan bu geliştirmelerin yanında üreticiler için de üretim maliyeti ve ürün kalitesi önem arz etmektedir. Üreticiler bu kriterleri elde etmek için sürekli yenilenen üretim teknolojilerini proseslerine entegre etmektedirler (Khurmi ve Gupta, 2005: 435). Otomobil motorlarında kuvvet aktarımını sağlayan başlıca parçalar piston, piston pimi, biyel kolu ve kranktır. Yanma odasında hava ve yakıt karışımının yanması sonucu oluşan basıncı pistondan krank miline aktaran biyel kolları sürekli değişen yönlerde kuvvetlere maruz kalmaktadır ve bu nedenden dolayı piston pimi ve krank mili arasında sürekli sürtünme oluşmaktadır. Temelde piston hareketleriyle ivme kazanan biyel kolu doğrusal hareketi dairesel harekete çevirerek bağlantı noktaları oluşturmaktadır. Bu gibi nedenlerden dolayı biyel kollarının deformasyon kabiliyetini doğrudan etkileyen malzeme seçimi ve tasarımı çok önemlidir (Myagkov vd., 2014: 378; Şahin vd., 2022; 71-72).

Biyel kolu üretiminde sektörde kullanılan başlıca üç yöntem vardır. Bu yöntemler; dövme, döküm ve toz metalürjisi teknikleridir (Özdemir, 2013). Dövme ile biyel kolu üretimi gözenekliliği en aza indiren yöntem olduğundan mukavemetin iyileştirilmesi ve yorulma dayanımını olumlu yönde etkilediği için tercih sebebidir. Dövme prosesi yoluyla üretilmiş biyel kolları yorulmaya karşı direnç göstererek motorların daha uzun ömürlü olmalarını sağlar. Dövme biyel kolları yanal kuvvetleri de azaltır ve motorun daha fazla hareket gücü üretmesine yardım eder. Yapılan çalışmalarda dövme ile üretilen biyel kollarının yorulma dayanımının % 25-30 oranında daha iyi olduğu gözlemlenmiştir (Kaya, 2012). Biyel kollarının motor içerisinde çalışma koşulları çok düşük toleranslara izin verdiğinden bu üç üretim yönteminden sonra talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak malzemeye son şekli verilir.

Genellikle biyel kollarının üretildiği başlıca malzemeler; küresel grafitli dökme demirler, C70S6, SMA40 ve FRACTIM gibi çeliklerdir (Hye vd., 2010). Günümüzde biyel kolları için teknolojik ve ekonomik alternatifleri bakımından çelik alaşımları sektörün büyük bir bölümünde kabul görmüştür (Özdemir vd., 2012: 119-121). Çelik alaşımı kullanılmasının başlıca birkaç nedeni vardır. Bunlardan ilki biyel kolunu uygun forma sokabilmek için işlenebilir bir malzemenin

---

<sup>1</sup> Öğrenci, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Orcid: 0000-0003-4312-3951

<sup>2</sup> Araş. Gör., İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Orcid: 0000-0003-0930-5380

<sup>3</sup> Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Orcid: 0000-0003-2705-2559

üretimi gerekliliğidir. Maliyet ve ağırlık kriterleri de ele alındığında çelik alaşımları biyel kolu üretiminde önemli bir yere sahiptir (Myagkov vd., 2014: 380). Biyel kollarına istenilen özellikleri katmak için çelik alaşımlarının içerisinde bulunan alaşım elementleri, yapıda bulunma oranları çok önemlidir. Uygun alaşım elementi elde edildikten sonra ve şekillendirme işleminin ardından biyel kollarının istenilen mekanik özellikleri kazanabilmesi için bazı prosesler uygulanır. Bu işlemlerin başında ısıl işlem gelmektedir. Isıl işlem biyel malzemesinin iç yapısını ve yüzey yapısını değiştirerek malzemede çekme dayanımı, basama dayanımı, sertlik, gevreklik ve süneklik, yaşlanma ömrü gibi birçok özelliğin kazandırılmasını sağlar (Myagkov vd., 2014: 380). Uygulanan ısıl işlemin mekanik özelliklere etkisi yalnızca motorun çalışma süresince gerekli özellikler için değil üretim aşamasında da bazı durumlarda istenen özellikleri elde etmemizi sağlar. Biyel kolu üretiminde son yıllarda kullanılan çentikli kırma yöntemi biyel kolunun baş kısmının ikiye ayrılması amacıyla yapılır. Bu işlemin talaşlı imalat yöntemleri yerine kullanılmasıyla biyel kolu üretiminde üretim maliyetini %25 oranında düşürmektedir. Ayrıca kırarak ikiye ayırma yöntemiyle imal edilen C70S6 çelikleri geleneksel çeliklere göre yüzey yorulma dayanımında %30 ve ağırlık konusunda %13 daha avantajlıdır (Aksoy vd., 2012:45-58). Üretim maliyetinin ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesinde önemli rol oynayan bu yöntemin uygulanabilmesi için biyel kollarında bazı özelliklerin bulunması gerekmektedir. Kırma işlemi için gereken özelliklerin sağlanabilmesi için de bazı ısıl işlemler uygulanmaktadır. Bu özelliklerin başında kırma işlemine izin verecek derecede gevreklik gelmektedir. Bu açıdan bakıldığında biyel kollarına yalnızca motor kullanım sürecinde istenen özellikler için değil aynı zamanda üretim için de ısıl işlem uygulanması dikkat çekmektedir. Biyel kollarının piston pimi ve krankla çok küçük toleranslara izin verilerek temas etmesi bu malzemelerin kullanım boyunca sürekli sürtünmeye maruz kalmalarına neden olmaktadır. Değişen kuvvet yönlerinin ve büyüklüklerin de etkisiyle bu sürtünme malzeme yüzeyinde önemli deformasyonlara neden olabilir. Bu deformasyonlar zamanla büyüyerek yorulma dayanımının düşmesi gibi bazı durumları doğurabilir. Bu gibi durumlara maruz kalmamak için biyel kollarının temas yüzeyleri yüzey sertleştirme işlemlerine tabii tutulmaktadır. Yüzey sertleştirme bölgesel ve yalnızca yüzeyde istendiği için ısıl işlemler bu aşama için de oldukça önemli bir prostestir. Bu çalışmada; biyel kollarına istenilen mekanik özelliklerin kazandırılması için hangi ısıl işlemlerin uygulandığı ve bu ısıl işlemlerin değişen parametrelerinin biyel koluna ne gibi etkilerinin olduğu literatür ışığında araştırılmıştır.

## **BİYEL KOLLARI**

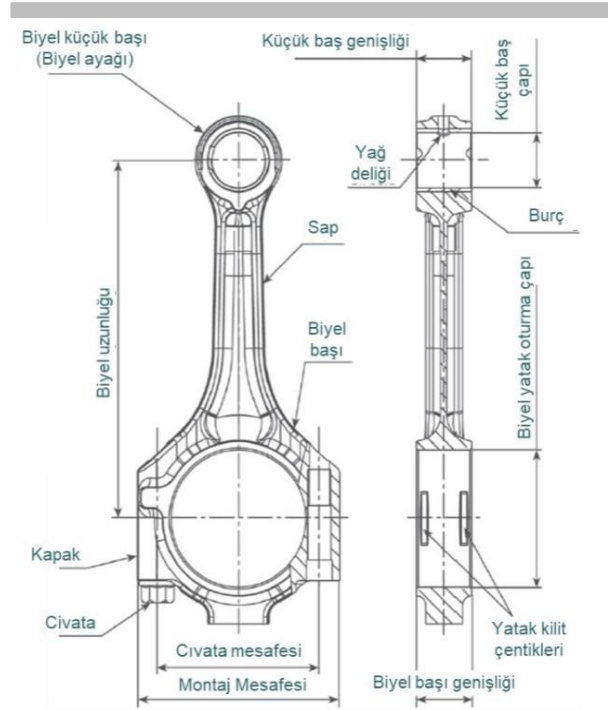
Biyel kolları içten yanmalı motorlu araçlarda yakıt ve hava karışımının ateşlenmesi sonucu meydana gelen patlama sonucunda pistonda oluşan doğrusal hareketi krank miline dönme hareketi olarak aktaran kritik öneme sahip bir parçadır (Khurmi ve Gupta, 2005: 440). Şekil 1'de biyel kolunun motor içerisindeki konumu gösteren şematik bir görsel verilmiştir.

Biyel kolu doğrusal yöndeki kuvveti açılı bir şekilde dönen krank miline aktarabilmesi için piston pimi ile biyel kolu arasında ve krank mili ile biyel kolu arasında sabit olmayan bağlantı oluşturulur (Ayhan vd.; 2018a: 819). Hareketli bağlantı noktaları ani yön değiştiren yüksek kuvvetleri aktardığı için iki malzeme arası temas toleransı çok düşüktür ve bu durum sürtünme olayından dolayı malzemelere en az hasar verecek şekilde ayarlanmalıdır. Sürtünmeye karşı direnci yüksek malzemelerin kullanılması bu durumu iyileştirmek adına önemlidir. Şekil 2'de biyel kolunun yapısını gösteren şematik bir görsel verilmiştir.





Şekil 1. Biyel kolunun motor içerisindeki konumu (Çetinerler, E., Erişim Tarihi (22.04.2022), (<http://www.havaciyiz.com/Kutuphane03-Piston.htm>))



Şekil 2. Biyel kolu yapısı (MAHLE, 2016).

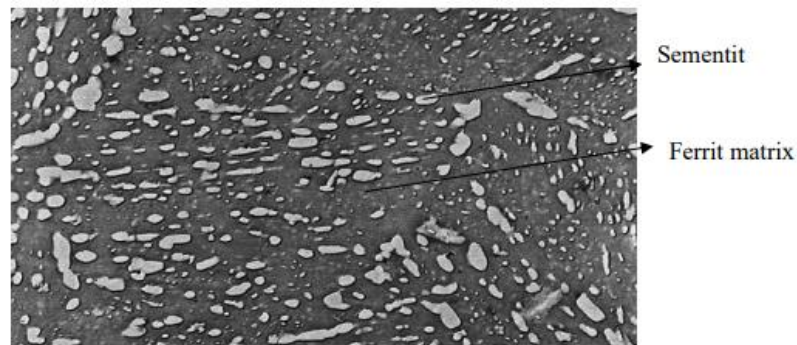
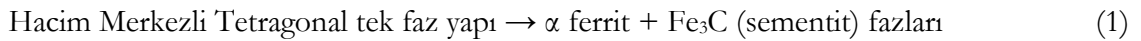
Biyel kollarına etkiyen bir diğer kuvvet ise yanma odasında gerçekleşen patlama sonucu biyel koluna aktarılan basma kuvvetidir (Özdemir, 2013: 1). Basma kuvvetine karşı deformasyona uğramadan çalışabilmesi için basma dayanımı biyel kollarında aranan en önemli özelliklerden biridir. Motorun çalışma prensibi incelendiğinde biyel kolunun patlama sonucunda basma kuvvetine maruz kalarak harekete başladığı görülür. Bu hareket krank milinin 180° dönmesiyle birlikte sonlanır ve zıt yönde harekete geçmesiyle başlangıç noktasına döner (Ayhan vd.; 2018a: 820). Burada bahsettiğimiz hareketin zıt yönde başlamadan önceki durma anında biyel kolu üzerindeki basma kuvveti sıfırlanır ve çok kısa bir zaman aralığında zıt yönde çekme kuvveti oluşur. Bu nedenden dolayı biyel kollarında çekme dayanımı da çok önemlidir. Krank millerinin bahsettiğimiz dönme hareketini yapmasıyla biyel kolları açılma kuvvetlerine maruz kalarak çalışır. Farklı yönlerde, krank milinin her dönme açısıyla birlikte değişen kuvvetlerin olması biyel kolunda burkulma dayanımının

yüksek olması zorunluluğunu ortaya çıkartır. Ele aldığımız tüm bu kuvvetler motorun rölanti halde çalışırken 900 devir/dak, araç hareket halindeyken ise 2000 ila 6000 devir/dak arasında tekrarlanan hareketler neticesinde ortaya çıktığı düşünüldüğünde deformasyona uğramadan sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için ne denli yüksek dayanımlara sahip olması gerektiği görülebilmektedir. Motor içerisinde çok önemli bir kuvvet aktarım görevine sahip olan biyel kolunun zarar görmesi halinde yenilenme maliyeti çok yüksektir. Bunun başlıca nedenlerinden biri; motor içerisindeki piston, sübap, yataklama elemanları ve piston gömleği gibi malzemelerin de zarar görmesi ve yenilenmesi gerektirir. Yüksek yenileme maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda, fabrikada ilk montaj malzemesinin maliyetinin daha kaliteli ve istenilen özellikleri karşılayan malzemeler seçilerek yüksek olması, sonradan zarar gören malzemeleri yenilemeye harcanacak miktardan çok daha ekonomiktir (Özdemir, 2013: 1-10). İstenilen tüm özellikler göz önüne alındığında biyel kollarının sadece alaşım elementi ve oranlarına göre değil üretim sonrası ikincil işlem olan ısıl işlem prosesinin de uygulanarak gerekli duruma getirilmesi önem arz etmektedir.

### BİYEL KOLLARINA UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

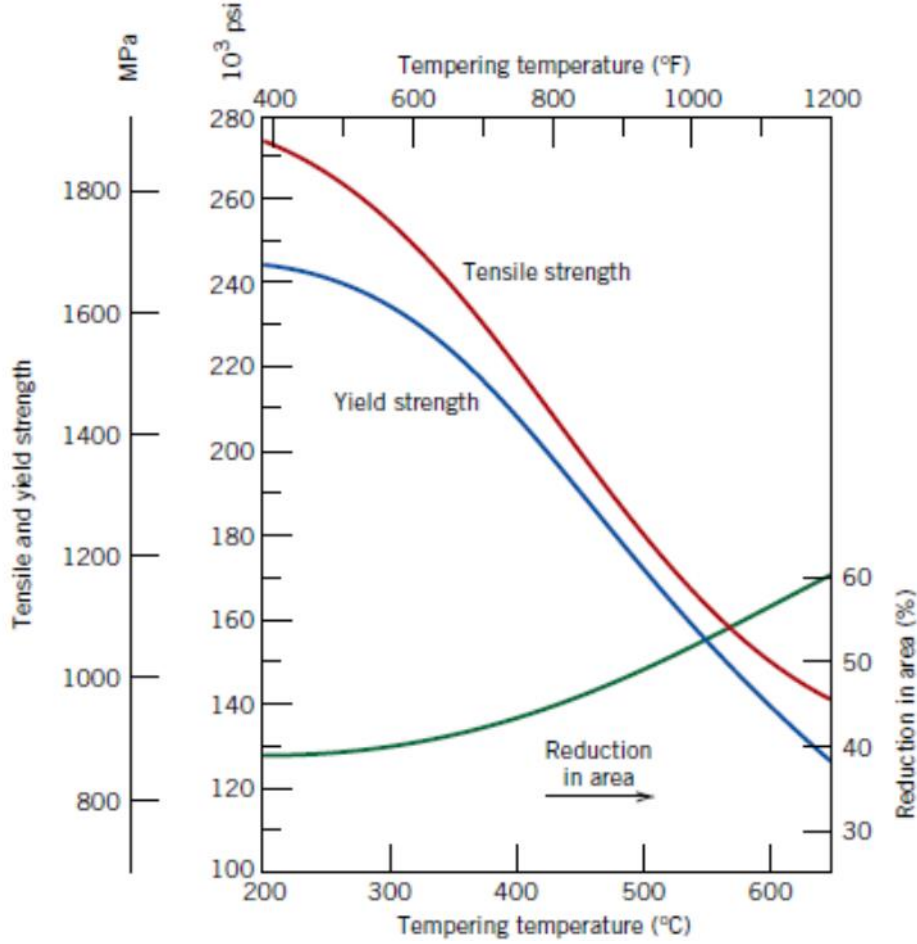
Biyel kollarına istenen özelliklere göre farklı ısıl işlemler uygulanmaktadır. En genel kapsamda bakıldığında biyel kollarına sertleştirme, tavlama, mertenzitleme ve temperleme ısıl işlemleri uygulandığı görülmektedir. Biyel kolu malzemesinin mekanik özellikleri yapı içerisindeki ferrit fazının oranı, sertliği ve tane boyutu gibi mikroyapısal özelliklere bağlıdır. Bu özelliklerin değiştirilmesi ve mekanik özelliklerin geliştirilmesi için ısıl işlemler en uygun proseslerdir (Özdemir vd.; 2013: 2).

Martenzit yapı 700-800°C gibi östenitleme sıcaklıklarından oda sıcaklığına çok hızlı bir şekilde su verilen çelik alaşımlarının dengesiz ve kararsız yapıda olmasıdır. Oda sıcaklığına hızlı bir şekilde soğutulan martenzit yapıdaki çelikler çok sert ve kırılgan yapıdadırlar. Bu özelliklerin yanında yapıda bulunan iç gerilmeler de malzemenin bir diğer olumsuz özelliğidir. Bu nedenden dolayı biyel kollarında doğrudan kullanımları yoktur. Kullanım için martenzit yapıdaki çelik toklaştırma ve iç gerilmelerin giderilmesi işlemlerine tabi tutulmalıdır. Temperleme yani menevişleme işlemi yapının tokluk değerini ve sünekliliğini artırır. Menevişleme işlemi ayrıca iç gerilmelerin yok edilmesini sağlar. Temperleme işlemi 250-650°C arasında malzeme kalınlığına göre değişen sürelerde tutularak yapılır. Bu yüksek sıcaklıkların yanında 200°C'de dahi iç gerilmelerin giderilebileceği vurgulanmıştır. Temperleme işlemi sonucu malzeme yapısı denklem (1)'de görüldüğü gibi değişir. Callister ve Rethwisch (2020) yaptığı çalışmada; martenzitik yapının 594°C'de temperlenmesi sonucu oluşan terperlenmiş martenzitik mikroyapı Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Temperlenmiş yapıdaki sementit (Fe<sub>3</sub>C) ve ferrit ( $\alpha$ ) fazları (Özdemir vd.; 2016: 53)

Callister ve Rethwisch (2020) yaptıkları çalışmada; yağda su verilmiş 4340 çeliğinin farklı sıcaklıklarda yapılan temperleme işlemi malzemenin çekme ve akma dayanımını etkilediği belirtilmiştir. Temperleme sıcaklığının mekanik özellikler üzerindeki etkisi Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. Temperleme sıcaklığının çekme ve akma dayanımları üzerine etkisi (Özdemir vd.;2018b: 80)

Biyel kollarına uygulanan bir başka ısıl işlem ise indüksiyonla sertleştirme değildir. İndüksiyonla sertleştirme işleminde malzemenin çekirdek yapısını değiştirmeden dış yüzey sertleştirilmesi yapılır. Bu işlemin biyel kolunda uygulama bölgesi krank mili ve piston pimi ile temas halinde olan biyel baş kısımlarıdır. Sertleştirilen yüzey sayesinde aşınma direnci ve yorulma ömrü artırılmış olur.

## DEĞİŞEN ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN ÖZELLİKLERE ETKİLERİ

Özdemir vd. (2018b) yaptığı bir çalışmada; C70S6 alaşımından imal edilmiş biyel koluna tavlama, temperleme ve sertleştirme işlemleri uygulanmış ve biyel kollarının içyapılarındaki değişiklikleri inceleyerek en uygun ısıl işlem prosesini belirlemeye çalışmıştır. Çalışmada öncelikle biyel kolu 800°C'ye ısıtılarak tavlama yapılmış ve havada soğutularak perlit-ferrit yapısı elde edilmiştir. Elde edilen yapı incelendiğinde; büyük bir kısmın lamellar ve sferoid kaba perlitten oluştuğu görülmüş ayrıca kalıntı ferrit de gözlemlenmiştir. Yapılan testlerde malzemenin sertliği 190 HB olarak ölçülmüştür. Yapının endüstride kullanımı yüksek yumuşaklık ve düşük mukavemeti nedeniyle uygun olmadığı düşünülmektedir. Bunların yanında biyel kolunun çentikli kırma yoluyla ayrılması

işleminin uygulanabilirliği test edilmiş ve yapının çarpılma eğiliminde olduğu, kırılmanın uygun gerçekleşmemesi ve kırıcı takım ile temas noktasında ezilmeler gözlemlendiğinden dolayı bu prosese de uygun olmadığı kanısına varılmıştır. Aynı çalışma içinde; biyel kolunda temperlenmiş martenzitik yapı elde etmek için, 780°C'ye ısıtılarak östenitleme yapılmış ve suda 45 dakika bekletilmiştir. Ardından 450°C'de fırında 30 dakika bekletilerek havada soğutulmuştur. Bu işlemler sonucunda biyel kolunun temperlenmiş martenzit yapısında dönüşmemiş ferrit fazı tespit edilmiştir. Bu yapıdaki biyel kolu yapılan deneylerde 306 HB olarak bulunmuştur. Elde edilen mekanik özelliklerin endüstride kullanılan biyel kollarıyla yakın değerlere sahip olduğu gözlemlenmiş ve biyel kolu üretiminde çentikli kırma yönteminin de kullanılarak üretimde kullanılabilir olduğu düşünülmüştür. Aynı çelik alaşımında martenzitik yapı elde etmek için iki ısıl işlem yöntemi uygulanmıştır. Birinci yöntemde; biyel kolu 800°C'de 45 dakika östenitlenmiş ve suda soğutulmuştur. İşlem sonunda yapılan deneylerde biyel kolunun sertliğinin 352 HB olduğu hesaplanmıştır. Mikroyapının martenzitik yapı olduğu ve ferrit kalıntılarının varlığı gözlemlenmiştir. Biyel kolunun sertliğinin yüksek olması malzemenin motor içerisinde kullanımını engellerken aynı zamanda üretimde çentikli kırma metodu test edildiğinde çarpılmalar görülmüş ve çarpılma kaynaklı süreksiz kırılmalar tespit edilmiştir. Bu nedenden dolayı biyel kolu için uygun bulunmamıştır. Martenzitik yapı elde etmek için yapılan ikinci uygulamada ise biyel kolu 800°C'de 45 dakika östenitlenmiş fakat bu denemede soğutma %10 NaCl çözeltisinde yapılmıştır. Yapılan ısıl işlem sonucunda yapının kaba martenzit taneli olduğu gözlemlenmiştir. Ölçülen sertlik değeri 612 HB çıkmıştır ve bu değer yapının çok fazla kırılma eğiliminde olduğunu gösterir. Yapılan çentikli kırma deneylerinde de yapının süreksiz kırılmasında dolayı bu uygulama biyel kolu için uygun bulunmamıştır. Özdemir vd. (2018b) yaptığı çalışma sonucu her bir ısıl işlem için elde edilen mekanik özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Uygulanan çentikli kırma deneyleri sonucunda belirlenen mekanik özellikler için en uygun ısıl işlemin 780°C sıcaklıkta östenitlendirmenin ardından 18°C sıcaklıktaki suda su verilmesi ve ardından 450°C'de 3 saat östenitlenip havada soğutulmasıyla elde edilen yapı olduğu belirtilmiştir.

**Tablo 1** - Farklı ısıl işlem parametreleri sonucunda elde edilen mekanik özellikler (Özdemir, 2013).

Deney Parçası	$\sigma$ Akma (MPa)	$\sigma$ Maks. (MPa)	Sertlik (HRB)	% $\epsilon$ Uzama
C70S6 (Perlitik)	560	850	280	10
C70S6 (Perlitik-Ferritik Yapı) Havada su verme	380	570	190	12
C70S6 (Temperlenmiş Martenzit) Suda su verme	703	1009	306	10
C70S6 (Martenzit) Havada su verme	810	1160	351	7
C70S6 (Martenzit) %10 NaCl çözeltisinde su verme	1407	2007	612	5

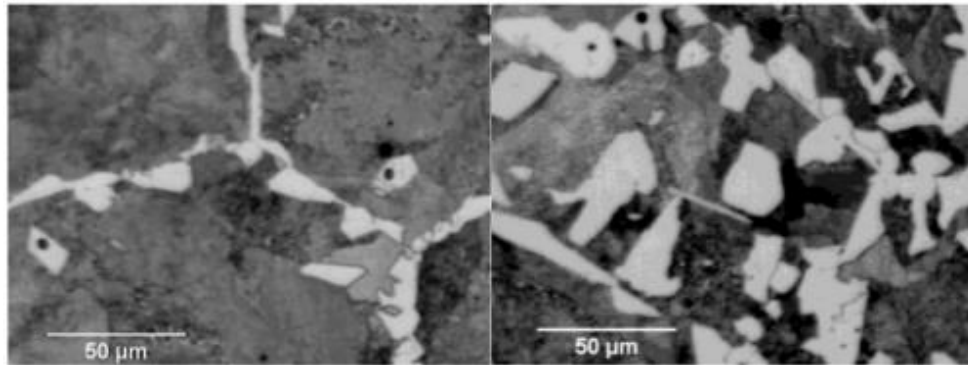
Cryderman vd. (2015: 769) tarafından yapılan bir çalışmada; sıcak dövme ile üretilmiş dört farklı alaşım grubundan imal edilen biyel kollarının, çentikli kırma yöntemiyle ayrılarak üretilmesinde ısıl işlemlerin mekanik ve mikroyapı özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Testlerde kullanılan alaşımların kimyasal kompozisyonları Tablo 2'de verilmiştir. D, E, F ve G kodları ile isimlendirilen

biyel kolları 900°C ve 1200°C'ye ısıtılarak saniyede 1,5 °C soğutma hızı ile havada soğutulmuştur. Seçilen alaşımlar ile karşılaştırma amacıyla, ticari adıyla C70 olarak bilinen alaşım da 950'de normalize edilmiş ve 1.5 °C/s hız ile soğutulmuştur. Isıtma sıcaklıklarının yanında soğutma farklılıklarının da incelenmesi için yapılan çalışmada dövme ile üretilmiş dört farklı alaşım (A, B, C ve H) 1260°C'ye ısıtılmış ve dört farklı yöntemle soğutulmuştur.

**Tablo 2** - Alaşımların kimyasal kompozisyonları (ağ. %maks.) (Cryderman vd.; 2015: 766).

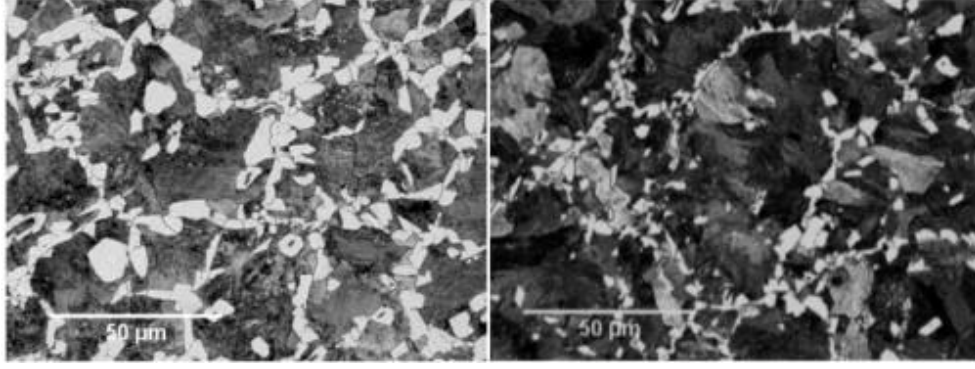
Çelik	C	Mn	Cr	P	S	Si	V	N
A	0.31	1.33	0.19	0.06	0.068	0.75	0.302	0.010
B	0.41	0.96	0.11	0.07	0.054	0.6	0.097	0.0154
C	0.42	1.37	0.21	0.076	0.058	0.86	0.243	0.0198
D	0.38	1.04	-	0.077	0.063	0.62	0.102	0.0090
E	0.4	1.03	-	0.067	0.066	0.58	0.193	0.171
F	0.38	1.41	-	0.076	0.061	0.6	0.095	0.0090
G	0.4	1.01	-	0.067	0.058	0.86	0.098	0.0094
H	0.27	1.31	1.28	0.066	0.041	0.82	0.149	0.0172
C70	0.69	0.54	0.15	0.014	0.064	0.17	0.037	0.0087

Cryderman vd. yaptığı çalışmada; 1200°C'ye ısıtılan ve havada soğutulan alaşımlarda küçük ferrit tanelerinin varlığıyla birlikte çok geniş tane boyutuna sahip östenitler elde edilmiştir. Bu durum Şekil 5'te verilen mikroyapı resimlerinde görülmektedir.



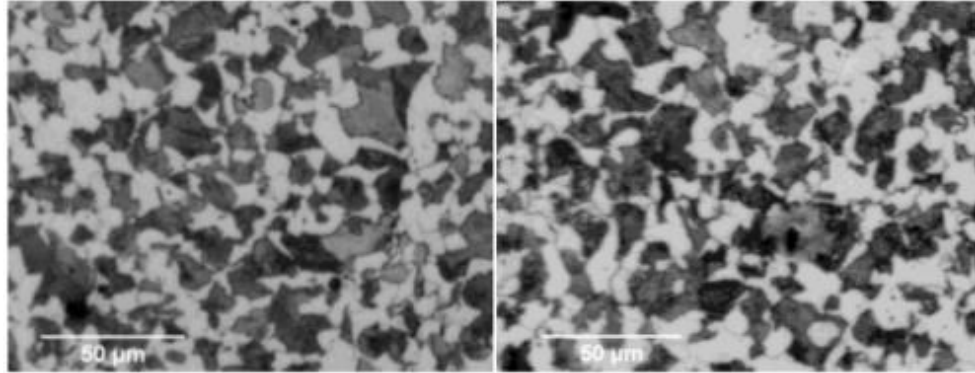
**Şekil 5.** 1200°C'de ısıtılmış F alaşımı (sol) ve E alaşımı (sağ) (Cryderman vd.; 2015: 768).

Aynı çalışmada; 1260°C'ye ısıtma ve sıcak haddelme ile artan bir ferrit faz oluşumu ve bir miktar östenit faz oluşumu tespit edilmiştir. Elde edilen mikroyapılar Şekil 6'da görülmektedir.



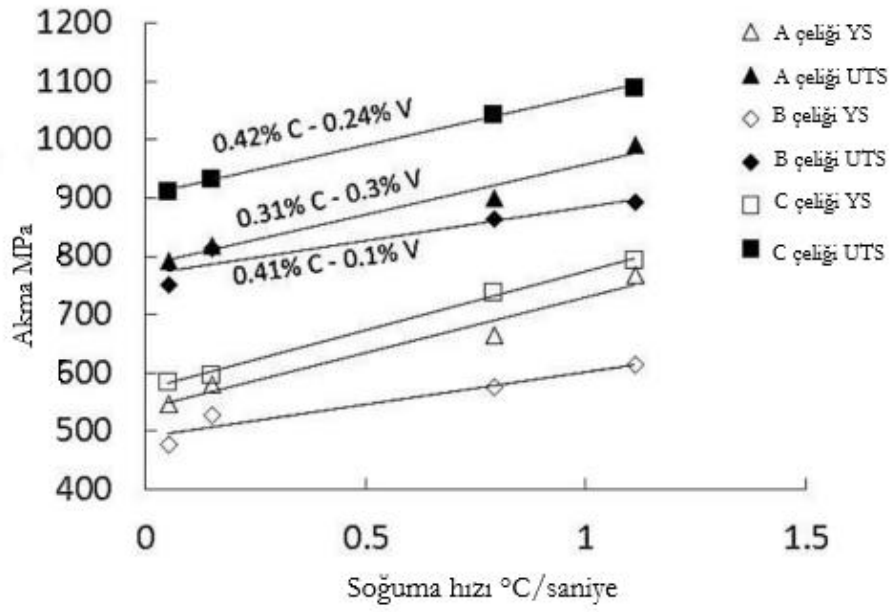
**Şekil 6.** Fanla soğutulmuş sıcak hadde B alaşımı (sol) ve C alaşımı (sağ) (Cryderman vd.; 2015: 768).

Aynı çalışmanın devamında; 900°C'ye yeniden ısıtma ve ardından haddeleme yapılan alaşımlarda daha küçük tane boyutunda östenit faz oluşumu ve ferrit faz fraksiyonunda artış rapor edilmiştir. Şekil 7'de bu alaşımlara ait mikroyapılar verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda ilk ısıtma sıcaklığının 900°C'den 1200°C'ye artırılması östenit tane boyutunu arttırmış ve ferrit çekirdeklenmesini ve ferrit fraksiyonunu azaltmıştır. Haddeleme veya dövme işleminden sonra soğutma hızının artırılması ferrit çekirdeklenmesi ve büyümesi için süreyi azaltarak ferrit fraksiyonunu azalttığı belirtilmiştir. Genel olarak çalışmada elde edilen sonuçlara göre; ısıl işlemden soğutma hızının ferrit faz fraksiyonuna etkisi olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 7.** 900°C'de yeniden ısıtılmış F alaşımı (sol) ve E alaşımı (sağ) (Cryderman vd.; 2015: 768).

Aynı çalışmanın mekanik test sonuçlarında tüm alaşımlarda artan soğutma hızının çekme ve akma dayanımlarını arttırdığı rapor edilmiştir. Soğutma hızı ile mekanik özelliklerde yaşanan değişimler Şekil 8'de verilmiştir. Kaçal vd. (2009) ve Çakır vd., (2005) yaptıkları benzer çalışmalarda, mekanik özelliklerin, alaşım elementlerinin yanı sıra ısıl işlem sıcaklıkları ve bekleme süreleri ile doğrudan ilişkili olduğunu rapor etmişlerdir.



Şekil 8. Farklı soğutma hızlarının çekme (UTS) ve akma (YS) dayanımına etkisi (Cryderman vd.; 2015: 768).

## GENEL DEĞERLENDİRME

Yüksek kaliteye sahip biyel kolları motor performansını ve güvenliğini artırır. Biyel kolları aracın ömrü boyunca çok büyük gerilmelere dayanmalıdır ve bu parçaların arızalanması motor hasarlarının oluşmasında en sık görülen sebeplerden biridir. Biyel kolu hakkında sadece malzemesinin bileşimini değil aynı zamanda mekanik özellikleri şüphesiz etkileyen üretim prosesini ve ısıl işlemi de tanımlayarak daha kesin bir tanım elde edilebilir. Aşağıda ısıl işlem sürecinin özellikler üzerine etkisi maddeler halinde özetlenmiştir.

- Alaşım elementlerinden (vanadyum, nitrojen vb.) en iyi verimi alabilmek için dövmede yeniden ısıtmanın 1200°C'de yapılması gerektiği belirtilmiştir.
- Dövme ile üretim işleminden sonra hızlandırılmış soğutma hızıyla birlikte yüksek ilk ısıtma sıcaklıkları mikro yapıdaki ferrit miktarını sınırlayarak ve ferrite alaşım elementlerinin çökmesini sağlayarak en iyi mukavemet ve çentikli kırma ile ayırma durumlarını oluşturduğu rapor edilmiştir.
- Dövme ile üretimden sonra 900°C'de normalleştirilmenin artan ferrit fraksiyonu ve sınırlı çökme nedeniyle daha düşük mukavemet ve zayıf çentikli kırma ile ayırma ile sonuçlandığı belirtilmiştir.
- Temperlenmiş martenzitik yapıdaki sementit taneleri sertliği arttırmaktadır. Artan sertliğin kalıntı ferrit nedeniyle düşmesi sertliği optimal değerlere yaklaştırır ve endüstride kullanılan ideal biyel kolu sertliğine getirdiği belirtilmiştir.
- Biyel kollarında kullanılan perlitik yapıya alternatif olarak temperlenmiş martenzitik yapının kullanılabilmesi rapor edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Aksoy, Z., Özdemir, Z. ve Özdemir, T. (2012). *A metallographic examination of fracture splitting C70S6 steel used in connecting rods*. Marmara Fen Bilimleri Dergisi, 24(2), 45-58.
- Ayhan, İ. İ., Dürger, N. B., Parmaksızoğlu, B., ve Erişir, E. (2018). Biyel Kolları İçin Yüksek Mukavemetli Yeni Mikroalaşım Çelik. *19. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi* (s. 819-823). İstanbul: TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Eğitim Merkezi.
- Callister Jr, W. D., ve Rethwisch, D. G. (2020). *Fundamentals of materials science and engineering: an integrated approach*. John Wiley & Sons.
- Cryderman, R., Rickert, D., Puzak, K., Speer, J., Matlock, D., ve Burnett, M. (2015). Effects of chemical composition, heat treatment, and microstructure in splittable forged steel connecting rods. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 8(3), 765-773.
- Çakır, M. C., Bayram, A., Işık, Y., ve Salar, B., "The effects of austempering, temperature and time on to the machinability of austempered ductile iron", *Materials, Science & Engineering*, 2005.
- <https://www.bodycote.com/tr/hizmetler/isil-islem/sertlestirme-ve-menevis/induksiyonla-sertlestirme/> (Erişim Tarihi: 19.04.2022)
- Çetinerler, E. Uçak Piston Motorları. <http://www.havaciyiz.com/Kutuphane03-Piston.htm> (Erişim Tarihi: 19.04.2022)
- Hye, K., Tae, K., Tai-Joo, C., Hyun, Kim. ve Soon-Jik, H., "Fatigue Characteristics of High Strength C70S6 and SMA40 Steels". *Materials Science and Engineering*, 527, 2813–2818, (2010).
- Kaya, T. (2012). *Biyel Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kaçal, A. ve Gülesin, M., "Küresel grafitli dökme demirlerin son bitirme operasyonlarının analizi üzerine bir çalışma", *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, (IATS'09), 13-15 Mayıs, Karabük, 2009.
- Khurmi, R. S., ve Gupta, J. K. (2005). *A textbook of machine design*. S. Chand publishing
- MAHLE GmbH. (2016). *Cylinder components: Properties, applications, materials*, ATZ/MTZ-Fachbuch, Vieweg+Teubner
- Myagkov, L. L., Mahkamov, K., Chainov, N. D., ve Makhkamova, I. (2014). Advanced and conventional internal combustion engine materials. In *Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance* (pp. 370-408e). Woodhead Publishing.
- Özdemir, T. (2013). *Motor biyel kolunun baş kısmının kırılmasının sonlu elemanlar yöntemi ile nümerik analizi üzerine bir çalışma*, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özdemir, Z., Aksoy, Z. ve Özdemir, T. (2012). Kırılarak iki parçaya ayrılabilen biyel kollarının ayrılma parametreleri üzerine bir inceleme. *Sakarya University Journal of Science*, 16(2), 113-122.)



Özdemir, Z., Türkbaş, O. S., ve Özdemir, T. (2013). C70S6 çeliğinden imal edilen biyel kolunun çentikli kırma yöntemi ile imalatı esnasında ısıl işlem parametrelerinin kırılmaya etkisi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 10 (2), 49-58.

Özdemir, Z., Özdemir, T., Aksoy, Z., ve Eruslu, S. O. (2013). An examination of different heat treatment effects to the fracture parameters of connecting rod made from C70S6 steel. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 25(2), 75-90.

Şahin, E., Cesur, İ., ve Kahraman, H. Çift Silindirli Su Soğutmalı Bir Motorun Biyel Kolu Yapısal Analizi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 11(1), 71-79.

## Motor Yataklama Elemanlarında Isıl İşlem Uygulamalarının Yüzey ve İç Yapı Karakteristiğine Etkisi

Onur Cihan BOYUNEĞMEZ<sup>1</sup>  
Gizem KARABULUT<sup>2</sup>  
Nuray BEKÖZ ÜLLEN<sup>3</sup>

### Giriş

Otomobil motorları gelişen teknoloji ve bilgi birikimiyle birlikte sürekli geliştirilmektedir. İçten yanmalı motorların yapısı incelendiğinde kullanılan parçaların motor performansına ve ömrüne en etkisinin çok büyük olduğu görülmektedir. Otomotiv sektörü üreticileri genel anlamda araçların dayanımı, verimliliği, ekonomik ve çevreci olması konusunda devlet mevzuatları ve müşteri istekleri ile kendilerini iyileştirirler. Parçaların sağlıklı bir şekilde uzun süreler görevini yerine getirebilmeleri için dezavantajlarını minimize edecek geliştirmeler yapılmaktadır. Bu geliştirmelerin başında parçaların üretim malzemesi ve üretim sonrası uygulanan ısıl işlemler gelmektedir. İstenilen özellikler bazı durumlarda sadece alaşım elementini değiştirerek elde edilemeyebilir. Bu gibi durumlarda hem maliyet hem de uygulanabilirlik açısından en sık kullanılan yöntem ısıl işlemlerdir. Isıl işlemler belirli özellikleri yükseltip istenmeyenleri ise düşürmemize olanak sağlamaktadır. Parçanın bütününe ya da belirli bir bölümüne uygulanabiliyor olmaları ısıl işlemi bir adım öne taşıyan özelliklerden biridir (Myagkov vd., 2014: 380).

İçten yanmalı motorların ana yapısı incelendiğinde yüksek hızlarda sürekli tekrarlanan hareketlerin en doğru konumda gerçekleşebilmeleri için doğru montaj sürecinden geçmeleri gerekmektedir. Motor parçalarının bağlantı noktalarında iki parçayı hareketi engellemeyecek kadar sıkı fakat çalışma senkronunu bozmayacak derecede gevşek bir bağlantı olmalıdır. Bu bağlantı düşük hata toleranslarında üretilen yataklama elemanları sayesinde elde edilir. Yataklama elemanlarının parçalar arasında en uygun hareket kabiliyetini sağlaması için ve parçaları uygun konumlarda tutabilmesi için bazı özelliklere sahip olmalıdır. Bu özellikler ayrıca yataklama elemanlarının uzun süreler sağlıklı bir şekilde görev yapabilmesi için önemlidir. Gerekli özellikler incelendiğinde yataklama elemanlarının yüksek yorulma dayanımı, yüksek aşınma dayanımı, yüksek ısıl iletkenlik ve kullanım yerine göre belirli sertlik ve yumuşaklığa sahip olmaları gerekir. Ayrıca hareket kabiliyetini parçalar arasında yağ tabakası oluşturarak arttırabilmesi için yağ tutucu özelliğinin olması gerekmektedir. Üretilen parçalarının bahsi geçen özellikleri temel olarak alaşımın mikroyapısına, dökümün kalitesine ve ısıl işlem ihtiyacına göre değişmekte ve kritik özellikler bu şekilde belirlenebilmektedir. Tüm bu özellikler alaşım elementleri sayesinde elde edilebilir olsa da uygun şartlarda maksimum performans için ısıl işlem uygulamaları gerekmektedir (Khurmi ve Gupta, 2005: 431).

Bu derleme çalışmasında; motor yataklama elemanlarına üretim aşamasında uygulanan ısıl işlemlerin malzemenin içyapı ve yüzey yapı karakteristiğini nasıl etkilediği konu hakkında yapılan araştırmalar incelenerek ele alınmıştır.

---

<sup>1</sup> Öğrenci, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Orcid: 0000-0003-4312-3951

<sup>2</sup> Araş. Gör., İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Orcid: 0000-0003-0930-5380

<sup>3</sup> Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Orcid: 0000-0003-2705-2559

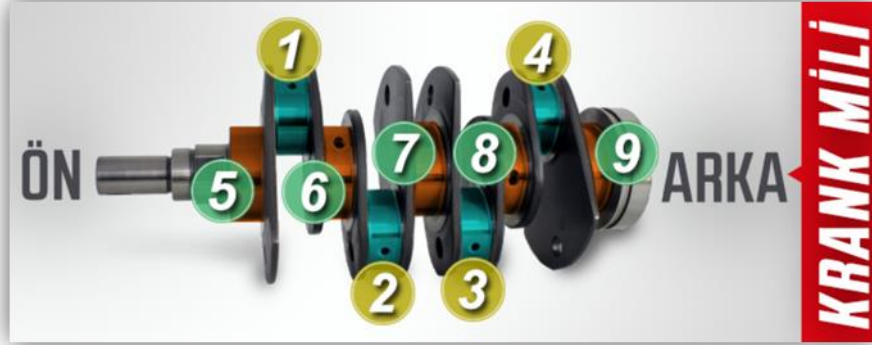
## MOTOR YATAKLAMA ELEMANLARI VE ÇEŞİTLERİ

İki farklı parçanın yüzeylerinin temas ederek hareket etmesini sağlayan motor yataklama elemanları, içten yanmalı motorlarda sürtünmeye maruz kalan parçaları aşınmaya karşı korumak ve hareketli bölgelerde yüzeyinde yağ tabakası oluşturarak verimliliği en üst seviyeye çıkartan vazgeçilmez parçalardan biridir. Sürtünme dayanımını arttırmanın yanında yataklama elemanları hareketli parçaların doğru pozisyonda çalışması için konum sabitleme görevi de görmektedir. İçten yanmalı motorlarda krank, biyel kolu ve piston gibi parçaların yenilenmesi uzun zamanda ve yüksek maliyetlerde gerçekleşmektedir. Bu nedenden dolayı motor içerisinde oluşacak deformasyonları ana parçalar yerine yataklama elemanlarında toplayarak hem zaman hem de maliyetten tasarruf edilmiş olur. Bu nedenden dolayı motor yataklama elemanları motor ömrünü etkileyen kritik parçalardan biridir (Khurmi ve Gupta, 2005: 433).

Yataklama elemanları motor içerisinde sağlıklı çalışabilmesi için belirli özelliklere sahip olmaları gerekmektedir. Bu özelliklerin başında yorulma dayanımı gelmektedir. Yorulma dayanımı yataklama elemanına gelen farklı yön ve büyüklükteki kuvvetler nedeniyle malzemede belirli bir süre deformasyona uğramadan dayanabilmesidir. Bir diğer özellik ise korozyon direncidir. Motor içerisinde korozyon, yakıt ya da yağ içerisinden gelen kükürt bileşiklerinin su ile birleşmesi sonucu oluşan sülfürik asidin motor parçalarında oluşturduğu korozyondur. Yataklama elemanları için malzeme seçiminde korozyona karşı kalay-gümüş yüksek dayanım, bakır orta dayanım, kadmiyum ve kurşun ise zayıf dayanım göstermektedir. Isı iletimi de yataklama elemanlarında aranan özelliklerden biridir. Motor içerisinde yüksek hızlarda gerçekleşen hareketler sonucu sürtünmeyi üstlenen yataklama elemanları ısınmaktadır. Yataklama elemanları görevini sağlıklı bir şekilde yerine getirmeye devam edebilmeleri için bu ısıyı dağıtmaları gerekmektedir. Ayrıca düşük toleranslarla üretilen yataklarda ısıl genleşme katsayısı çalışma anında parçanın boyutsal özelliklerinin değişmemesi için düşük olmalıdır. Yataklama elemanlarının sürtünmeyi minimuma indirebilmeleri için iki parça arasında yağ tabakası oluşturmaları gerekmektedir. Bu nedenden dolayı yatak malzemesinin yağ tutma özelliğinin iyi olması istenir. Bu durum yataklarda yağ filmi oluşturulmasına olanak sağlar (Işıksoluğu, 2005: 4)

Yataklama elemanları kullanılacağı motora ve kullanım koşullarına göre farklı alaşımlardan üretilmektedir. Yataklardan istenen özellikleri sağlayabilmesi için bu alaşımlar farklı alaşım oranlarında farklı katkı elementleri eklenerek üretilirler. Kalay esaslı alaşımlar kalayın yüksek korozyon dayanımı, düşük ergime sıcaklığı sayesinde kolay dökülebilirliği ve sıvanabilecek derecedeki yumuşaklığı nedeniyle yataklama alaşımlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Kurşun esaslı alaşımlar ise sıklıkla Pb-Sn-Sb üçlü alaşımıyla kullanılır. Bu alaşımların aşınma dirençleri ve ısıl iletkenlikleri iyidir. Bakır esaslı alaşımlar da yataklama elemanlarında sıkça kullanılmaktadır. Bu alaşımlar kurşun katkısıyla da kullanılırlar fakat birbiri içerisinde çözünmez olduklarından yalnızca mekanik alaşım oluştururlar (Işıksoluğu, 2005: 5).

Motor yatakları buldukları konuma göre farklı şekillerde tasarlanmaktadır. İçten yanmalı bir motorda genellikle dört çeşit yataklama elemanı bulunmaktadır. Bunlar ana yatak, kol yatak, gezi ayı ve kol burçlarıdır. Ana yataklar ve kol yataklar krank mili üzerinde konumlanmaktadır. Şekil 1'de krank mili üzerinde ana ve kol yatakların konumları gösterilmektedir. Görselde ön yazan kısım radyatör tarafını yani motorun önünü göstermektedir. 5, 6, 7, 8 ve 9 ile numaralandırılan bölgelerde ana yatak konumlandırılır. 1, 2, 3 ve 4 ile numaralandırılan yerlere ise kol yataklar konumlandırılır.



Şekil 1. Krank mili üzerinde bulunan ana yatak (5, 6, 7, 8 ve 9) ve kol yataklarının (1, 2, 3 ve 4) konumlandırılması.

### Ana Yatak

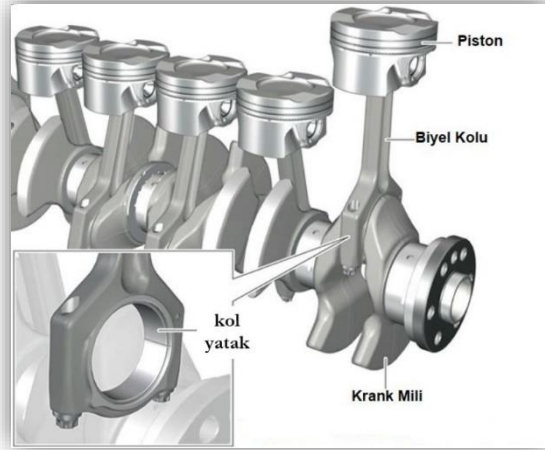
Ana yataklar motor bloğunda krank ile blok arasındaki bağlantıyı sağlayan parçalardır. Krank milinin blok üzerine temas eden noktalarını aşınmaya karşı korur ve maksimum kayma oluşturarak verimliliği en yüksek noktaya çıkartmak için tasarlanır. Dört silindri içten yanmalı bir motorda beş adet ana yatak bulunur. Şekil 2'de motor ana yatağı görülmektedir.



Şekil 2. Motor ana yatağı.

### Kol Yatak

Biyel kolu ile krank milinin bağlantı noktalarında kol burcu bulunmaktadır. Kol burçları motorun çalışması sırasında biyel kolu ile krank mili arasında gerçekleşen sürekli temas ve sürtünme durumlarından kaynaklanacak deformasyonları engellemek için kullanılır. Şekil 3'te krank mili ile biyel kollarının bağlantı noktasında kol yataklarının konumu gösterilmektedir. Kol yataklar motor içerisinde bulunan silindir sayısı ile aynı sayıdadır.



Şekil 3. Biyel kolu ve krank mili bağlantısında kullanılan kol yatağın konumu.

### Gezi Ayı

Gezi ayı, bir diğer adıyla ay yatak, krank milinin blok üzerinde konumlandırıldığı noktada krank milini motorun çalışması esnasında sabit tutmak için kullanılır. Krank mili ile blok arasında gereğinden fazla boşluk olması durumunda blok ve ana yataklar zarar görebilir. Aynı zamanda krank, piston ve biyel kollarının çalışma senkronlarını etkileyerek hem verimi düşürür hem de deformasyonlara sebebiyet verebilir. Gezi ayları motordan motora değişiklik göstermektedir. Bazı motor çeşitlerinde gezi ayları krank milinin ön ve arka kısmında bulunan ana yataklara entegre edilmiş şekilde üretilmektedir. Diğer motor çeşitlerinde ise gezi ayı ayrı olarak montaj edilir. Şekil 4'te örnek bir gezi ayı gösterilmiştir.



Şekil 4. Gezi ayı.

### Kol Burcu

Kol burçları piston ve biyel kolunun, piston pimi ile bağlantı noktalarında kullanılır. Kol burçları pistondan aktarılan kuvvetin en az kayba uğrayarak iletilmesinde büyük rol oynar. Özel olarak tasarlanan yapıları sayesinde piston pimi ile biyel kolu arasında sürtünmeyi en aza indirmek için yağ tabakası oluştururlar. Kol burçlarının üretiminde çok küçük toleranslara izin verilebildiğinden dolayı üretim aşamasında hassas işleme gerektirmektedir. Bu nedenden dolayı kol burçlarına uygulanan ısı işlemler yapının boyutsal özelliklerini değiştirmeyecek şekilde seçilir. Şekil 5'te örnek bir kol burcu gösterilmiştir.



Şekil 5. Kol burcu.

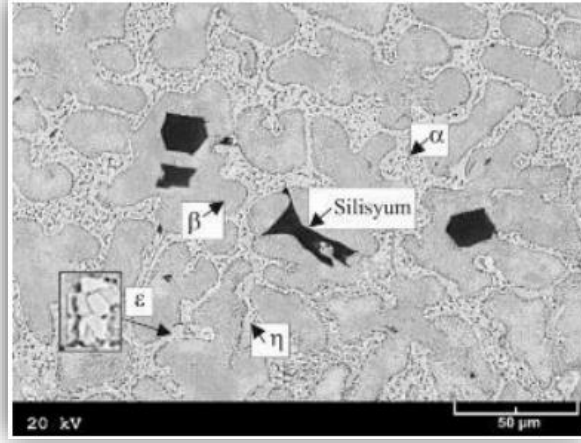
## YATAKLAMA ELEMANLARINA UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

Yataklama elemanları çalışma pozisyonları ve şartları nedeniyle istenilen aşınma dayanımına ve yorulma dayanımına ulaşabilmek için ısıl işleme tabii tutulmaktadır. Yüzeyde istenen sürtünmeden kaynaklı aşınmalara karşı koyabilmek için sert bir yapı istenirken ani darbelere karşı sağlıklı çalışabilmesi için iç yapının enerji sönmüleyici özellikte olması gerekir. Bu nedenden dolayı yataklama elemanlarına uygulanan ısıl işlemler, iç yapıya ve yüzey yapısına farklı etkiler yapacak şekilde seçilir. Yataklama elemanlarında hangi ısıl işlemin uygulanması gerektiği üretilen malzemeye göre değişmektedir. Kullanılan malzemenin alaşım yapısı ve ısıl işlem görmeden önceki iç yapısının özellikleri ısıl işlem seçiminde farklılıklara neden olmaktadır. Uygulanan ısıl işlemlerin birçoğu benzer sıcaklıklarda olsa da değişen parametreler elde edilecek mekanik özellikleri belirlemektedir. Bu parametreler soğukta ortamı, soğutma hızı, ısıl işlem sıcaklığında bekleme süresi gibi parametrelerce belirlenmektedir. Isıl işlem sıcaklığı, süresi ve soğutma şekli yataklama malzemesinin iç yapısının ve yüzeyinin yapısal özelliklerini belirlemektedir (Rajan vd.; 2011: 49-85).

Gelişen teknolojiyle birlikte yataklama elemanlarında kullanılan bazı geleneksel alaşımların yerine daha iyi mekanik özellikler sergileyebilen alaşımlar tercih edilebilmektedir. Fakat buna rağmen istenilen tüm özellikler elde edilemeyebilir. İşlem görmemiş halde bazı mekanik özellikler üstün performans gösterse de bazıları geleneksel alaşımlara göre daha düşük kalabilmektedir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için de ısıl işlemler uygulanmaktadır. Savaşkan ve Hekimoğlu (2011) tarafından yapılan bir çalışmada; geleneksel yataklama malzemesi olan bronz, pirinç ve dökme demir yerine geliştirilen bakır ve silisyum içeren çinko-alüminyum esaslı alaşımlar için T5 ve T7 ısıl işlemleri uygulanmıştır. Babic vd., (2010) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise çinko-alüminyum esaslı yataklama elemanlarına 370°C'de 3-5 saat çözeltiye alarak ve ardından suda soğutarak ısıl işlem uygulaması yapılmıştır. Altuntaş ve Bostan (2021) tarafından yapılan başka bir çalışmada; Al-Zn-Mg-Cu alaşımlarına yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırma (RRA) ısıl işlemleri uygulanarak yataklama elemanlarındaki performans artırılmıştır. Menteşe vd., (2019) yaptıkları çalışmada motor braketleri parçası olarak kullanılan AlSi10Mg döküm alaşımından üretilen parçaların kesit kalınlıkları ve boyutuna bağlı olarak T6 ısıl işlemi uygulayarak optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Güven ve Çelik (2019) yaptıkları çalışmada otomobil motor parçalarında kullanılan SAE 4340 ıslah çeliğine su verme işlemi ve farklı sıcaklıklarda temperleme tavı uygulayarak yorulma ömrüne ısıl işlemlerin etkilerini araştırmışlardır. Yataklama elemanlarının malzemelerine uygulanan ısıl işlemler üzerine birçok bilimsel çalışma olmasına rağmen konunun teknolojik ve ekonomik önemi açısından araştırmalar devam etmektedir.

## ISIL İŞLEMLERİN YÜZEY VE İÇYAPI KARAKTERİSTİĞİNE ETKİSİ

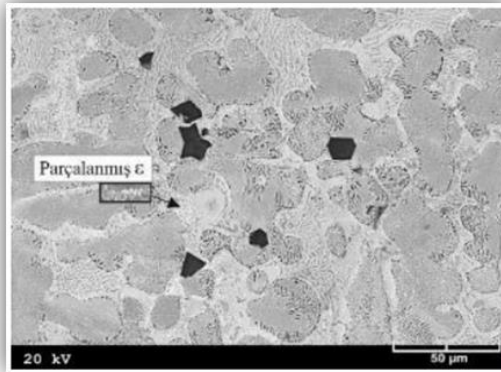
Savaşkan ve Hekimoğlu (2011) tarafından yapılan bir çalışmada Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımından üretilen yataklama elemanına T5 ve T7 ısı işlemleri uygulanarak parçaların iyileştirilmeleri ve elde edilen sonuçların piyasada yataklama malzemesi olarak kullanılan SAE 660 ile kıyaslaması yapılmıştır. Döküm yapıldıktan sonra Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının mikroyapısının; dendritik  $\beta$ , ötektik  $\beta+\eta$ , ötektik  $\alpha + \eta$ ,  $\epsilon$  fazları ve silisyum parçacıklarından oluştuğunu ifade etmişlerdir. Şekil 6'da yapılan çalışmadan elde edilen Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının SEM görüntüsü görülmektedir.



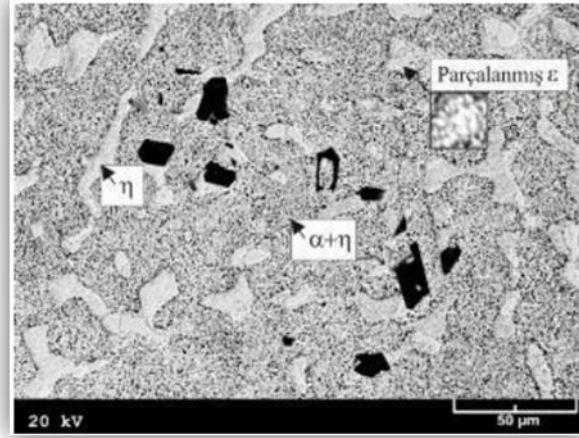
Şekil 6. Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının SEM görüntüsü (Savaşkan ve Hekimoğlu, 2011: 429).

Test numunelerine T5 ısı işlemleri için 150°C'de 50 saat ve T7 ısı işlemleri için 340°C'de 36 saat çözündürme yapıldıktan sonra su vermişlerdir. Isıl işlem yapılan numuneler için ardından 180°C'de 10 saat yaşlandırma işlemi uygulamışlardır. İncelemeler sonucunda; T5 ısı işlemleri sonucunda alaşımda  $\epsilon$  fazının parçalanarak küçüldüğünü ve dendritik yapının etkilenmediğini rapor etmişlerdir. Şekil 7'de yapılan çalışma sonucu elde edilen T5 ısı işlemleri sonucu alaşımın mikroyapısı görülmektedir.

T7 ısı işlemlerinin sonuçları incelendiğinde alaşımdaki dendritik yapının tamamen kaybolduğu ve  $\epsilon$  fazının yine parçalandığı fakat yalnızca boyutunun küçüldüğünü belirtmişlerdir. Şekil 8'de T7 ısı işlemleri sonucu elde edilen mikroyapı görülmektedir. Yaptıkları incelemeler sonucunda her iki ısı işleminin de yapıdaki silisyumu etkilemediğini açıklamışlardır.



Şekil 7. Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının T5 ısı işlemleri sonrası mikroyapısı (Savaşkan ve Hekimoğlu, 2011: 430).



**Şekil 8.** Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının T7 ısıl işlemi sonrası mikroyapısı (Savaşkan ve Hekimoğlu, 2011: 430).

Aynı çalışma içinde uygulanan ısıl işlemler sonucunda mekanik özelliklerin değişimini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçları Tablo 1’de verilen değerler ile açıklamışlardır. Sonuçlara göre ısıl işlemler sonucu Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının yoğunluk, sertlik, çekme dayanımı ve kopma uzamasının azaldığını belirtmişlerdir. Yapılan farklı çalışmalardaki değerlendirmeler incelendiğinde; T5 ısıl işlemi sonucunda mekanik özelliklerde gözlemlenen azalmayı döküm sırasında dengesiz soğumanın oluşturduğu artık gerilmelerin azalması ve metastabil fazların dönüşmesi ile açıklamışlardır. Ayrıca kopma uzamasında T5 ısıl işlemi sonucunda görülen azalmanın  $\epsilon$  fazının parçalanarak keskin kenarlı ince parçacıklar oluşturmasından kaynaklandığı belirtmişlerdir. T7 ısıl işlemi sonucunda malzemede elde edilen sertliğin ve mukavemetin düşüşünü ise aşırı yaşlandırma sürecinde gerilmelerin azalması ve tane büyümesi ile açıklamışlardır (Savaşkan ve Hekimoğlu, 2011: 430).

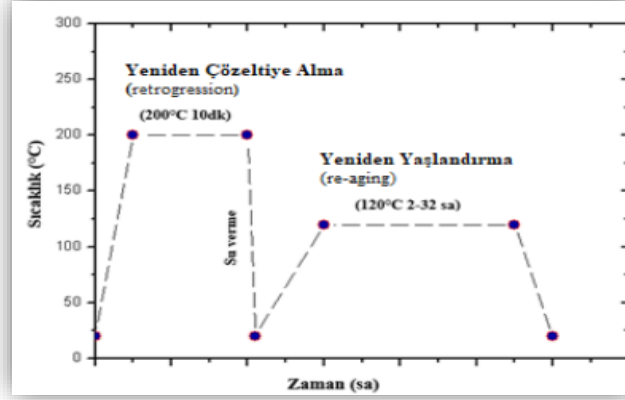
**Tablo 1** - Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının ısıl işlem sonucunda elde edilen mekanik özellikler (Savaşkan ve Hekimoğlu, 2011: 430).

Alaşım	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Sertlik (RSD-F)	Çekme dayanımı (MPa)	Kopma uzaması (%)
Zn-15Al-3Cu-1Si	5696,70	92	314	1,9
Zn-15Al-3Cu-1Si (T5)	5670,45	82	240	0,8
Zn-15Al-3Cu-1Si (T7)	5677,10	85	295	1,6

Altuntaş ve Bostan (2021) tarafından yapılan bir çalışmada yataklama malzemesi olarak kullanılan daha önceden T651 ısıl işlemi uygulanmış Al-Zn-Mg-Cu (Al 7075) alaşımı kullanılarak, yeniden yaşlandırma ve farklı yeniden çözültüye alma (RRA) sürelerine bağlı olarak ısıl işlemler sonucunda görülen değişimleri incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarında aynı alaşımdan 6 parça 200 °C’de 10 dakika bekletildikten sonra oda sıcaklığında soğutulularak yeniden çözültüye alma adımı uygulamışlardır. Ardından argon atmosferi korumalı fırında 120 °C’de farklı sürelerde (2-4-8-16-24-32 saat) yeniden yaşlandırma işlemi uygulamışlardır. Şekil 9’da çalışmalarında uyguladıkları RRA



ısl çevrim diyagramı verilmiştir. Elde edilen numunelerin SEM analizlerini, sertlikleri ölçümlerini, EDS ve mapping analizleri ile elemental dağılımlarını incelemişlerdir. XRD analizi ile düzlemler arası mesafe ve gerilim değerleri hesaplamışlardır.

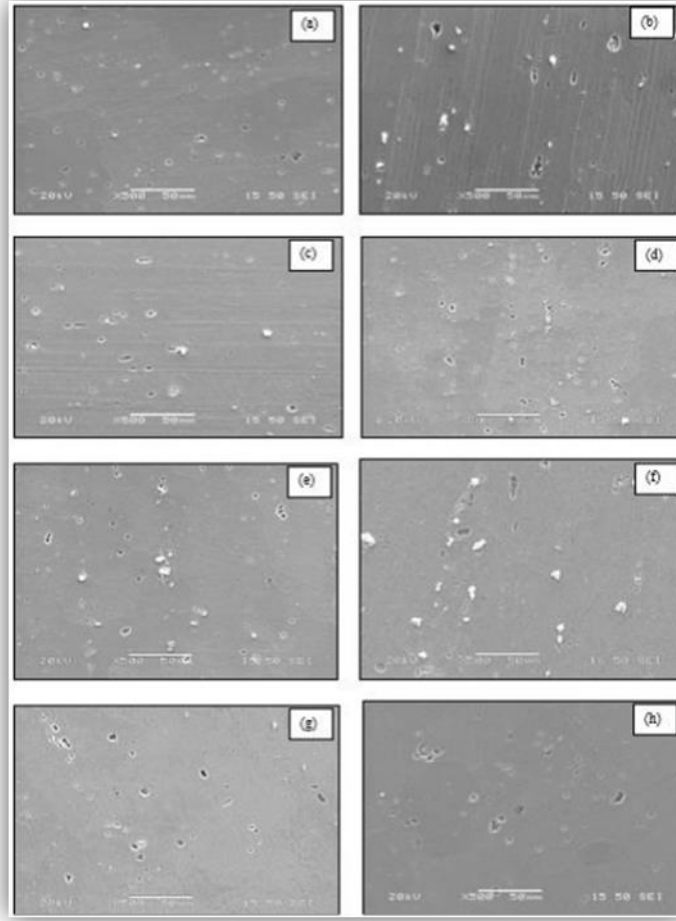


Şekil 9. RRA ısıl çevrim diyagramı (Altuntaş ve Bostan, 2021: 5).

Deneysel çalışmalar sonucunda elde ettikleri sertlik değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Önceden T651 ısıl işlemi uygulanan Al 7075 alaşımının (A) sertlik değerini 255 HV1 ve yeniden çözeltiyeye alınıp suda soğutulan ve yaşlandırılmayan ilk numunenin (B) sertlik değeri 199 HV1 olarak ölçmüşlerdir. Sertliğin ısıl işlem sonucunda oluşan faz yapısının çözünmesi ile değiştiğini belirtmişlerdir. Yeniden çözeltiyeye alınıp suda soğutulduktan sonra 120 °C'de yeniden yaşlandırılan numunelerin sertliklerinin 24 saate kadar artmakta ve daha sonra azalmakta olduğunu rapor etmişlerdir. 24 saatten sonra yapının sertliğinin azalmasını aşırı yaşlanmadan dolayı kafes yapısında çarpılmaların azalması ile açıklamışlardır. Şekil 10'da RRA ısıl işlemi sonucunda elde ettikleri numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir.

Tablo 2 - Numunelerin sertlik değerleri (Altuntaş ve Bostan, 2021: 5).

	(A)	(B)	2 saat	4 saat	8 saat	16 saat	24 saat	32 saat
Sertlik HV1	255	199	220	224	230	241	258	252



**Şekil 10.** a) A, b) B, c) 2 saat, d) 4 saat, e) 8 saat, f)16 saat, g) 24 saat ve h) 32 saat RRA ısıl işlemi uygulanmış numunelerin SEM görüntüleri (Altuntaş ve Bostan, 2021: 6).

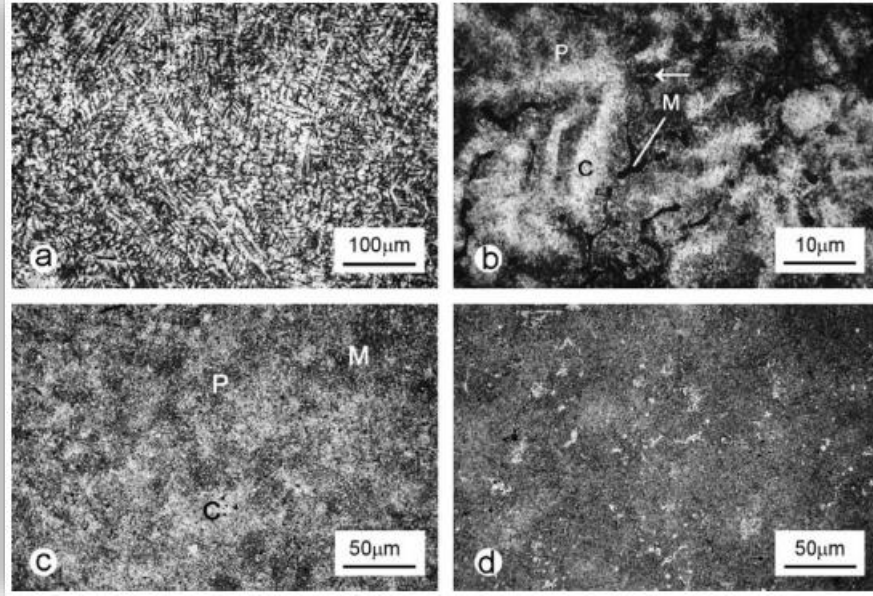
Babic vd., (2010) tarafından yapılan bir çalışmada; yataklama malzemesi olarak kullanılan çinko-alüminyum (ZA-27) alaşımına iki farklı ısıl işlem uygulayarak mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan ısıl işlemlerde 370 °C'de 3 ve 5 saat çözeltiye alma ve suda soğutma adımları uygulamışlardır. Isıl işlemler sonucunda düşen sertliğe karşın geliştirilen sürtünme özelliğini dendrit yapının yok edilmesi ile açıklamışlardır. Yaptıkları ısıl işlemler sonucunda malzemenin değişen mekanik özellikleri Tablo 3'te verilmiştir. Sonuçlara göre; ısıl işlemlerle çekme dayanımının ve sertliğin düştüğünü ancak uzama değerini arttırdığını belirtmişlerdir.

**Tablo 3** - Isıl işlem öncesi ve sonrası mekanik özellikler (Babic vd.; 2010: 18).

Alaşım	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (HB)
ZA-27	318	2.4	138
ZA-27 (3 saat Isıl işlem)	301	5.2	121
ZA-27 (5 saat Isıl işlem)	283	6.4	121

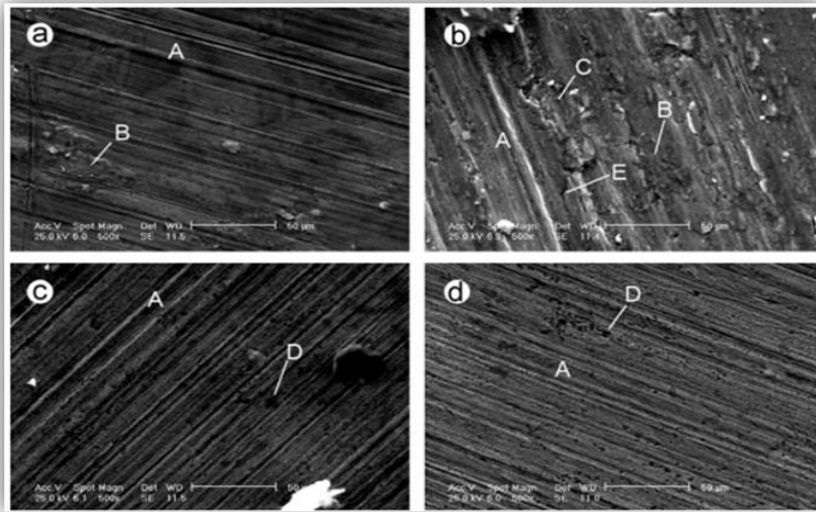
Aynı çalışmada ısıl işlemin mekanik özellikler üzerine etkisini daha iyi anlamak için mikroyapılar da incelenmiştir. Şekil 11 (a) ve (b) görsellerinde ısıl işlem uygulanmamış ZA-27 alaşımının mikroyapısı, Şekil 11 (c)'de 3 saat, Şekil 11 (d)'de 5 saat ısıl işlem uygulanmış numunelerin

mikroyapısı verilmiştir. Isıl işlem uygulanmamış alaşımın mikroyapısında intermetalik bölgelerde  $\alpha+\eta$  ötektoid fazı, kalıntı  $\eta$  fazı ve  $\epsilon$  fazı ile çevrili birincil  $\alpha$  dendritlerinden oluşan dendritik yapı olduğunu rapor etmişlerdir. Isıl işlem sonrası mikroyapının daha homojen bir hal aldığı belirtmişlerdir.



**Şekil 11.** (a) ve (b) ZA-27 alaşımı, (c) 3 saat ısıl işlem uygulanmış ve (d) 5 saat ısıl işlem uygulanmış numunelerin mikroyapısı (Babic vd.; 2010: 18).

Babic vd., (2010) çalışmalarında ısıl işlemin aşınmaya etkilerini de incelemişlerdir. Yaptıkları aşınma testleri sonucunda elde edilen aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri Şekil 12’de görülmektedir. Isıl işlem görmüş numunelerin aşınma yüzeylerindeki deformasyonların sığ oluklarla birlikte nispeten pürüzsüz olduğunu, aşınan yüzeylerde herhangi bir aşındırıcı bulaşmadığını belirtmişlerdir. Buna karşın ısıl işlem uygulanmamış alaşımda daha derin oluklar, hasarlar ve lekeler ile birlikte daha pürüzlü aşınmış yüzey oluştuğunu rapor etmişlerdir.



**Şekil 12.** (a) ve (b) ısıl işlem uygulanmamış ZA-27 alaşımının, (c) 3 saat (d) 5 saat ısıl işlem uygulanmış alaşımların aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri (Babic vd.; 2010: 20).

## GENEL DEĞERLENDİRME

Literatür incelemelerinden elde edilen bulgulara bakıldığında araştırmalarda yataklama elemanları için kullanılan alaşımların ısıl işlem uygulamalarında çeşitlilik olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak yataklama elemanlarına yapılan ısıl işlemler; sertlik, mekanik özellikler ve mikroyapının istenen değerlerde olmasını sağlamak amacıyla, parçaya uygulanan bir dizi ısıtma ve soğutma işlemi olarak verilmiştir. Birçok çalışmada optimum parametreleri elde etmek için farklı ısıl işlem prosesleri ve parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Genel olarak çalışmalardan elde edilenler aşağıda maddeler halinde verilmektedir:

- Uygulanan birçok ısıl işlemde alaşımdaki dendritik yapının ısıl işlem sonucunda parçalanarak azaltıldığı ve yok edildiği belirtilmiştir.
- Isıl işlemler sonucunda çekme dayanımı ve sertlik değerlerinin süre ve sıcaklık parametrelerine göre düşme veya yükselme eğilimde olabileceği belirtilmiştir.
- Isıl işlem prosesinin aşınma özelliğini geliştirildiği vurgulanmıştır. Bunun sebebi; ısıl işlem ile daha ince ve daha düzgün dağılmış mikro bileşenlerin varlığı ve düşük çatlama eğilimi ile açıklanmıştır.

## KAYNAKÇA

Altuntaş, G., ve Bostan, B., (2021), Al–Zn–Mg–Cu Alaşımının Kristalografisine RRA Isıl İşlemi Etkilerinin İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 1-1.

Babic, M., Mitrovic, S., ve Jeremic, B. (2010). The influence of heat treatment on the sliding wear behavior of a ZA-27 alloy. *Tribology international*, 43(1-2), 16-21.

Güven, Ş. Y., ve Çelik, D. (2019). SAE 4340 Çeliğinde Isıl İşlem Parametrelerinin Yorulma ve Mikro Yapı Üzerine Etkisi (makale). *Teknik Bilimler Dergisi*, 8(2), 55-61.

<https://otomobilteknoloji.blogspot.com/2018/08/pistonun-parcalari-kisimlari-yapisal-ozellikleri.html> (Erişim Tarihi: 20.04.2022)

<https://www.yeniatmaca.com/anayatak#:~:text=Motor%20blo%C4%9Funda%20s%C4%B1ralanm%C4%B1%C5%9F%20halde%20bulunan,krank%20miliyle%20s%C3%BCrekli%20etki le%C5%9Fim%20halindedir> (Erişim Tarihi: 20.04.2022)

<https://yenmak.com.tr/tr/motor-yatagi> (Erişim Tarihi: 20.04.2022)

Işıksoluğu M.A. (2005), Motorlu Araçlar Teknolojisi: Motor Yataklarını Yenileştirme, Milli Eğitim Basımevi, Ankara

Khurmi, R. S., ve Gupta, J. K. (2005). A textbook of machine design. S. Chand publishing

Menteşe, E. B., Aydoğan, F., ve Saklakoğlu, N. (2019) *AlSi10Mg alaşımlı döküm parçalar için ısıtma işlemi sürecinde optimizasyon çalışmaları*. Tüdoksad Akademi 2.Ulusal Döküm Kongresi.

Myagkov, L. L., Mahkamov, K., Chainov, N. D., ve Makhkamova, I. (2014). Advanced and conventional internal combustion engine materials. In *Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance* (pp. 370-408). Woodhead Publishing.

Rajan, T. S., Sharma, C. P., ve Sharma, A. K. (2011). Heat treatment: principles and techniques. PHI Learning Pvt. Ltd.)

Savaşkan, T., ve Hekimoğlu, A. P. (2019), T5 ve T7 Isıl işlemlerinin Zn-15Al-3Cu-1Si alaşımının yağlı çalışma koşullarındaki sürtünme ve aşınma özelliklerine etkilerinin incelenmesi. SETSCI Conference Proceedings, 4 (1): 427-433.

Totten, G. E. (Ed.). (2006). *Steel heat treatment: metallurgy and technologies*. CRC press.

## 2024 ve 7075 Alüminyum Alaşımında Kaynak İşlemleri ve Özelliklere Etkisi

İlayda TÜRKMAN<sup>1</sup>

Selin AK<sup>2</sup>

Gizem KARABULUT<sup>3</sup>

Nuray BEKÖZ ÜLLEN<sup>4</sup>

### Giriş

Malzemelerin genellikle tercih edilip kullanılmasını sağlayan en önemli unsurları fiziksel ve mekanik özellikleridir. Bunun yanı sıra kaynak edilebilirliği ve kolay şekillendirilebilmesi de gelmektedir. Alüminyum alaşımlarının sahip olduğu düşük yoğunluk, yüksek şekillendirilebilme kolaylığı, yüksek korozyon dayanımı, fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilebilmesi özellikleri sayesinde endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır (İpekoğlu, 2011:1-3). Alüminyum ve alaşımlarının en sık tercih edildiği alan ulaşım özellikle havacılık endüstrisidir. Ulaşım endüstrisinde ise en çok paya sahip olan otomobil üretimidir. Uçak ve otomobil sanayisinde yoğun olarak tercih edilmesinin ana nedeni hafiflikten kaynaklı çok daha az enerji tüketimi ve buna bağlı olarak yük kapasitesinin fazla olmasıdır (Ozan, 2019:3-4).

Alüminyum alaşımlarının kullanım alanları göz önüne alındığında kaynaklı bağlantıların gerekliliği ve yapılan kaynağın kabul edilebilir ölçüde olması önemlidir. Alüminyum alaşımları çeşitli kaynak yöntemleriyle kaynak edilebilirler. Ancak kaynak işlemi sonrası yapılarda çeşitli sorunlarla karşılaşabilmektedir. Alüminyum alaşımlarının Tungsten inert gaz (TIG), Metal inert gaz (MIG), lazer, elektron ışın kaynağı (EBW) gibi ergitme kaynak yöntemleriyle birleştirmelerinde oluşan istenmeyen faz oluşumu, tane irileşmesi ve metalurjik değişiklikler bu alaşımların kaynak edilebilirliklerini olumsuz şekilde etkilemektedir. Ergitme kaynak işlemlerinde kaynaklanan bölgedeki sıcaklık kaynaklara metal parçanın ergime sıcaklıklarının üstüne ulaştığından çoğu zaman dolgu metali kullanımı tercih edilir. Ergitme kaynak prosesinde, kaynak edilen metal parça başlangıçta eriyip ardından katılaşmaya başladığından malzemenin ergime-katılaşma durumu, gözenek ve çatlak oluşumu gibi kaynak hatalarına ve ısı tesiri altında kalan bölgede mekanik özelliklerin azalmasına neden olur. Alüminyum alaşımlarının kaynaklanmasında bunun gibi sorunlarla sıklıkla karşılaşıldığı için ergitme kaynak yöntemleri kullanımının yerine üretici firmalar tarafından başka kaynak yöntem arayışlarına gidilmiştir. Alüminyum alaşımlarının kaynak edilmesinde dikkat edilmelidir ayrıca kaynak öncesi ve sonrası ısı işlem gibi önlemler alınmalı ya da kaynak işlemi soruna neden olmayacak derecede yüksek hızlarda yapılmalıdır. Yaşanan problemler göz önüne alındığında çok farklı malzemeleri bile sorunsuz bir şekilde kaynak edebilen katı hal kaynak yöntemlerinden biri olan “sürtünme kaynak yöntemi” çok avantajlı çözümler sunmaktadır (Sarsılmaz vd., 2012: 260-263; Da Silva vd., 2011: 2022-2024; Büyükarşlan, 2006:27-38). Katı hal kaynak işleminde bahsedilen ergitme durumu ile karşılaşılmaz. Bu kaynak işlemlerinde, kaynak edilen metallerin ergime sıcaklığının altındaki sıcaklıkta ve belirli bir süre ve basınç değeri altında metallerin birbirleri içerisine difüzyonu sonucu kaynak edilmiş olur ve herhangi bir dolgu metali

---

<sup>1</sup> Öğrenci, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Orcid: 0000-0003-4472-7562

<sup>2</sup> Öğrenci, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Orcid: 0000-0002-7765-2790

<sup>3</sup> Araş. Gör., İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Orcid: 0000-0003-0930-5380

<sup>4</sup> Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Orcid: 0000-0003-2705-2559

gerektirmez. Bu durum özellikle alüminyum alaşımlarının kaynaklanmasında birçok avantaj sağlar. (İpekoğlu, 2011:1-2). Sürtünme kaynağı, iki parçanın aynı eksen üzerinde alın altına temas ettirilerek bir parçanın dönerken diğerinin basınç yardımıyla dönen parçaya belli bir basınç ve süre temas etmesi ile sürünmesi sonucu oluşan ısıdan yararlanılarak gerçekleşen bir katı hal kaynağıdır. Alüminyum alaşımlarının sürtünme kaynağı ile birleştirilmesi oldukça yeni bir teknoloji olup birçok araştırmacı için araştırma konusu olmuştur (Cavalier vd., 2005:3671).

Alüminyum alaşımları sekiz seriden oluşmaktadır. Bunlar; 1XXX, 2XXX, 3XXX, 4XXX, 5XXX, 6XXX, 7XXX ve 8XXX olarak adlandırılır. Havacılık endüstrisinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılan; yaşlandırılabilir 2XXX alaşımı ve çökeltme yoluyla sertleştirilmiş 7XXX serisi alüminyum alaşımı ise yüksek mukavemetli, yorulma ve korozyona karşı dayanıklı kaynaklı birleştirmelerin üretimindeki güçlükler, uçak parçalarının kaynakla birleştirme yöntemini uzun bir süre engellemiştir. Bu alüminyum alaşımları, ergime bölgesinde sergiledikleri kötü katılaşma yapısı, metalurjik yapısı ve gözenekli yapısından dolayı genelde “kaynaklanabilirliği iyi değil” olarak değerlendirilmiştir. Kaynak yapılmamış ana malzemeyle karşılaştırıldığında mekanik özellikleri de azalmaktadır. Bu nedenler bu alaşımların kaynak edilmesinde geleneksel kaynak birleştirmelerinin kullanımını sınırlamıştır. Bu yüzden havacılık sektöründe yapısal kaynak birleştirmelerin büyük bir bölümünde perçinli birleştirme kullanılmaktadır. Bu üretim tekniğinde; yüksek maliyetlere, perçin deliklerinde korozyona, imalat zorluklarına ve gerilme yoğunlaşmalarına neden olmaktadır. Yaşanan bu süreç katı faz kaynağı olarak bilinen sürtünme karıştırma kaynağının geliştirilmesi ile ortadan kaldırılmıştır (Dalkılıç, 2012:26-27; Rajakumar, vd., 2011:536; Cavaliere ve Panella; 2008:251-252; Çevik vd., 2012:369-370; Aydın, 2008:1-4). Ancak, alüminyum alaşımlarının kullanım alanındaki kaynak gereksinimi buna karşılık kaynak yöntemindeki seçim darlığı ve yaşanan problemler bu konuda daha fazla çalışma yapılmasının önünü açmıştır. Bu çalışmada; 2024 ve 7075 alüminyum alaşımlarının kaynaklanabilme özellikleri ve tercih edilen kaynak yöntemlerinin malzemenin mekanik özelliklerine etkileri, özellikle çeşitli sektörlerde kullanım alanları literatür incelemeleri doğrultusunda derlenerek düzenlenmiştir.

## ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Alüminyumun düşük yoğunluk, iyi haddelenebilme özelliği, iyi elektriksel iletkenlik, manyetik davranış göstermemesi, mükemmel korozyon direnci gibi mükemmel sayılabilecek özelliklerinin yanında, dökülebilirlik, kaynak edilebilme ve mekanik özellikleri o kadar iyi değildir. Özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla alüminyuma bazı alaşım elementleri katılır. Alüminyuma ilave edilen metale göre bir sınıflandırma yapılır. Bu sınıflandırma sisteminde birinci rakam, alüminyuma ilave edilen esas metali gösterir (Büyükarıslan 2006:5-8; Gülbudak, 2013:14).

- 1XXX: Alaşımsız alüminyum
- 2XXX: Bakırlı alüminyum alaşımı
- 3XXX: Manganezli alüminyum alaşımı
- 4XXX: Silisyumlu alüminyum alaşımı
- 5XXX: Magnezyumlu alüminyum alaşımı
- 6XXX: Silisyum ve magnezyumlu alüminyum alaşımı
- 7XXX: Çinkolu alüminyum alaşımları
- 8XXX: Demir ve Silisyumlu alüminyum alaşımı

## 1XXX Serisi

Ağırlıkça en az %99 alüminyum içeren alaşım elementleridir. Çok az oranda silisyum ve demir gibi alaşım elementi içerebilirler (Gülbudak, 2013:15). Isıl işlem yöntemi uygulanamaz, elektrik ve ısıyı iyi iletir, kaynaklanabilme kabiliyeti yüksektir fakat mukavemeti çok düşüktür. İşlenebilirliği ve korozyon direnci en yüksek alüminyum alaşımı serisidir. Alüminyum folyo, kapı ve pencere profili yapımı gibi alanlarda tercih edilirler (Ozan, 2019:25).

## 2XXX Serisi

Duralüminum olarak da bilinen bakır ile alaşımlandırılmış alüminyum alaşımını içeren ve en yaygın kullanım alanı bulan alüminyum serisi alaşımlardır. Korozyona karşı direnci düşüktür fakat yüksek sertlik ve mukavemet özelliklerine sahiptir (Gülbudak, 2013:15-16). Isıl işlem ve soğuk şekillendirme yöntemleri kullanılabilir. Sıcak çatlak oluşumu yaşanabileceği için ergitme kaynağı yöntemine uygun değildir. Dayanımı ve hafifliği sayesinde; otomotiv, havacılık ve uzay sanayisi gibi alanlarda sıklıkla tercih edilir (Ozan, 2019:30). Endüstride çok fazla kullanıldığı için bu serinin en çok tercih edileni AA2024 alaşımıdır. Isıl işleme tabi tutulabilecek alaşımlar içinde ilk olması ve yaşlanma sertleşmesi özelliğinden olayı alüminyum serileri içinde en çok tercih edileni alaşımdır. AA2024 alaşımının kimyasal bileşimi ve ısıl işlem proseslerine göre kazandıkları mekanik özellikleri gösteren değerler sırasıyla Tablo 1 ve 2'de verilmektedir. Uçak yapısında, perçinlerde, karışık şekilli malzemelerde yoğun olarak tercih edilir (Gülbudak, 2013:16).

**Tablo 1** – 2024 Alüminyum Alaşımının Kimyasal Bileşimi (ağ. %) (Avas Metal, 2017)

Fe	Si	Cu	Cr	Mn	Mg	Zn	Zi+Ti	Diğer	Al
0.5	0.5	3.8-4.9	0.1	0.3-0.9	1.2-1.8	0.25	0.15	0.15	Kalan

**Tablo 2** – 2024 Alüminyum Alaşımının Mekanik Özellikleri (Avas Metal, 2017)

Temper	Akma Mukavemeti (MPa) Min.-Maks.	Çekme Mukavemeti (MPa) Min.-Maks.	Uzama (%50) Min.-Maks.	Sertlik (Brinell) Min.-Maks.
0	75	185	20	55
T3	340	475	18	120
T4	315-330	440-465	20	120
T8	450	485	6	130

## 3XXX Serisi

Mangan ile alaşımlandırılmış, ağırlıkça maksimum %1,5 mangan, çok az oranda demir ve silisyum elementleri içeren alaşım serisidir. Isıl işlemle sertleştirilemez buna karşı soğuk şekillendirme yöntemiyle mukavemeti artırılabilir. Kolay şekillendirilebilir ve korozyona karşı direnci yüksektir. Ergitme kaynak yöntemi tercih edilebilir. İçecek kutusu, radyatör ve cephe kaplama gibi kullanım alanları vardır (Ozan, 2019:25).



#### 4XXX Serisi

Temel alaşım elementi silisyumdur. Isıl işlem yöntemi uygulanamaz fakat soğuk şekillendirme yöntemi ile sertliği arttırılabilir. Esneklik ve düşük ergime sıcaklığı bu serinin en önemli özelliğidir (Ozan, 2019:26). Yüksek akıcılık özelliği sayesinde bu alaşımlar genellikle kaynak yönteminde dolgu metali olarak kullanılırlar (Eşit, 2006:10).

#### 5XXX Serisi

Bu serinin temel alaşım elementi magnezyumdur. Magnezyum miktarı arttıkça süneklik azalırken, sertlik ve mukavemet değeri artar (Akça, 2006:28). Isıl işlem uygulanmayan bu seri iyi kaynak edilebilirliklerinin yanında yüksek oksidasyon direnci gösterdiklerinden gemilerde de kullanılmaktadır. Gerilmeli korozyon çatlamasını engellemek için %3,5 üzerinde magnezyum içeren alaşımlarda 65°C'nin üzerindeki işlem sıcaklıklarında ve soğuk deformasyon miktarında belirli kısıtlamalarda, düşük sıcaklıklarda depolama gerektiren basınçlı tanklarda, damperli kamyon gövdelerinde kullanılmaktadır (Yalçın, 2010:6; Gülbudak, 2013:17-18).

#### 6XXX Serisi

Silisyum ve magnezyum ile alaşımlandırılmış, ısıl işlem ve yaşlandırma uygulanabilen seridir. Magnezyum silikat ( $Mg_2Si$ ) intermetalik bileşiği oluşacak oranda magnezyum ve silisyum ile alaşımlama yapılır ve çökelti sertleştirilmesi ile mekanik özelliklerinde iyileşme sağlanır (Gülbudak, 2013:19). Bu serinin mekanik özelliklerinde yaşanan artış, 2xxx ve 7xxx serisinde sağlanandan daha düşüktür. Talaşlı işleme kabiliyeti, kaynak edilebilirlikleri ve şekillendirilebilme özellikleri iyidir. Yüksek korozyon direnci gereken durumlarda tercih edilirler (Tanrıöver, 2008:14-15). Kaynaklı yapılarda, mimari uygulamalarda, köprülerde ve ulaşım endüstrisinde genellikle tercih edilir (Yalçın, 2010:6-7).

#### 7XXX Serisi

Bu alaşım serisi bütün alüminyum alaşımları içinde en mukavemetli olanlarıdır. %1-8 çinko içeren alaşım serisidir (Yalçın, 2010:7). Çinko, magnezyum ile birlikte kullanıldığında  $MgZn_2$  intermetalik bileşiği oluşur. Magnezyum ile birlikte çinko, alüminyum içerisinde çözünmelerinden kaynaklı yüksek yoğunluklu çözeltilerin oluşmasına sebebiyet verir ve dayanımın artması sağlanır. Gerilme korozyon direnci yüksek olan alüminyum-çinko alaşımına, çatlama problemi yaşanmaması için yaşlandırma işlemi yapılır. Bu işle sonrası mukavemet ve kırılma dayanımı, tokluğu ve korozyon direnci yüksek bir yapı elde edilir. 7XXX alaşımları uçak gövde yapımında kullanılmaktadır (Gülbudak, 2013:19). 7075 alaşımı, uçak yapı elemanları için sıklıkla tercih edilmektedir. Rijitide modülü  $14.927 \text{ N/cm}^2$ 'dir. 20°C'deki yoğunluğu  $2,80 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Poisson oranı 0,33'tür. Kesme mukavemeti, çekme gerilmesi mukavemetinin yaklaşık %55'idir. 260-455°C arasında sıcak çalışılabilir. Tam tavlama 413°C'de 2-3 saat bekletmeye yapılır ve devamında havada soğutulur. Malzeme kullanılmadan önce bir sürü depolanacaksa, 232°C'de yeni bir ısıtmaya tabi tutulmalıdır. 7075-T6 alaşımının çekme dayanımı oldukça yüksek olduğundan yüksek dayanım gerektiren yerlerde kullanılmaktadır (Tanrıöver, 2008:15-16). Tablo 3'te 7075 alaşımının temper şartlarına bağlı olarak değişen mekanik özellikleri görülmektedir.

**Tablo 3 – 7075 Alaşımının Temperleme Şartlarına Göre Mekanik Özellikleri (İpekoğlu, 2011:21)**

Temper	Çekme Dayanımı MPa	Akma Sınırı MPa	Uzama %	Brinell Sertliği 500 kg, 10 mm, %30	Kesme Mukavemeti MPa
O	228	103	17	60	152
T6,T651	572	503	11	150	331
T73	503	434	...	...	...

### 8XXX Serisi

Silisyum ve demir içeren alüminyum alaşım serisidir. Dökme alüminyumun Sn'li alaşımları yaşlandırılabilirler (Gülbudak, 2013:20).

### 2024 VE 7075 ALAŞIMLARINA UYGULANAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

Şekillendirilebilir alaşımlar arasında gaz korumalı ark süreçleriyle en büyük kolaylıkla kaynak edilebilenler, ısı işlem kabul etmez 1XXX, 3XXX ve 5XXX serileridir. 6XXX serilerindeki ısı işlem kabul etmeyenler de kolayca kaynak edilebilirler. 4XXX ile yüksek mukavemetli serilerinin ve ısı işlem kabul eden 2XXX serilerinin 2024 alaşımı da arka kaynak edilebilirlerse de, özel tekniklerinin uygulanması gerekebilir ve daha düşük bir süneklik elde edilebilir. Yüksek mukavemetli, ısı işlem kabul eden 7XXX serilerinden 7075 alaşımı kaynak edilebilir ama bunların IEB'leri (ısıdan etkilenen bölge) gevrek olur; dolayısı ile de bunların kaynak edilmeleri tavsiye edilmez. (Taban, 2005:41-42; Büyükarslan 2006:12-29; Eşit, 2006:14). Alüminyum alaşımlarına uygulanabilen çeşitli kaynak türleri ve özellikleri aşağıdaki Tablo 4'te verilmiştir.

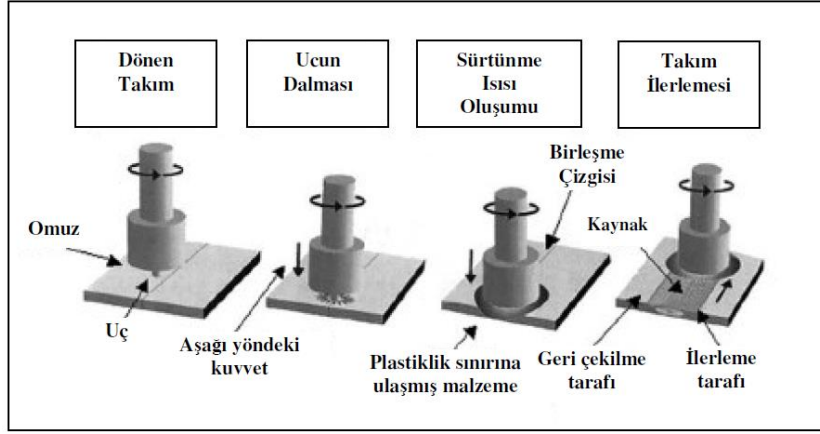
**Tablo 4 – Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Kaynak Yöntemleri ve Özellikleri (Eşit, 2006:14-15)**

Yöntem	Özellik
TIG	Yüksek kalite, her pozisyonda kullanılabilen tüketilmeyen elektrod, tel ilaveli veya ilavesiz, manuel, mekanik veya tamamen otomatik, sıcak tel ilaveleri ile yükseltilebilen düşük kaynak hızı, düz veya darbeli akım
MIG	Yüksek kalite, her pozisyonda kullanılabilen beslemeli tüketilir elektrod, manuel, mekanik veya tamamen otomatik, yüksek kaynak hızı, düz veya darbeli akım
Manuel metal ark	Sınırlı uygulama alanı, flaks-kaplı tüketilir elektrod, gerilmesiz bağlantı, demode yöntem
Oxy-gaz	Düşük kaynak kalitesi, gerilmesiz bağlantı, demode yöntem
Lazer kaynağı	Hassas ve yüksek kalitede kaynak, uzay, havacılık, elektronik ve savunma sanayiinde yaygın kullanım, yüksek yatırım maliyeti
Elektro-gaz, elektro-curuf, gaz altı kaynağı	Sınırlı uygulamalarda kullanılır ve porozite problemi görülür. Oldukça eski bir yöntemdir.

Manyetik tahrikli ark alın kaynağı	Borulardaki alın kaynağında kullanılır, flash kaynağına göre daha az yatırım maliyeti gerektiren tamamen otomatikleşmiş sistemlerde yapılır
Nokta, nokta dikiş kaynağı	Metalik saçların bağlantı noktalarında, otomotiv, mutfak eşyaları ve uzay endüstrisinde kullanılır, yüksek yatırım maliyetine karşı yüksek verimliliğe sahip
Kaynaklı bağlantı	Nokta kaynağı ile yapıştırıcı bağlantıların bir kombinasyonu olup, mükemmel yorulma mukavemeti sağlar, otomotiv endüstrisinde kullanılır
Yüksek frekanslı indüksiyon dikiş kaynağı	Alın bağlantısı şeklinde yapılır, şeritten boru yapımında kullanılır. Yüksek yatırım maliyeti gerektirir ancak yüksek üretim hızına sahiptir.
Flash alın kaynağı	Metalik saçlarda, çubuk ve delikli bölümlerde çizgisel ve açılı alın bağlantı uygulamalarında, farklı metallerin kaynağında. Yüksek yatırım maliyetine karşılık yüksek üretim hızı
Kondansatör, kapasitör boşaltma	Maksimum 6 mm çaplı stud kaynağı; yalıtım pimleri, tava tutacakları, otomobil trimleri ve elektrik kontak yerlerinde
Drawn ark	5-12 mm çaplı stud kaynağında
Sürtünme kaynağı	Yuvarlak veya dikdörtgen çubuk veya içi boş bölümlerin alın kaynağında, düz plaka veya yuvarlatılmış bölümlerin alın kaynağında, farklı metallerin kaynaklanmasında kullanılır. Yüksek yatırım maliyeti gerektirir.
Patlamalı kaynak	Boru hatlarının bağlantısında, farklı metallerin kaynağında veya kaplama amaçlı kaynaklarda kullanılır.
Ultrasonik kaynak	Folyo kaynağında, elektrik bağlantı uç amaçlı yapılan Al-Cu kaynağında
Soğuk basınçlı kaynak	Al-Cu, Al-Çelik veya alüminyum levhaların ve tellerin kaynağında kullanılır.
Sıcak basınçlı kaynak	Kenardan kenara alın kaynağında kullanılır.

Al alaşımlarının ergitme kaynak yöntemleriyle birleştirilmesi sorunlu olduğundan bu sorunları gidermek amaçlı yeni geliştirilen bir katı hal kaynak yöntemi olan sürtünme karıştırma kaynağı kullanılmaktadır (İpekoğlu, 2011:34-35). Günümüzde genellikle sağladığı üstünlük ve kolaylıklar sebebiyle sürtünme karıştırma kaynağı kullanılsa da, bu yöntem geliştirilmeden önce TIG kaynak yöntemi gibi gazaltı ark kaynak yöntemleriyle kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Özellikle 2024 ve 7075 alüminyum alaşımlarının kaynağında sıklıkla Sürtünme Karıştırma Kaynak (SKK) yöntemi tercih edilmektedir.

Sürtünme karıştırma kaynağı, kaynakla birleştirilmesi istenen malzemelerin ergime sıcaklığı altındaki bir sıcaklıkta işleme tabii tutulan bir çeşit katı hal kaynak yöntemidir (Sönmez ve Başak, 2017:600-601). Bu yöntem, en fazla ergitme kaynak yöntemiyle yapılan kaynaklarda çok problemlili olan ya da genellikle ergitme kaynak yöntemiyle birleştirilemediği kabul edilen 2XXX ve 7XXX gibi alüminyum alaşımlarının kaynağında başarı sağlamıştır. SKK'de ergime söz konusu olmadığı için ergitme kaynak yöntemlerinde karşılaşılan ergime sebepli kaynak hataları görülmez. Ayrıca dolgu metali ve koruyucu gaz gerektirmez (İpekoğlu, 2011:34-36). Şekil 1'de şematik olarak sürtünme karıştırma kaynak yönteminin uygulanması gösterilmiştir.



Şekil 1. Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin şematik gösterimi (Lomolino vd., 2005:306)

Kaynaklanacak bölge boyunca belirli bir ilerleme ve dönme hızında hareket eden omuz ve pimden oluşur. Alın altına sabitlenmiş levhalar arasında omuz ve pimin oluşturduğu sürtünmeden kaynaklı ısı girdisi mevcuttur. Fakat bu ısı girdisi malzemenin ergitme sıcaklığının altındaki bir sıcaklıktadır. Bu sayede ergitmenin neden olduğu kaynak hataları oluşmaz ve ısı tesiri altında kalan bölgenin mekanik özellikleri diğer yöntemlere göre daha yüksektir. Batıcı ucun omuz kısmı kaynaklanacak bölge boyunca levhaların yüzeyini sıyırarak ilerler, batıcı ucun malzeme içinde kalan ve pim olarak isimlendirilen kısmı üzerindeki helisel oyuklar yardımıyla plastik deformasyona uğramış malzemeleri karıştırarak birleşmelerini sağlar (İpekoğlu, 2011:35-36).

Sürtünme karıştırma kaynağı havacılık, uzay, gemi inşaatı, raylı taşıt ve otomotiv sanayisinde kullanılan 2XXX, 5XXX, 6XXX, 7XXX ve 8XXX serisi alüminyum alaşımlarında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. 7XXX serisi havacılık sanayisinde sıklıkla tercih edilen çökeltme yoluyla sertleştirilmiş malzemelerdir. Bu seride yer alan 7075 alüminyum alaşımı düşük özgül ağırlık ve yüksek dayanıma sahiptir. Bu üstün özellikleri sayesinde uçak yapısında sıklıkla kullanılır (Çevik vd., 2012:369-370). Dolayısıyla 7075 alüminyum alaşımının kaynağında karşılaşılabilecek hataların minimum seviyede tutulması önem teşkil etmektedir. Sahip olduğu dayanımı, hafifliği, sertliği ve mukavemeti sayesinde 2024 alüminyum alaşımı uçak gövdesi veya kanatlar gibi yapısal elemanlarda sıklıkla tercih edilir. Bu alaşımın uçak sanayisinde çok fazla tercih edilmesinin en önemli sebepleri; kaynak işleminden sonra ısı tesiri altında kalan bölgede oluşacak çatlakların ilerlememesi, yorulmadaki yüksek gerilimin azalması ve uç kısımlarda oluşan zararı minimuma indirmesidir. Bu yüzden kaynak işleminde yüksek ısı girdisi nedeniyle ergitme kaynak yöntemlerinin tercih edilmesi olası değildir. 2024 alüminyum alaşımının birleştirilmesinde katı hal kaynak yönteminin kullanılması büyük bir avantaj sağlamaktadır (Tanrıöver, 2008:1-4).

## 2024 VE 7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KAYNAK SONRASI ÖZELLİKLERİ

Bu alaşımların kaynağında önceleri TIG gibi gazaltı kaynak yöntemleri kullanılırken, sürtünme karıştırma kaynağının geliştirilmesiyle çalışmalar bu kaynak üzerine yoğunlaşmıştır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde SKK üzerine birçok çalışma bulunmaktadır.

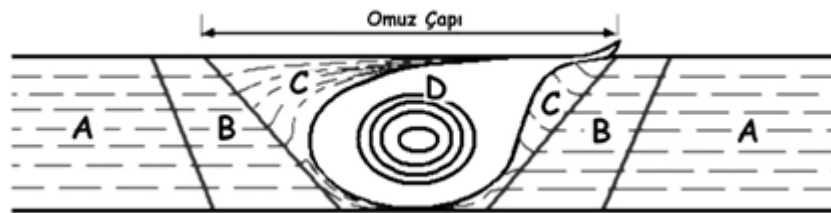
Akça (2006), yaptığı çalışmada 2024 ve 7075 alüminyum alaşımlarını TIG kaynağı kullanılarak küt alın formunda farklı kaynak parametreleriyle birleştirmiş ardından çökeltme sertleştirme uygulayarak incelemiştir. Yapılan incelemeler sonucunda 7075 alaşımının kaynağında yumuşak durumda kaynak yapıldığı zaman, kaynak işlemi nedeniyle gerçekleşen ısı artışı numuneye çözeltiye alma etkisi yapmakta ve yapı içerisindeki bileşikler soğuma esnasında tane sınırında yoğunlaşmasına

neden olmaktadır. AlZn alaşımı olması nedeniyle, içeriğinde bulunan çinko kaynak bölgesinde gevrekleşmeye sebep olmaktadır. Bunun sonucunda sıcak çatlak oluşumu gözlemlenmektedir. Bu nedenlerle 7075 alaşımı TIG kaynağı ile birleştirilme için uygun olmadığı belirtilmiştir. 2024 alaşımının kaynağında aynı şekilde çökeltilerin tane sınırında biriktiği gözlemlenmiştir. Ancak kaynaklı yapıya tekrar çökeltme sertleşmesi uygulandığında tane sınırında biriken bileşikler tekrar malzeme içerisine dağıtılabilmektedir ve sertliğin yükselmesi sağlanmıştır. Bu gözlem sonucunda 2024 alaşımı için şartlar sağlandığında TIG kaynağının kısmen başarılı olabileceği belirtilmiştir. Tablo 5'te TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 2024 ve 7075 alaşımlarının çekme deney sonuçları verilmiştir.

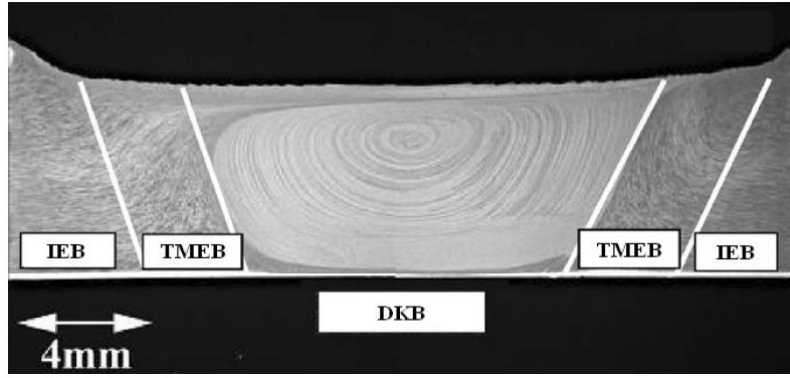
**Tablo 5** – 2024 ve 7075 alaşımlarının TIG kaynağı öncesi, sonrası ve ısı işlem uygulaması sonrası çekme deney sonuçları (Akça, 2006:96)

	Malzeme	E-Modülü MPa	Çekme Mukavemeti MPa	Kopma Mukavemeti MPa	Kopma Uzaması %
2024	Kaynaksız	496,4	417,18	411,95	14,18
	Isıl işlem uygulanmamış kaynaklı	628,08	100,23	95,03	5,61
	Isıl işlem uygulanmış kaynaklı	1000,37	165,43	154,17	12,18
7075	Kaynaksız	566,17	438,75	438,75	6,80
	Isıl işlem uygulanmamış kaynaklı	480,06	198,61	198,61	5,26
	Isıl işlem uygulanmış kaynaklı	1027	175,64	175,64	5,53

Kaynak bölgesi üç farklı kısımdan oluşur. Bunlar; baz malzeme (BM), ısıdan etkilen bölge (IEB) ve karıştırma bölgesidir (KB). IEB'de yalnızca ısı etkisi mevcuttur. Yaşlandırma sertleştirilmesi yapılmış al alaşımlarında ısının etkisiyle IEB'de bir bakıma aşırı yaşlanma ve baz malzemeye göre sertlik kaybı görülür. KB'de ise hem ısı etkisi hem de plastik deformasyon mevcuttur. IEB'de olduğu gibi yaşlandırma sertleştirilmesi yapılmış Al alaşımlarında, bu bölgede oluşan ısı sebebiyle aşırı yaşlanma ve/veya partiküllerin çözünmesi ve baz malzemeye göre sertlik kaybı görülür. Al alaşımları gibi yeniden kristalleşmenin kolay olmadığı durumlarda KB iki ayrı kısımdan oluşur. Bunlar; dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB) ve termomekanik olarak etkilenen bölge (TMEB)'dir. DKB, kaynak bölgesinin en belirgin kısmıdır. Plastik deformasyonun çok yoğun yaşandığı, yeniden kristalleşmiş ve ince taneli bölgedir (İpekoğlu, 2011:46-47). Sürtünme karıştırma kaynağı sonrası oluşan kaynak bölgesinin şematik olarak gösterimi Şekil 2'de, mikroyapısal görüntüsü Şekil 3'te verilmiştir.



**Şekil 2.** Yeniden kristalleşmenin kolay olmadığı durumlarda (örneğin Al-alaşımları), sürtünme karıştırma kaynağı sonrası oluşan kaynak bölgesinin şematik gösterimi : (A) Baz Malzeme, (B) IEB, (C) TMEB, (D) DKB (KB bu durumda B ve C bölgelerinden oluşur) (İpekoğlu, 2011:47)



Şekil 3. Alüminyum alaşımlarında SKK sonrası oluşan kaynak bölgeleri (Mishra ve Mahoney, 2007:158)

Çevik vd., (2012:371-373) yaptığı çalışmada kaynak bölgesindeki sertlik değerlerinin artan kaynak ilerleme hızıyla arttığını söylemiştir. Bunun sebebi olarak kaynak ilerleme hızının artmasıyla kaynak bölgesinde daha az ısı oluşması gösterilmiştir. Yaptıkları çalışmada kaynak bölgesinde oluşan en düşük sertlik değerinin karıştırıcı takımın omuz genişliğine yakın bölgelerde oluştuğunu söylemişlerdir. Aynı çalışmada kaynak işlemi sırasında kaynak dikişi boyunca kök kısımlarında tünel kusurları oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Bunun sebebi olarak kaynak ilerleme hızının kaynaklanan malzemeyi yetersiz plastikleştirmesinden oluşabileceğini düşünmüşlerdir. Şekil 4'te deneyde kullandıkları 7075-T651 alüminyum alaşımının farklı hızlarda yapılan kaynakların dağlanmış yüzey görüntüleri ve oluşan tünel kusurları gösterilmiştir.

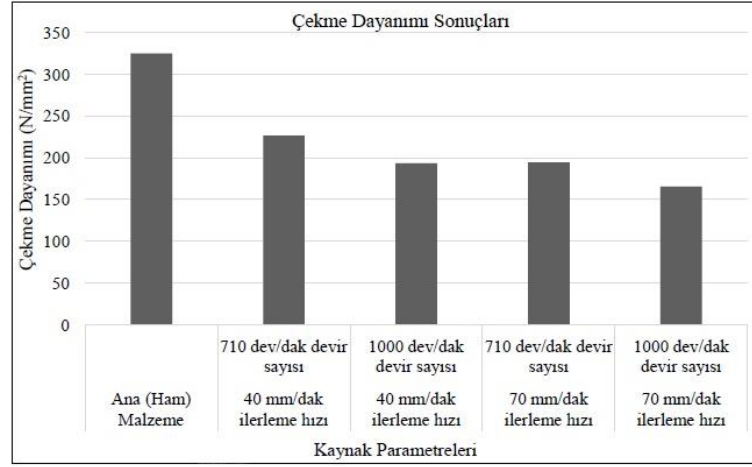


Şekil 4. 900 dev/dk devirde yapılan kaynakların dağlanmış yüzey görüntüleri, (a) 20 mm/dk, (b) 40 mm/dk, (c) 60 mm/dk (Çevik vd., 2012)

Aydın (2008:160-175), yaptığı çalışmada 2024 alüminyum alaşımı gibi daha sert ve mukavemetli malzemelerde yüksek ısı girdisi sağlayacak yüksek dönme hızı ve düşük ilerleme hızı gibi kaynak parametrelerine ihtiyaç duyulduğunu tespit etmiştir. 2024 Al alaşımlarında yüksek ilerleme hızı sebebiyle yeterli ısı sağlanmadığı için kaynak dikişinde hatalar görmüş ve bağlantının zayıf kaldığını dile getirmiştir. Aynı çalışmada SSK yöntemiyle kaynak edilen 2024 Al alaşımlarında T4 durumundaki malzemede mukavemet değerleri %21, kopma uzaması %59; T6 durumundaki malzemede mukavemet değerleri %24, kopma uzaması %72 aralığında azaldığı söylenmiştir. T4 ve T6 durumunda kaynak edilen 2024 Al alaşımlarında çekme deneyi uygulanmış ve kırılmaların KM ve TEB arasındaki yüzeyde oluştuğu söylenmiştir. 2024 Al alaşımlarının korozyona hassasiyeti arttığı görülmüş ve bu durumun yaşlandırma sonucu oluşan çökeltilerden oluştuğu söylenmiştir.

Sönmez ve Başak (2016:31-34), yaptıkları çalışmada 7075 T6 alüminyum alaşımını SSK yöntemi ile birleştirilmesini incelemiştir. Kaynaklanan numunelere çekme testi uygulamış ve düşük ilerleme hızı ile düşük devir sayısının kaynak işlemine olumlu etki gösterdiği ve en iyi kaynak koşullarında yaklaşık %70 dayanım elde edildiğini göstermiştir. Yüksek ilerleme hızı ve yüksek devir sayısında ise çekme dayanımı yaklaşık %50 olarak şekillenmiştir. Yüksek devir sayısı ve yüksek

ilerleme hızının kaynaklamaya olumsuz etki gösterdiği söylenmiştir. Şekil 5'te farklı ilerleme hızı ve farklı devir sayılarında görülen çekme dayanımları sonuçları yer almaktadır.



Şekil 5. Çekme dayanımı sonuçları (Sönmez ve Başak, 2016)

## GENEL DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada ulaşım sektöründe, özellikle havacılık ve taşımacılık sanayisinde, hafifliği ve dayanımı sayesinde çok fazla kullanım alanı bulan 2024 ve 7075 alüminyum alaşımlarının kaynak yöntemleri incelenmiştir. Günümüzde ergitme kaynak yöntemlerine alternatif olarak sunulan katı hal kaynak yöntemlerinden sürtünme karıştırma kaynağı alüminyum alaşımlarının kaynağında birinci sırada tercih edilmektedir. Bunun en önemli sebeplerinden biri ergitme kaynak yönteminde olduğu gibi kaynak işlemi sırasında malzemenin ergime sıcaklığının üzerine çıkılmamasıdır ve dolayısıyla malzemenin mekanik özelliklerinin çok fazla etkilenmemesidir. Konu ile ilgili literatür çalışmalarından elde edilen bilgiler ışığında aşağıdaki sonuçlar özetlenmiştir.

- Alüminyum alaşımlarının kaynağında yaşanan olumsuzluklar katı faz kaynağı olan Sürtünme Karıştırma Kaynağının geliştirilmesi ile büyük oranda ortadan kaldırılmıştır. SKK yöntemi, havacılık endüstrisinde kullanılan MIG, TIG, EBW gibi kaynak yöntemleri ile karşılaştırıldığında daha iyi mekanik özellikler (çekme ve yorulma dayanımı, çatlak ilerleme hızı, kalıntı gerilme vb.) verdiği rapor edilmiştir.
- Kaynak kalitesi, kaynak takımının geometrik özellikleri ile dönüş hızı ve kaynak ilerleme hızı gibi kaynak proses parametrelerine, kaynak edilecek malzemenin mekanik ve mikroyapısal özelliklerine, birleştirme şekline bağlı olarak değişmektedir ve bunların optimizasyonu oldukça önemlidir.
- Geleneksel kaynak yöntemleri ile kıyaslandığında SKK yöntemi daha az enerji tüketir. Dolgu metali gerektirmediğinden uyum sorunu yaşanmaz ve koruyucu bir gaz kullanılmadığından çevre dostu bir tekniktir.
- Kaynak işlemi katı faz olduğundan, kaynak birleşim bölgesi çok iyi taneseli yapıda ve metalurjik formdadır. Düşük ısısal girdiden dolayı eğilme ve çatlama olasılığı çok

düşüktür. Birçok kaynak birleşim konfigürasyonunun da kullanılabilir olması tekniği ön plana çıkarmaktadır.

- SKK yöntemi ile uygun kaynak parametreleri ile kusursuz kaynak bölgeleri üretimi mümkündür. Kaynak parametrelerinin optimize edilmesi, oluşabilecek kaynak hatalarının saptanabilmesi içinde uygun tahribatsız kaynak tekniklerinin tespitinin önemli olduğu da çalışmalarda vurgulanmıştır.



## KAYNAKÇA

Akça, H. (2006). *TIG yöntemiyle kaynak edilen alüminyum ve alaşımlarının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi*, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi.

Avas Metal (2007) 2024 Alüminyum (Erişim Tarihi: 26.04.2022) <https://www.avasmetal.com.tr/?/aluminyum/2024-aluminyum>

Aydın, H. (2008). *Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş yaşlandırılabilir alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin ve korozyon davranışlarının incelenmesi*, Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Backer, J.D. ve Bolmsjö, G., (2014). Deflection model for robotic friction stir welding, *Industrial Robot: An International Journal*, 41, 4, 365 – 372.

Büyükarıslan, S. (2006). *Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilmiş alüminyum alaşımlarının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Cavaliere, P., Cerri, E., ve Squillace, A. (2005). Mechanical response of 2024-7075 aluminium alloys joined by Friction Stir Welding. *Journal of Materials Science*, 40(14), 3669-3676.

Cavaliere, P. ve Panella, F. (2008). “Effect of tool position on the fatigue properties of dissimilar 2024- 7075 sheets joined by Friction Stir Welding ”, *Journal of Materials Processing Technology* Vol. 206, 249-255.

Çevik, B., Özçatalbaş, Y., ve Uygur, İ. (2012). 7075 Alüminyum Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilmesi. *In International Conference on Welding Technologies* (pp. 369-376).

Dalkılıç, S. (2012). Sürtünme karıştırma kaynağı ve havacılık ve uzay endüstrisindeki uygulama alanları. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 5 (4), 25-33.

Da Silva, A. A. M., Arruti, E., Janeiro, G., Aldanondo, E., Alvarez, P., ve Echeverria, A. (2011). Material flow and mechanical behaviour of dissimilar AA2024-T3 and AA7075-T6 aluminium alloys friction stir welds. *Materials & Design*, 32(4), 2021-2027.

Eşit, F. (2006). *Soğuk ve sıcak haddelenmiş alüminyum 6016 alaşımlarının kaynak davranışları ve kalıntı gerilme analizi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Gülbudak, M. (2013). *Farklı alüminyum levha çiftinin sürtünme karıştırma kaynak özellikleri*. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

İpekoğlu, G. (2011). *Kaynak sonrası ısı işlemin sürtünme karıştırma kaynaklı AA6061 ve AA7075 alüminyum alaşımı levhalarda içyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Lomolino, S., Tovo, R., ve Dos Santos, J. (2005). On the fatigue behaviour and design curves of friction stir butt-welded Al alloys. *International Journal of Fatigue*, 27(3), 305-316.

Mishra, R.S. ve Mahoney, M. W. (2007). Mechanical properties of friction stir welded aluminum alloys. *Joining of Advanced and Specialty Materials*, 157-159.

Mishra, R. S., Mahoney, M. W., Sato, Y., Hovanski, Y., ve Verma, R. (Eds.). (2011). *Friction stir welding and processing* VI. John Wiley & Sons.

Ozan, C. (2019). *Alüminyumun kaynağında kaynak parametrelerinin mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Rajakumar, S., Muralidharan, C., ve Balasubramanian, V. (2011). Influence of friction stir welding process and tool parameters on strength properties of AA7075-T6 aluminium alloy joints. *Materials & Design*, 32(2), 535-549.

Sarsılmaz, F., Ozdemir, N., ve Kirik, I. (2012). Evaluation of microstructure and fatigue properties of dissimilar AA7075/AA6061 joints produced by friction stir welding. *Kovove Mater*, 50, 259-268.

Sönmez, F., ve Başak, H. (2016). Sürtünme karıştırma kaynağının yaşlandırılabilir parçalar üzerinde etkisi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(ÖS1), 29-34.

Sönmez, F., ve Başak, H. (2017). Al-7075-T6 malzemenin sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesinde kaynak parametrelerinin etkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8(3), 599-608.

Taban, E. ve Kaluç, E. (2005) EN AW-5083-H321 alüminyum alaşımının MIG, TIG ve sürtünme karıştırma kaynaklı (FSW) bağlantılarının mekanik ve mikroyapısal özellikleri, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 46, 541, 40- 51.

Tanrıöver, L. (2008). *AA5052/2024 Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yöntemiyle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yalçın, E. D. (2010). *AA7075 ve AA5754 alüminyum alaşımının sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

## Fıstık Kabuğundan Elde Edilen Aktif Karbonun Morfolojik, Yapısal Ve Yüzey Alanı Özelliklerinin İncelenmesi

Hacer DOLAŞ<sup>1</sup>

### Giriş

Canlı ve/veya cansız tüm varlıklar çevre dediğimiz bu ekosistemde belirli bir ilişki ve döngü içerisinde varlıklarını sürdürürler. Gelişen teknoloji ve diğer oluşumlar neticesinde belli bir düzen içinde olan bu döngü bozulmaktadır. Çevre kirliliği olarak adlandırılan bu bozulmaya en büyük etkenlerden biri katı, sıvı ve gaz atıklardır. Artan nüfusa cevap vermek ve hayat kalitesini artırmak için yapılan her bir atılım teknolojideki gelişmeyi doğurmuştur. Ancak bu gelişmeler neticesinde kurulan fabrikaların gaz, sıvı ve katı atıklarıyla hava, toprak ve su kirlenmekte ve bu kirliliğin canlı yaşama zarar verdiği görülmektedir. (Aly-Eldeen M A., 2018, s. 1)

Adsorpsiyon, bu kirliliğin önüne geçmenin maliyeti az ve uygulaması kolay olan yollarından birisidir (Fan T, 2021, s. 1) (Ashrafi S D, 2015, s. 1)

Adsorpsiyon, sıvı veya gaz fazında çözünmüş halde bulunan yüklü veya yüksüz tüm iyon ve moleküllerin aktif olan katı yüzeyinde (adsorbent) kimyasal veya fiziksel olarak adsorbe olması yani tutunması işlemidir. Adsorpsiyonun başarısı sıcaklığa, adsorbe edilmesi istenen iyon veya molekülün fiziksel ve kimyasal haline, ortam basıncına ve kullanılan aktif katı yüzeyinin özelliklerine bağlıdır. Aktif katı yüzeyin özellikleri özellikle yüzey alanı ve gözeneklilik durumu adsorpsiyon işleminde büyük önem taşımaktadır. Genellikle çalışmalarda adsorbent olarak aktif karbon (AC) seçilir. AC, çeşitli karbon yapılı malzemelerden üretilen ve yüksek yüzey alanı ve büyük çoğunluğu mikro gözeneklerin oluşturduğu gözenekli bir yapıya sahip olan bir tür adsorbenttir. Bu gözenekli yapı sayesinde birim ağırlığa binlerce metrekare genişliğindeki yüzeyleri sığdırabildiği için yüksek yüzey alanına sahiptirler.

Genellikle eğilim bol bulunan, tamamen atık olan ve yapısındaki hidroksil ve karboksil grupları kaybederek uygun gözenekli yapıya sahip olabilecek aynı zamanda kaliteli lif yapısına sahip olan zirai atıkların AC üretiminde kullanılması yönündedir. Çünkü bol selülozik ve lifsi yapıya sahip zirai atıkların kullanımını maliyeti düşürdüğü gibi atık yönetimine de katkı sağlamaktadır.

Uzun zamanlardan beri buğday sapı (Shang JG, 2015, s. 1), muz kabuğu (Gupta H, 2015, s. 2) portakal kabuğu (Moreno-Piraján JC, 2012, s. 1), (Salmania M.H., 2017, s. 1), şeker kamışı (Rattanachueskul N, 2016, s. 2), ceviz kabuğu (Tonucci MC, 2015, s. 111), fıstık kabuğu (Dolas H, 2010, s. 191), Hindistan cevizi kabuğu (Tang R.X, 2017, s. 1), zeytin (Lopez-Cabeza R, 2017, s. 64) gibi çeşitli zirai atıklar AC üretiminde kullanıldı. (Gergova K, 1994, s. 693) Bu çalışmalarda görüldü ki, kullanılan hammadde ve AC üretim yöntemi elde edilen AC'un yüzey alanında büyük rol oynamaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda fıstık kabuğundan elde edilen AC'un Brunauer-Emmet-Teller (BET) yüzey alanı ve mikro gözenek yapısı hakkında sınırlı bilgiler mevcuttur. Bu çalışmada, elde edilen AC'ların yüzey alanı, mikro, mezo ve makro gözeneklilik yapısı, ısıl bozunması ve morfolojik görünümü bakımından detaylı bir şekilde inceleme yapılması

---

<sup>1</sup> Hacer DOLAŞ, Dr. Öğr. Üyesi, Harran Üni. Hilvan MYO İş Sağlığı ve Güvenliği Programı

amaçlanmıştır. Çalışma fıstık kabuklarından yüksek yüzey alanlı AC elde etmeye yönelik, mevcut metotlara alternatif olacak, pratik ve maliyeti az olan bir metodu sunması ve elde edilen sonuçlarla bu şekilde elde edilen AC'ların yüzey alanı, gözeneklilik, ısısız bozunma, yapısal ve morfolojik olarak bilgiler vermesi açısından önem arz etmektedir.

## **Yöntem**

Çalışma fıstık kabuklarının önce %10 sodyum klorür (NaCl) ve sonra %10 sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) çözeltisi ile 1 gün aktifleştirilmesini ve sonra 800 °C yüksek sıcaklık fırınında 45 dk tutulmak suretiyle karbonlaştırılmasını kapsamaktadır. Elde edilen AC'nun detaylı yüzey alanı ve gözenek yapısı, termal bozunma ve yapısal ve morfolojik incelemesi ise uygun cihazlarla gerçekleştirilmiştir. İşlem basamakları ve karakterizasyon aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

## **AC üretimi.**

Fıstık Kabukları (FK), Türkiye/Şanlıurfa ilinin Bozova ilçesine bağlı tarlalardan toplandı. Toplanan kabuklar öncelikle yumuşak kabuğundan ve kaba kirlerinden temizlendi. İri parçalar halinde kırıldı ve şebeke suyuyla yıkandı. Kuruyan kabuklardan 20 gr tartılarak 250 ml erlen içinde bulunan %10 NaCl çözeltisine döküldü. Bu çözelti içinde 1 gün bekletildi. Sonra süzülen kabuklar yine 250 ml erlen içinde bulunan %10 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisine döküldü ve bu çözeltide de 1 gün bekletildi. Aktivasyon işlemi sonrasında süzülen kabuklar iyice saf su ile yıkandı. Etüvde 80 °C de kurutuldu ve yüksek sıcaklıklı kül fırınında 800 °C de 45 dk kalacak şekilde karbonlaştırma işlemine tabi tutuldu. Bu işlem N<sub>2</sub> gazı atmosferinde gerçekleştirildi. Ortam sıcaklığına kadar soğutulan karbonlaşmış kabuklar tekrar gözeneklerdeki gaz fazlalığının çıkması için saf suyla yıkandı ve kuruyan kabuklar öğütülüp elendi. 800-AC olarak adlandırıldı ve karakterizasyon için 600µ-1000 µ aralığı elekten geçenler kullanıldı.

## **Karakterizasyon.**

**Surface Analysis.** Elde edilen 800-AC'un aktif yüzey alanını ve gözenek hacmini tespit edebilmek için NOVA 4000e-Quantachrome surface area and pore size analyser cihazı kullanıldı. Analiz öncesi AC yüzeyindeki tüm gözeneklerin açılması için gece boyu 170 °C vakum altında AC lar kurutulmuştur. Kriyojenik koşullar altında azot adsorpsiyonu yöntemine dayanarak yapılan analiz işlemi sonunda adsorpsiyon izotermi elde edilmiştir. Bu izoterminden uygulama sayesinde 800-AC'un BET yüzey alanı (Brunauer, 1938, s. 309), Langmuir yüzey alanı, DR metoduyla gözenek genişliği, gözenek hacmi ve mikro gözenek yüzey alanı, adsorpsiyon enerjisi (Dubinin MM, 1947) ve BJH metoduyla (Barrett EP, 1951, s. 373) mezo gözenek dağılımı belirlenmiştir.

**Termal Analiz.** Termal analiz SHIMADZU marka DTG-60A Simultaneous DTA-TG Apparatus ile 10 C/dk ısıtma hızı uygulanarak ortam sıcaklığından 900 °C ye ısıtılmıştır. Bu esnada ortam N<sub>2</sub> gazı ile beslenmiştir. Gaz akış hızı 50 mL/dk olarak seçilmiştir.

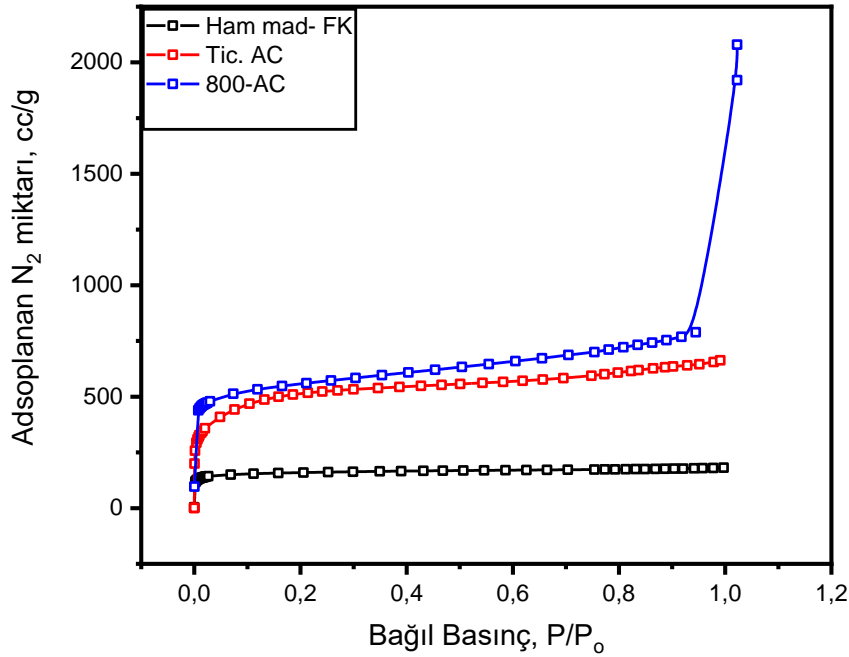
**Yapısal ve Morfolojik Analiz.** SHIMADZU IRTTracer-100 FTIR ile alınan spektrumla 4cm<sup>-1</sup> çözünürlükle elde edildi.

800-AC'un yapısındaki gözenek ağı SEM görüntüleri ile ZEISS marka EVO 50 Model SEM cihazı ile kullanılarak gösterilmiştir.

## Sonuçlar

### Adsorpsiyon İzotermi.

Adsorpsiyon tekniği ile kullanılmak üzere herhangi bir maddeden karbonlaştırılarak elde edilen AC ların aktivitesi onların aktif yüzey alanları ve gözeneklilik yapısıyla belirtilir. Bu amaçla elde edilen AC lar  $N_2$  adsorpsiyonuna tabi tutuldu. Elde edilen bağıl basınca karşı adsorplanan azot miktarını gösteren adsorpsiyon izotermi Şekil 1 de verilmiştir. Şekilde kıyaslama yapılması açısından ham madde fıstık kabukları ile ticari aktif karbona ait adsorpsiyon izotermi de verilmiştir.



Şekil 1. Adsorpsiyon izotermi.

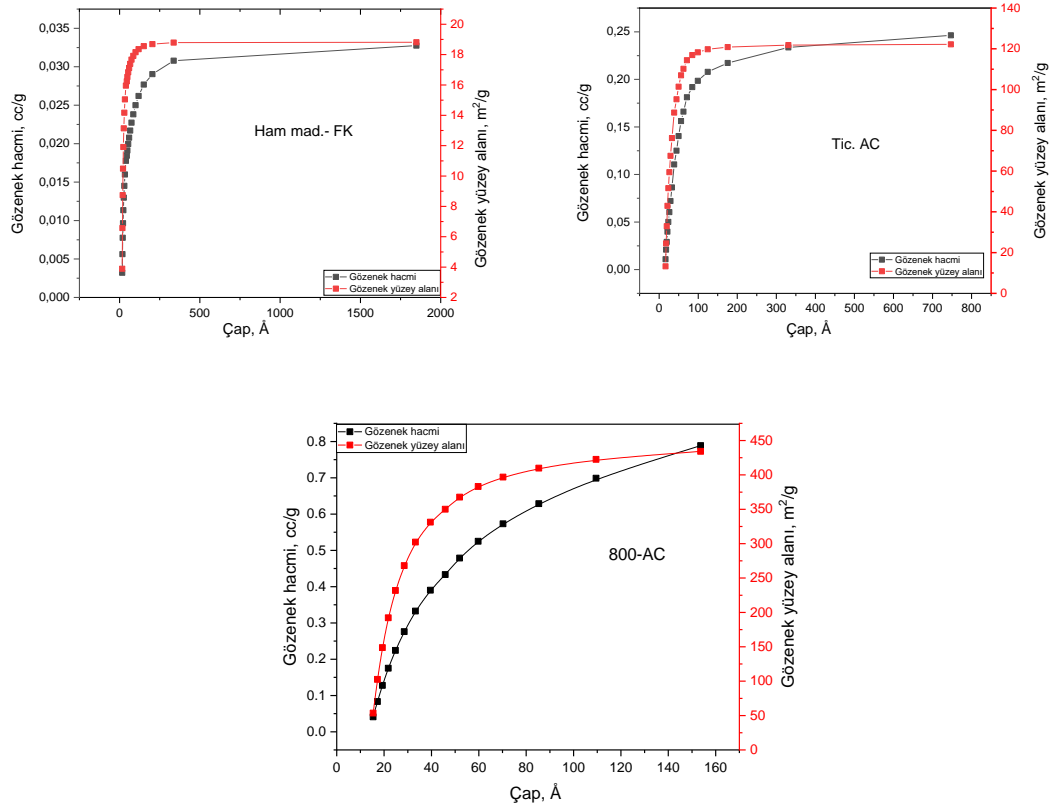
Bu grafiklerde özellikle 0-0,01 P/P<sub>0</sub> bağıl basınç değerlerindeki (düşük bağıl basınç) gözlenen diz oluşumu yapıdaki mikro gözeneklerin varlığını ve gazın onlar tarafından adsorplandığını gösterir. Bu sayede bu bölgede ne kadar çok gaz adsorpsiyonu gerçekleşmişse o kadar çok mikro gözenek varlığından bahsedilebilir. Buna bağlı olarak yüzey alanı yüksek gözlenebilmektedir. Şekilden de görüleceği gibi aktifleştirilen ve 800 °C de karbonlaştırılarak elde edilen AC lar bu işlemler yapılmadan kullanılan ham madde ye göre oldukça yüksek miktarda azot adsorplamıştır. Ham maddeye ait izoterm tek tabaka adsorpsiyon izotermi sergilemektedir. Bu International Union Of Pure And Applied Chemistry- Uluslararası Temel Ve Uygulamalı Kimya Birliği (IUPAC) tarafından yapılan izoterm sınıflandırmasında ki Tip I Tek Tabaka Adsorpsiyon İzotermine denk gelmektedir. Bu tür AC ların yapısında çoğunlukla mikro gözenek oluşumları gözlenmekle beraber, mezo ve makro gözeneklilik nispeten daha azdır. Bu yüzden 800-AC'de gözlenen 0,9-1 bağıl basınç aralığındaki değerlerdeki adsorplanan gaz miktarındaki yükseliş ham madde izotermi gözlenmemiştir. 800-AC ise IUPAC sınıflandırmasının type IV e karşılık gelen adsorpsiyon izotermi sergilemektedir. Bu tür izotermelerde yapıda mezo gözenek oluşumunun varlığı ve hatta kapiler yoğunlaşmanın olduğu bir adsorpsiyondan bahsedilir. Nispeten yüksek yüzey alanları bu tür izoterm

sergileyen yapılardan elde edilmektedir. Kıyaslamalı olarak BET ve Langmuir yüzey alanı DR metoduyla elde edilen mikro gözenek hacmi ve yüzey alanı ve adsorpsiyon enerjisi tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1- BET, Langmuir, DR, mikro gözenek hacmi, yüzey alanı ve adsorpsiyon enerjisi.

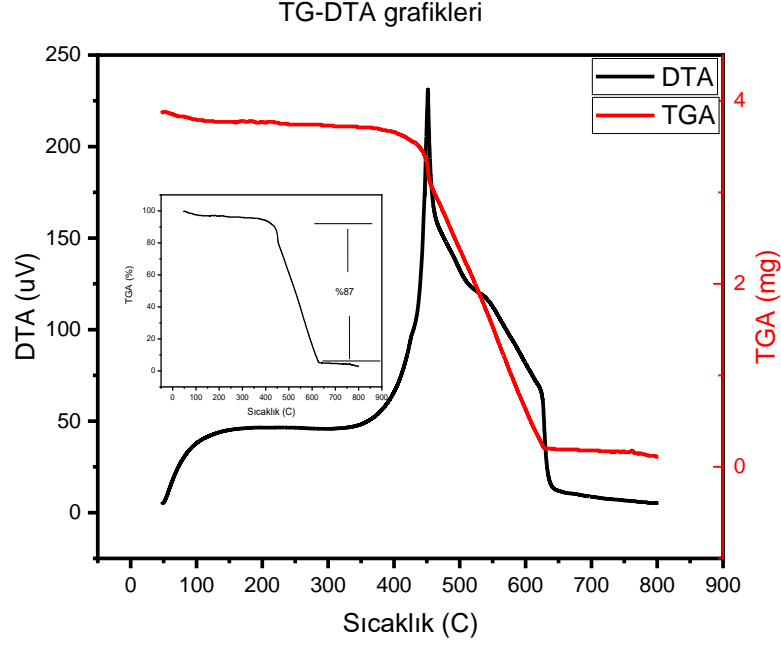
Nicelikler	BET, m <sup>2</sup> /g	Langmuir, m <sup>2</sup> /g	DR mikro gözenek hacmi, cc/g	DR mikro gözenek yüzey alanı, m <sup>2</sup> /g	Adsorpsiyon enerjisi, kJ/mol
Ham mad-FK	500,275	632,858	0,426	1199,900	9,055
Ticari AC	1648	2479,262	0,659	1849,312	14,976
800-AC	2093,063	3939,573	1,053	2963,759	10,927

Tablodan görüleceği gibi ham madde olan fıstık kabukları 500, 275 m<sup>2</sup>/g'lık BET yüzey alanına sahipken 800-AC aktif karbonlar 2093,063 m<sup>2</sup>/g'lık BET yüzey alanına sahiptir. Bu haliyle ticari şekilde satışı yapılan AC dan daha yüksek BET yüzey alanına sahip AC lar elde edilmiştir. Tek tabaka adsorpsiyon yüzey alanını ifade eden Langmuir yüzey alanı ise yine 800-AC de en yüksek değere ulaşmıştır. Bu sebeple AC nun yapısındaki mikro gözenek oluşumu DR tekniği ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bu çalışmada elde edilen 800-AC nun mevcut mikro gözenek hacminin 1,053 cc/g ile en yüksek mikro gözenek hacmine ve 2963,759 m<sup>2</sup>/g'lık mikro gözenek yüzey alanı ile de en yüksek mikro gözenekliliğe sahip olduğu anlaşılmaktadır.



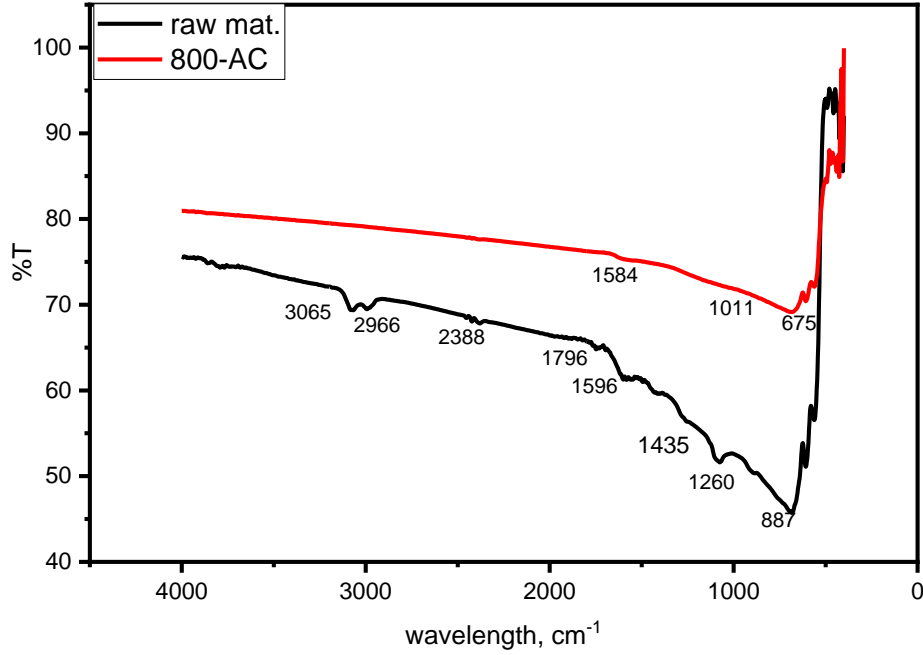
Şekil 2. BJH metoduyla verilen çapa göre gözenek hacmi ve gözenek yüzey alan dağılımı

**Thermal Analiz:** çalışmada aktif karbon üretiminde ham madde olarak kullanılan fıstık kabuklarının ısı işlem karşısında nasıl bozunacağını görmek için termogravimetrik analize tabi tutuldu. Ortam sıcaklığından 800 °C ye kadar azot ortamında kontrollü bir şekilde yapılan ısıtma ile elde edilen Tg ve DTA eğrisi şekil 3 de verilmektedir.



TG eğrisi incelendiğinde yaklaşık 100 °C ye kadar yapıdaki nemliliğin kaybolduğu bunun düşük bir yüzdeliği (%3) kapsadığı gözlenebilir. Bunun yanında numune tek adımda bozunma geçirmiş ve bu bozunma organik içeriğin kaybolduğu sıcaklık aralığı olan 350-500 °C ye denk gelmektedir. Bu bozunma da ise kayıp %87 olarak belirlenmiştir (Şekil 3 iç grafik). DTA eğrisi ise bozunmanın 350-500 °C aralığında olduğunu net bir şekilde göstermektedir.

Tg verileri ham maddenin yapısında gözenek oluşumuyla sonuçlanan kendi organik yapısının bozulduğu bilgilerini vermektedir. Bunun yanında FT-IR spektrum ile de bu bilgi doğrulanmıştır. Elde edilen spektrum ve ham maddenin sonuç AC ile yapısal kıyaslamayı veren FT-IR sonuçları Şekil 4 te verilmektedir.



Şekil 4. FT-IR spektrumu.

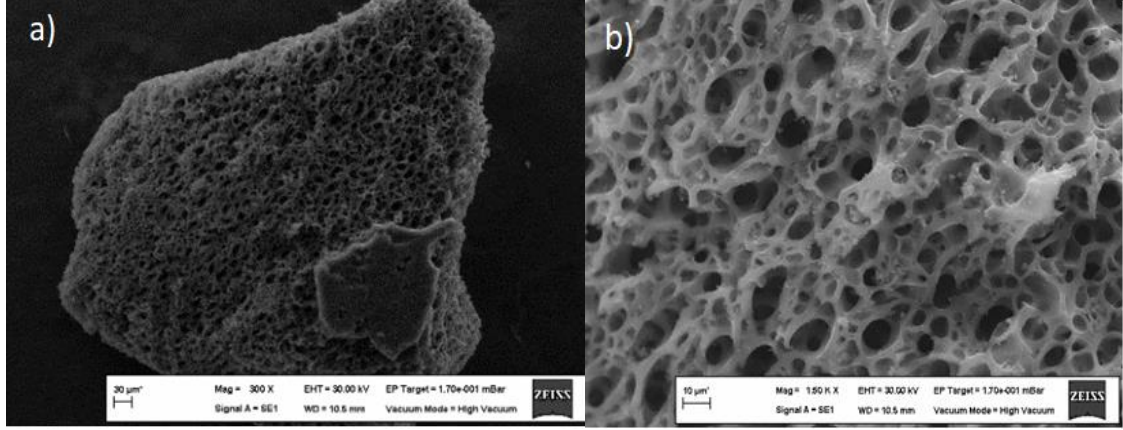
Spektrumdan da görüleceği gibi ham madde yapısında bulunan -OH ve diğer fonksiyonel grupları ifade eden titreşimler aşağıda sıralanmıştır:

- 3065 cm<sup>-1</sup>: O-H gerilme titreşimleri (alkol ve fenollerde 3600-3000 cm<sup>-1</sup>)
- 2966 cm<sup>-1</sup> C-H gerilme titreşimleri ( alken ve alkan grupları, 3000-2850 cm<sup>-1</sup>)
- 2388 cm<sup>-1</sup>: C=C gerilme titreşimi (alkin grubu, 2300-2100 cm<sup>-1</sup>)
- 1796 cm<sup>-1</sup>: C=O gerilme titreşimi (amidlerdeki karbonil grubu, 1820-1650 cm<sup>-1</sup>),
- 1596, 1435 cm<sup>-1</sup>: C=C gerilme titreşimi (aromatik halkada, 1600-1400 cm<sup>-1</sup>)
- 1260, 887 cm<sup>-1</sup>: C-O gerilme titreşimi ( alkol, fenol, ester ve eter grupları, 1150-1050 cm<sup>-1</sup>)

Fıstık kabukları, çoğunlukla H, C elementleri ve OH gruplarının yer aldığı selülozik yapıya sahiptir. Ayrıca fıstık kabuklarında karbonil, eter, ester, alkol ve fenol gruplarının varlığı da literatürde mevcuttur (Lua AC, 2005, s. paragraf 24) Ham fıstık kabuklarında gözlenen ve organik yapıya ait tüm bağlara ilişkin gerilme titreşimleri elde edilen AC yapısında çok sınırlı bir şekilde gözlenmektedir. Bu da yapının yüksek sıcaklık neticesinde yıkıldığını desteklemektedir.

Ham organik yapıdaki fonksiyonel grupların parçalanıp yeni gözenekli bir yapının oluştuğunu gösterebilmek için 800-AC numunelerinin SEM görüntüleri incelenmiştir. Elde edilen SEM görüntüleri Şekil 5 te gösterilmektedir.





Şekil 5. 800-AC ye ait SEM görüntüleri a. 300 büyütme, b. 1500 büyütme

Elde edilen SEM görüntüleri 30kV enerji uygulanarak aynı yerden çekilmiş iki farklı büyütme oranlarında elde edilmiş görüntülerdir. Şekil 5a 300 büyütme ile 30 µm lik mesafeyi ifade etmekteyken Şekil 5b 1500 büyütme ile 10 µm lik mesafeyi göstermektedir. Her iki şekilde de elde edilen AC numunesinin yapısında bulunan gözenekler çok net bir şekilde görülmektedir. Oluşan irili ufaklı gözenekler AC numunesindeki yapıyı ve yüksek yüzey alanını ifade etmektedir.

Sonuç olarak, zirai atık olarak biriken ve yeterli tedbirler alınmazsa çevre kirliliğini artıracığı bilinen atık fıstık kabuklarına %10 NaCl-% 10 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözelti kullanılarak 1 er gün süre ile aktifleştirme işlemi yapılmıştır. Daha sonrasında bu kabuklar iyice yıkanmış ve 800 °C yüksek sıcaklıkta 45 dk azot atmosferi kullanılarak karbonlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen 800-AC isimli aktif karbonlar yüzey alanı ve gözeneklilik yapısını belirlemek için uygun analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 800-AC nin, ham fıstık kabuğuna göre daha fazla yüzey alanı ve mikro gözenek hacim ve yüzey alanına sahip olduğu belirlenmiştir. Şöyle ki, ham FK 500.275 m<sup>2</sup>/g iken 800-AC 2093,063 m<sup>2</sup>/g'lük BET yüzey alanı sahiptir. Diğer taraftan ham FK 0,426 cc/g lık mikro gözenek hacmi ve 1199,900 m<sup>2</sup>/g mikro gözenek yüzey alanına sahipken; 800-AC 1,053 cc/g lık bir mikro gözenek hacmi ve 2963,759 m<sup>2</sup>/g mikro gözenek yüzey alanına sahiptir. Bu gözenekli yapıyı elde etmek için ısıl bozunması yaklaşık %87 ile 350-500 °C aralığında gerçekleşmiştir. Elde edilen AC'nun oluşan gözeneklilik yapısı SEM ile gözlenebilmiştir. Bu özellikleriyle uygun aktifleştirme ve karbonlaştırma koşulları uygulanarak elde edilen AC'ların ham madde FK'ndan daha üstün olduğu belirlenmiştir. Uygulanan bu koşulların diğer atık malzemelerden de yüksek yüzey alan ve mikro gözenek hacmine sahip AC'lar üretiminde kullanımına uygun olduğu düşünülmektedir.

## Kaynakça

Aly-Eldeen M A., E.-S. A. (2018). The uptake of Eriochrome Black T dye from aqueous solutions utilizing waste activated sludge: Adsorption process optimization using factorial design activated sludge: Adsorption process optimization using factorial design. *Egyptian journal of Aquatic Research* 44, p. 179-186 <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2018.09.001>.

Ashrafi S D, K. H. (2015). Optimization and modeling of process variables for adsorption of basic blue 41 on NaOH-modified rice husk using response surface methodology. *Desalin. Water Treat* 57 (30), pp.14051-14059, <https://doi.org/10.30955/gnj.002973>.

Barrett EP, J. L. (1951). The determination of pore volume and area distributions in porous substances. I. Computations from nitrogen isotherms. *J. Am. Chem. Soc.* 73, p.373-380, [doi.org/10.1021/ja01145a126](https://doi.org/10.1021/ja01145a126).

Brunauer, S. E. (1938). Adsorption of Gases in Multimolecular Layers. *Journal of the American Chemical Society*, 60, 309-319. <http://dx.doi.org/10.1021/ja01269a023>.

Dolas H, S. O. (2010). A New Method on Producing of Activated Carbon: The Effect of Salt on The Surface Area and The Pore Size Distribution of Activated Carbon Prepared Pistachio Shell. *Chemical Engineering Journal*, 166, 191-197 doi: 10.1016/j.cej.2010.10.061.

Dubinin MM, Z. E. (1947). Adsorption cycle modelling,. *Zh. Fiz. Khim.* 21, pp. 1351-1362.

Fan T, Z. J. (2021). Coexistence and adsorption properties of heavy metals by polypropylene microplastics. *Adsorption Science & Technology*, p.12 <https://doi.org/10.1155/2021/4938749> .

Gergova K, P. N. (1994). Adsorption properties and microstructure of activated carbons produced from agricultural by-products by steam pyrolysis,. *Carbon* 32, 693-702, doi:10.1016/0008-6223(94)90091-4.

Gupta H, G. B. (2015). Adsorption of polycyclic aromatic hydrocarbons on banana peel activated carbon. *Desalin. Water treat*, 57 (20), pp. 9498-9509, <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1029007>.

Lopez-Cabeza R, G. B. (2017). Behavior of the enantiomers of the herbicide imazaquin in agricultural soils under different application regimes. *Geoderma*, 293, pp. 64-72, [doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.024](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.024).

Lua AC, Y. T. (2005). Characteristics of AC prepared from pistachio-nut shell by zinc chloride activation under nitrogen and vacuum conditions. *J. Colloid interface Sci.* 290, p. 505-513, [doi.org/10.1016/j.jcis.2005.04.063](https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.04.063).

Moreno-Piraján JC, a. G. (2012). Heavy metal ions adsorption from wastewater using activated carbon from orange peel,. *ISSN: 0973-4945; Coden Ecjba0 E-Journal of Chemistry* 9(2), 926-937 <http://www.ejchem.net>.

Rattanachueskul N, S. A. (2016). Magnetic carbon composites with a hierarchical structure for adsorption of tetracycline, prepared from sugarcane bagasse via hydrothermal carbonization coupled with simple heat treatment process. *Bioresour. Technol.* 226, 164-172, doi: 10.1016/j.biortech.2016.12.024.

Salmania M.H., M. M.-B. (2017). Comparing cadmium removal efficiency of a magnetized biochar based on orange peel with those of conventional orange peel and unmodified biochar. *Desalin. Water Treat.*, 82, 157-169, doi:10.5004/dwt.2017.20973.

Shang JG, H. W. (2015). Adsorption of Dimethyl trisulfide from aqueous solution on a low-cost adsorbent: thermally activated pinecone. *Chin. J. Oceanol. Limnol.*, 33 (1), pp.169-175, DOI: 10.1007/s00343-015-4085-y.

Tang R.X, D. C. (2017). Removal of methylene blue from aqueous solutions using agricultural residue walnut Shell: equilibrium, kinetic and thermodynamic studies,. *J. Chem.*, pp. 1-10, <https://doi.org/10.1155/2017/8404965>.

Tonucci MC, G. L. (2015). Activated carbons from agricultural byproducts (pine tree and coconut shell), coal, and carbon nanotubes as adsorbents for removal of sulfametoxazole from spiked aqueous solutions: kinetic and thermodynamic studies. *Ind. crop. Prod.* 74, 111-121, [doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.003](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.003).

## DD13 Kalite Sac Levha Üzerine Tva Yöntemi ile Çinko Selenyum Kaplamanın Korozyon Etkisi

Hafizittin Hakan YUDAR<sup>1</sup>  
Suat PAT<sup>2</sup>

### Giriş

Endüstrisinde kullanılan ve üretilen parçalar korozyon durumunun meydana gelmesinden dolayı her yıl milyarlarca dolar değerinde ürün hurdaya ayrılmak zorunda kalmaktadır. Bu durum makine ve araçların etkin olarak çalışmasının önüne geçmekte ve ilgili makinelerde güç kayıpları ile yedek parça kullanım oranının artışına neden olmaktadır. Ayrıca montaj ve demontaj nedeni ile duruş kayıpları ve randıman kayıpları artarak yaşanmaktadır (Mehta vd. 2022; 1-17). Bu nedenle korozyona karşı daha dirençli çeliklerin ürünlerin üretilmesi veya geliştirilmesi çalışmaları gittikçe önemli olmaktadır. Korozyon, metalik malzemelerin çevreleri ile etkileşerek metalik yapılarını kaybedip doğadaki ilkel ve kararlı hallerine dönmesi olayıdır. Korozyon sonucu kaybedilen metal, doğadan alınıp kullanılır hale gelinceye kadar harcanan tüm emeğin ve yatırımın boşa gitmesidir. Korozyon sonucu oluşan metal kayıpları ekonomik, güvenlik ve insan sağlığına etkisi sebebi ile endüstrinin en önemli sorunları arasındadır. (Mura, 1983;913-922); (Karthikaiselvi, 2014;74-82).

Atmosfer şartlarında kullanılan tüm ürünler istinasız bir şekilde atmosferik korozyona maruz kalmaktadır. Özellikle endüstri şartlarında geliştirilen ve üretilen parçaların kullanımı ortam şartlarına bağlı olarak üründe hızlı bir şekilde korozyon meydana gelmektedir. Hızlı korozyon etkisi kırmızı pas oluşmasına ve malzemenin kullanılamamasına neden olmaktadır. Bu durumu önleyebilmek ve atmosferik korozyonu etkisini minimize edebilmek için birçok farklı yöntem geliştirilmiştir (Melia, 2021; 1003-1013). Korozyon önleyebilmek için geliştirilen yöntemlerden birisi de ilgili metal yüzeylerinin kaplanmasıdır (Dvořák, 2012: 61-64).

Korozyon önleme amacı ile çinko tabanlı malzemeler yoğun olarak kullanılmaktadır. Çinkonun kaplandığı malzeme katodik, çinko ise anodik davranışlar sergilediğinden dolayı metal yüzeyinin korunması için kaplama malzemesi olarak kullanılması oldukça yaygındır. En etkin özelliği ise çinkonun paslanma olgusuna karşı koruyuculuk sağlayan en iyi malzeme özelliklerine sahip olmasıdır. Ayrıca popüler bir malzeme olmasının diğer nedenler ise kullanım amaçlarını engellememesi, esnek, ucuz, kolay ve sorunsuz kaplama yöntemlerine sahip olmasından da kaynaklanmaktadır (Marder, 2000; 191-271); (Song, 201; 2973,-2981).

Çinko Selenyum (ZnSe) geniş band aralığına sahip eşsiz fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olması ile yaygın olarak güneş enerjisi materyallerinde, sensörlerde, mavi-yeşil diyot lazerlerin kullanımı oldukça yaygındır. ZnSe ile ilgili çalışmalar geçmişten günümüze kadar daha da önem kazanarak ilerlemiş böylece son yıllarda malzemenin hazırlanma yöntemi, performansı, nano kristal yapıları ve ince filmler üzerindeki çalışmalar neticesinde elde edilen başarılar ile farklı amaçlar doğrultusunda kullanılabilmesinin önünü açmıştır (Özkan, 2012; 103-108); (Yudar, 2017; 2833-2837).

---

<sup>1</sup> Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcid: PhD Candidate, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fizik, 0000-0003-2538-338

<sup>2</sup> Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcid: Prof. Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fizik, 0000-0001-9301-8880

Termiyonik vakum ark (TVA) sistemi yüksek vakum değerlerinde kaplama gerçekleştirilebilmesine imkan veren yeni yöntemlerden biridir. Bu yöntem ile metal kaplamaların yanında seramik, metal oksit, yarı iletken, süper iletken gibi malzemelerde kolaylıkla kaplanabilmektedir. TVA yöntemi ile nano boyutta kaplamalar yüksek saflıkta üretilebilmesine imkan tanımaktadır. Ayrıca kaplamaların yüzey tutunması da oldukça yüksektir (Korkmaz, 2017;121-128).

Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinde de yaygın olarak kullanılan DD13 plaka sacın korozyon önlenmesinde termiyonik vakum ark yöntemi kullanılarak nano boyutta tek katman kaplanan ZnSe etkinliği araştırılmıştır.

## Yöntem

Altaş malzeme olarak kullanılacak olan 6224 DD13 derin çekmeye uygun plaka sacın kimyasal kompozisyonu ve bazı mekanik özellikleri sırasıyla Tablo 1 ve 2'deki gibidir (Tuyan vd. 2020: 872-880); (Keran vd. 2021: 5871).

Tablo 2. DD13 için kimyasal özellikleri

C(%)	P(%)	S(%)	Mn(%)
0,07	0,025	0,025	0,35

Tablo 3. DD13 için fiziksel özellikleri

Akma Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)
170-310	400	28-33

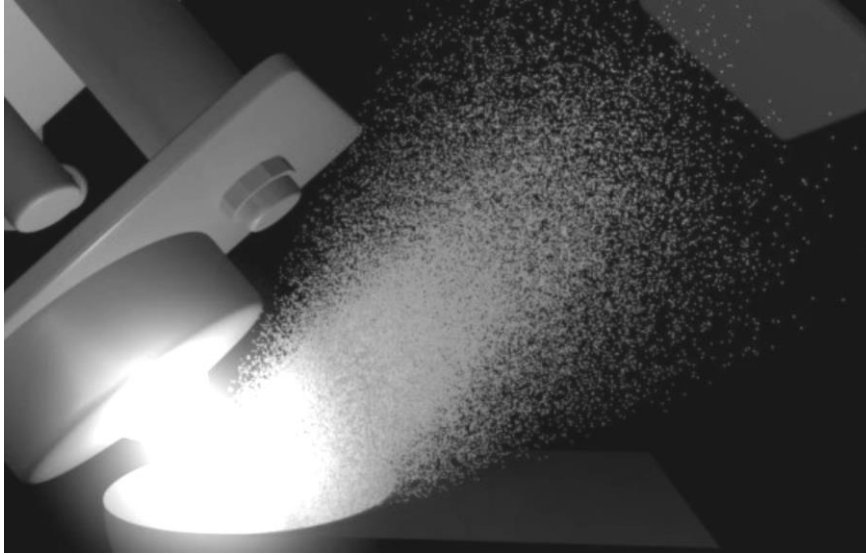
İmalat sektöründe özellikle otomotivde yoğun olarak kullanılan DD13 plaka saclardan 5x5x0,3 cm kare boyutlarında hassas kesme yöntemi ile hazırlanmış ve belirtilen boyutlarda hazırlanan altaşlar kaplama işlemi öncesi saf su, etil alkol, ve pas sökücü proseslerinden geçmiştir. Bu işlemler 15 dk süre ile gerçekleştirilmiş olup kaplamanın adhezyon direncinin artırılması hedeflenmiştir. Saf su ile numuneler üzerindeki toz zerrecikleri, etil alkol ile kesme anında bulaşan yağ lekeleri ve pas sökücü ile kaplama öncesi altaş üzerindeki oluşabilecek oksit tabakası temizlenmiş ve kaplama işlemine hazır hale getirilmiştir.

Geçmişten günümüze çinko selenyum (ZnSe) ile ilgili çalışmalar geçmişten günümüze kadar malzemenin hazırlanma yöntemi, performansı, nano kristal yapıları ve ince filmler üzerindeki çalışmalar üzerinden devam etmiştir. Altaş üzerine kaplama için ZnSe %99,99 saflığa sahip materyal kullanılmıştır. Hedef materyal ZnSe'nin sahip olduğu özellikler tablo 3'te görüldüğü gibidir (Yudar vd. 2017;2833-2837).

Tablo 4. ZnSe malzemesinin özellikleri

Özellik	Değer
Yoğunluk ( $g/cm^3$ )	4,1
Erime noktası ( $^{\circ}C$ )	1830
Molar Kütle ( $g/mol$ )	144,35
Termal İletkenlik ( $W/cmK$ )	0,18
Kristal Yapısı	Kübik
Özellik	Değer

Alttaş üzerine nano tek katmanlı olarak ZnSe malzemenin kaplanması şekil 1’de görülen termiyonik vakum ark yöntemi ile gerçekleştirilmiştir (Pat vd. 2013;259). Kaplanacak olan hedef malzemeler ile alttaşların konulduğu tutucu arasında yaklaşık olarak 30 mm mesafe bulunmakta ve kaplama bu pozisyonda gerçekleşmektedir. ZnSe kaplama denemesinin gerçekleştirildiği parametreler tablo 4’de görüldüğü gibidir.



Şekil 2. TVA sisteminde kaplama

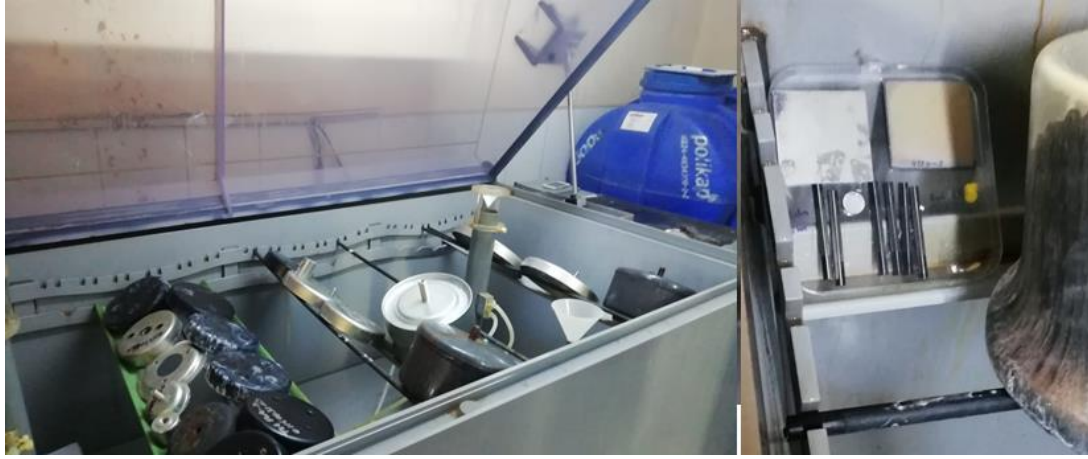
Tablo 5. ZnSe kaplama parametreleri

Kaplama Parametreleri	ZnSe
Vakum (Torr)	8E-5
Vakuma Gelme Süresi (dk)	33
Filaman Voltaj (V) - Akım (A)	18-18
Deşarj Akımı (A)	0,4
Hızlandırma Voltajı (V)	400
Basınç (Torr)	6,6E-5
Süre (dk)	4,30
Filaman Çapı (mm)	500

Kaplanan numunede korozyon durumlarının değerlendirilebilmesi amacıyla şekil 2’de görülen tuz sisi test korozyon kabini KTK-01 UAUTEST (198x88x60) ile gerçekleştirilmiştir. Tuz

sisi testi uygulanabilmesi için şekil 2’de görüldüğü üzere numunelerin reaksiyona girmemesi ve numune üzerinde sıvı birikiminin önüne geçilebilmesi için etrafı açık düz bir plastik yüzeye sabitlenmiş ve tuz sisi testi cihazına 45°lik açı ile koyulmuştur.

Tuz sisi test cihazında 5 günlük bir kalibrasyon ölçümü gerçekleştirilip beş günlük ölçüm beklenen değer aralıklarında olup olmadığı tablo 5’teki gibi teyitlenmesi ile gerekli korozyon test işlemleri başlatılmıştır. Tuz sisi korozyon testi ve kabin parametreleri TS EN ISO 9227 “Yapay atmosferlerde korozyon deneyleri Tuz püskürtme deneyleri” standartlarına göre gerçekleştirilmiştir.



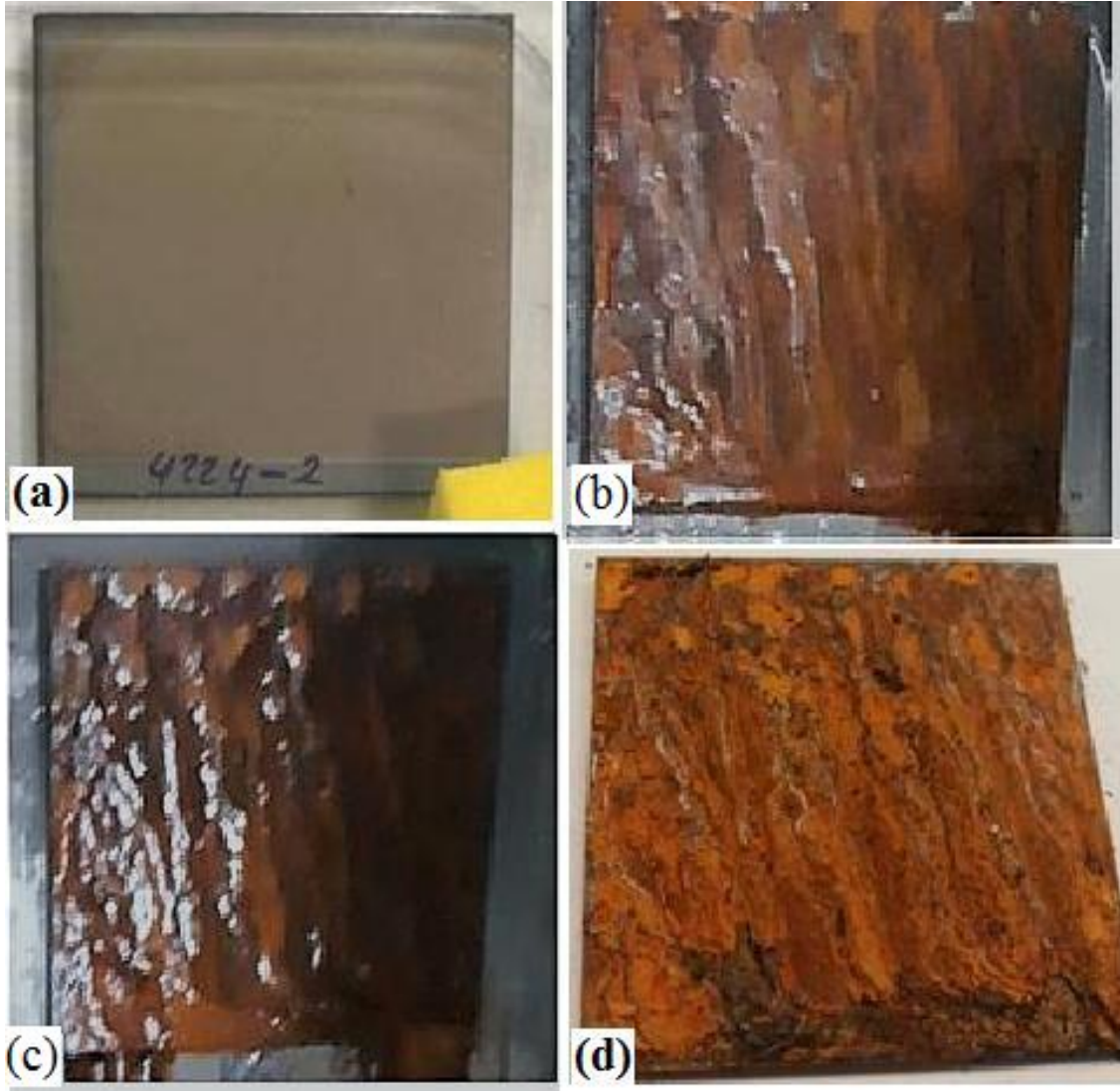
Şekil 3. Tuz sisi test cihazı

Tablo 6. Tuz sisi test cihazı değerleri

Parametreler	B. Aralık	1. Gün	2. Gün	3. Gün	4. Gün	5. Gün
Hava Basıncı (PSI)	12,3–17,98	15	15	14	16	15
Çözelti Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	1,029-1,036	1,036	1,036	1,036	1,036	1,036
Çözelti pH Değeri (pH)	6,5-7,2	6,77	6,64	6,83	6,86	6,83
Sis Yoğunluğu (ml/saat)	1-2	2	1,67	1,58	1,67	1,58
Kabin Sıcaklığı (°C)	35±2	35	35,3	34,9	35,1	35
Doyma Kabin Sıcaklığı (°C)	45-47	47	47	47	47	47

## Sonuç ve Öneriler

Belirlenen parametreler aracılığı ve TVA metodu ile şekil 3(a)’da görüldüğü üzere numune başarı ile elde edilmiştir. Elde edilen numune şekil 3’te de görüldüğü üzere gün bazlı olarak dört gün boyunca korozyon testine tabi tutulmuştur. Birinci gün korozyon testi sonucunda numune yüzeyinin yüksek oranda kırmızı pasa maruz görülmüştür. Şekil 3(c)’deki ikinci gün ve şekil 3(d)’deki dördüncü gün korozyon durumları incelendiğinde ZnSe kaplamalı numunede kırmızı pas durumundan çukurlaşmalı ve dökülmeli kırmızı pas durumuna geçildiği görülmüştür.



Şekil 4. Günlük korozyon durumu

Gerçekleştirilen korozyon incelemesiyle tek katmanlı nano ZnSe kaplamanın korozyon önlemek için yeterli olmadığı net bir şekilde anlaşılmıştır. Tek tabaka nano katmanlı yapının tuz sisı testine maruz bırakılarak ilk günden yüksek oranda korozyona uğramıştır. Yapılan bu çalışma neticesinde ZnSe nano kaplamanın tek başına korozyon önleyici olarak etkisinin bulunmadığı görülmüştür. Bu durum çok katmanlı korozyon önleyici yapı oluşturulması durumunda ara katman olarak kullanılabilme durumunu göstermektedir. Böylece oluşturulacak çok katmanlı yapı da ara katman olarak kullanılması durumunda ZnSe malzeme kurban katot gibi davranacağından dolayı korozyon ilerleme hızında belli bir oranda düşüş olacağı öngörülmektedir. Böylece özellikle otomotiv sanayinde yoğun olarak kullanılan DD13 plaka sacın korozyon direncinde gerçekleştirilecek kaplama sonucunda iyileşme elde edilebileceği düşünülmektedir.



## KAYNAKÇA

Dvořák, M., & Schwarzer, E. (2012). New methods testing of adhesion of the coating to sheet metal by bending. *J Surf Eng Mater Adv Technol*, 2, 61-64.

Karthikaiselvi, R., & Subhashini, S. (2014). Study of adsorption properties and inhibition of mild steel corrosion in hydrochloric acid media by water soluble composite poly (vinyl alcohol-o-methoxy aniline). *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, 16, 74-82.

Keran, Z., Stojanović, I., Novak, A. H., Runje, B., Razumić, A., & Vidović, D. (2021). Corrosion Resistance of Open Die Forged Austenitic Stainless Steel Samples Prepared with Different Surfaces. *Sustainability*, 13(11), 5871, DOI: 10.3390/su13115871.

Korkmaz, Ş. (2017). Termiyonik Vakum Ark İle Üretilen Ingaasn İnce Filmlerin Bazı Fiziksel Özellikleri. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 22(2), 121-128.

Marder, A. R. (2000). The metallurgy of zinc-coated steel. *Progress in materials science*, 45(3), 191-271.

Mehta, S., Jha, S., & Liang, H. (2022). Corrosion of nickel-based alloys fabricated through additive manufacturing: a review. *Progress in Additive Manufacturing*, 1-17.

Melia, M. A., Duran, J. G., Taylor, J. M., Presuel-Moreno, F., Schaller, R. F., & Schindelholz, E. J. (2021). Marine Atmospheric Corrosion of Additively Manufactured Stainless Steels. *Corrosion*, 77(9), 1003-1013.

MIURA, N., Saito, T., Kanamaru, T., Shindo, Y., & Kitazawa, Y. (1983). Development of New Corrosion-resistant Steel Sheets for Automobiles. *Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan*, 23(11), 913-922.

Özkan, M., Ekem, N., Balbag, M. Z., & Pat, S. (2012). ZnSe nanocrystalline thin films deposition on Si substrate by thermionic vacuum arc. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 226(2), 103-108.

Pat, Ş., Özmumcu, M., Ekem, N., Özkan, M., Korkmaz, Ş., & Balbağ, M. Z. (2010). Antireflective coating on polyethylene terephthalate by thermionic vacuum arc. *Journal of Plastic Film & Sheeting*, 26(3), 259-270,. DOI: 10.1177/8756087910392082

Song, G. M., Vystavel, T., Van Der Pers, N., De Hosson, J. T. M., & Sloof, W. G. (2012). Relation between microstructure and adhesion of hot dip galvanized zinc coatings on dual phase steel. *Acta Materialia*, 60(6-7), 2973-2981.

Tuyan, M., & Demirer, A. (2020). Sac Kalıplama Prosesinde DD13 ve S355MC Malzemelerin Yırtılma Probleminin İncelenmesi ve Çözümü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 872-880, DOI: 10.31590/ejosat.828066.

Yudar, H. H., Pat, S., Korkmaz, Ş., Özen, S., & Şenay, V. (2017). Zn/ZnSe thin films deposition by RF magnetron sputtering. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28(3), 2833-2837, DOI: 10.1007/s10854-016-5866-6.

## Otomotiv Parçaları İçin Alt Tabaka Olarak Sac Üzerindeki Çinko Nano Kaplamanın Korozyon Davranışı

Hafizittin Hakan YUDAR<sup>1</sup>  
Suat PAT<sup>2</sup>

### Giriş

Dünya endüstrisinde her yıl aşınma gerekçesinden dolayı milyarlarca dolar değerindeki makine, makine parçası ve ürün hurdaya ayrılmaktadır. Endüstrinin pek çok alanındaki tesislerin, makinelerin ve araçların etkin çalışmasını azaltan, güç kayıplarını ve yedek parça kullanım oranını arttıran aşınma olayı sonucunda duruş kayıpları, montaj ve demontaj süreleri ve randıman kayıpları da göz önünde bulundurulursa bu milyarlarca dolarlık kayıp katlanarak daha da artmaktadır (Mehta vd. 2022; 1-17). Bu nedenle aşınmaya karşı daha dirençli çeliklerin üretilmesi veya geliştirilmesi gittikçe önem kazanmaktadır (Miura, 1983;913-922).

Atmosferik ortamda kullanılan yapılar atmosferik korozyona maruz kaldığı bilinmektedir. Özellikle endüstri için geliştirilen ve üretilen parçaların kullanım ve ortam şartlarına bağlı olarak hızlı bir şekilde aşınmaya/korozyona uğramaktadır. Bu durumda malzemenin kullanılmamasına ve üzerinde kırmızı pas oluşmasına neden olmaktadır. Atmosferik korozyonu önleyebilmek için birçok yöntem geliştirilmiştir (Melia, 2021; 1003-1013). Korozyon önleme için geliştirilen yöntemlerden birisi de metal yüzeylerin kaplanmasıdır (Dvořák, 2012: 61-64).

Endüstride korozyon önleme amacı ile yoğun olarak çinko kaplamalar kullanılmaktadır. Çinkonun kaplandığı malzeme katodik, çinko ise anodik davrandığından dolayı metal korunması için kaplama malzemesi olarak kullanılması oldukça yaygındır. En önemli özelliği ise çinkonun sahip olduğu özellikler dolayısıyla metallerin paslanma olgusuna karşı koruyuculuk sağlayan en iyi malzemelerden olmasıdır. Ayrıca tercih edilmesinin diğer nedenler ise kullanım amaçlarını engellememesi, esnek, ucuz, kolay ve sorunsuz kaplama yöntemlerine sahip olmasından da kaynaklanmaktadır (Marder, 2000; 191-271); (Song, 201; 2973,-2981).

Çinko kaplamanın en çok kullanılan kaplama yöntemlerinden birisi de galvanizlemedir. Bu yöntem ucuz olması, yöntem hakkında bilgi birikimin çok olması ve kolay uygulanabilir olması tercih edilmesine neden olmaktadır (Song, 201; 2973,-2981). Ancak bu yöntem ile kaplama boyutları mikro seviyesinde gerçekleşmekte olup nano mertebesine indirilememektedir. Ayrıca daldırma yöntemi ile kaplama olmasından dolayı farklı kaplama tasarımlarına imkan tanımamaktadır (Asgari, 2007; 6769-6777); (Shibli, 2015; 210-215).

Termiyonik vakum ark (TVA) sistemi yüksek vakum değerlerinde kaplama gerçekleştirilebilmesine imkan veren yeni yöntemlerden biridir. Bu yöntem ile metal kaplamaların yanında seramik, metal oksit, yarı iletken, süper iletken gibi malzemelerde kolaylıkla kaplanabilmektedir. TVA yöntemi ile nano boyutta kaplamalar yüksek saflıkta üretilebilmesine imkan tanımaktadır. Ayrıca kaplamaların yüzey tutunması da oldukça yüksektir (Korkmaz, 2017;121-128).

---

<sup>1</sup> Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcid: PhD Candidate, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fizik, 0000-0003-2538-338

<sup>2</sup> Unvan, Üniversite, Bölüm, Orcid: Prof. Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fizik, 0000-0001-9301-8880

Bu çalışmada otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan DD13 plaka sacıta korozyonu önlenmesi amacı ile termiyonik vakum ark yöntemi kullanılarak nano boyutta tek katman kaplanan çinkonun etkinliği araştırılmıştır.

## Yöntem

Bu çalışmada taban malzeme olarak kullanılan 6224 DD13 derin çekmeye uygun plaka sacın kimyasal kompozisyonu ve bazı mekanik özellikleri sırasıyla Tablo 1 ve 2’de sunulmuştur (Tuyan vd. 2020: 872-880); (Keran vd. 2021: 5871).

Tablo 7. DD13 için kimyasal özellikleri

C(%)	P(%)	S(%)	Mn(%)
0,07	0,025	0,025	0,35

Tablo 8. DD13 için fiziksel özellikleri

Akma Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)
170-310	400	28-33

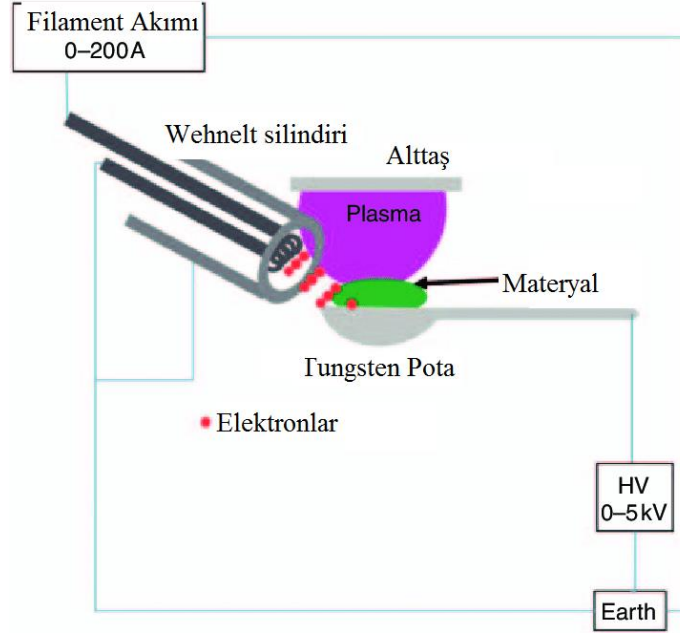
İmalat sektöründe özellikle otomotivde yoğun olarak kullanılan DD13 plaka sacılardan 5x5x0,3 cm kare boyutlarında hassas kesme yöntemi ile hazırlanmıştır. Belirtilen boyutlarda hazırlanan alttaşlar kaplama işlemi öncesi kaplamanın anında adhezyon direncinin artması için saf su, etil alkol ve pas sökücü yardımı ile 15 dk süre ile temizlenmiştir. Saf su ile e numuneler üzerindeki toz zerreciklerini temizlenmekte, etil alkol ile kesme anında bulaşan yağ lekeleri temizlenmekte ve pas sökücü ile kaplama öncesi alttaş üzerindeki oluşabilecek oksit tabakası temizlenerek alttaşın kaplama işlemine hazır hale getirilmesi sağlanmıştır. Böylece alttaş kaplama etkileşimi daha iyi olmuştur.

Alttaş üzerine kaplama için çinko (Zn) %99,99 saflığa sahip materyal kullanılmıştır. Hedef materyal toz halinde olup pallet haline getirilmiştir. Palet haline getirilen materyal malzeme dört eşit parçaya bölünerek kaplama sisteminde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir. Zn materyalinin sahip olduğu özellikler tablo 3’te görüldüğü gibidir (Yudar vd. 2017;2833-2837).

Tablo 9. Zn malzemesinin özellikleri

Özellik	Değer
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	7,14
Erime noktası (°C)	419,5
Kaynama noktası (°C)	906
Isıl kapasite (J/molK)	25,39
Termal İletkenlik (W/cmK)	1,20
Kristal Yapısı	Hegzagonal

Alttaş üzerine nano tek katmanlı olarak Zn malzemenin kaplanması şekil 1’de görülen termiyonik vakum ark yöntemi ile gerçekleştirilmiştir (Pat vd. 2013;259). Kaplanacak olan hedef malzemeler ile alttaşların konulduğu tutucu arasında sabit olarak 30 mm mesafe bulunmaktadır. Zn kaplama denemesinin gerçekleştirildiği parametreler tablo 4’de görüldüğü gibidir.



Şekil 5. TVA sistemi şematığı

Tablo 10. Zn kaplama parametreleri

Kaplama Parametreleri	Zn
Vakum (Torr)	8,5E-5
Vakuma Gelme Süresi (dk)	22
Filaman Voltaj (V) - Akım (A)	17-19
Deşarj Akımı (A)	0,3
Hızlandırma Voltajı (V)	300
Basınç (Torr)	7E-5
Süre (dk)	2
Filaman Çapı (mm)	500

Kaplanan numunede korozyon durumlarının değerlendirilebilmesi amacıyla şekil 2’de görülen tuz sisi test korozyon kabini KTK-01 UAUTEST (198x88x60) ile gerçekleştirilmiştir. Tuz sisi testi uygulanabilmesi için şekil 2’de görüldüğü üzere numunelerin reaksiyona girmemesi için etrafı açık düz bir plastik yüzeye sabitlenmiş ve tuz sisi testi cihazına 45o’lik açı ile koyulmuştur. Böylece test anında numunelerin bulunduğu ortamda sisten dolayı bir sıvı birikiminin önüne geçilmiştir.

Tuz sisi test cihazı tablo 5’teki gibi beklenen değer aralıklarında olduğu 5 (beş) günlük ölçüm ile teyit edilerek gerekli korozyon test işlemleri başlatılmıştır. Tuz sisi korozyon testi ve kabin parametreleri TS EN ISO 9227 “Yapay atmosferlerde korozyon deneyleri Tuz püskürtme deneyleri” standartları göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir.



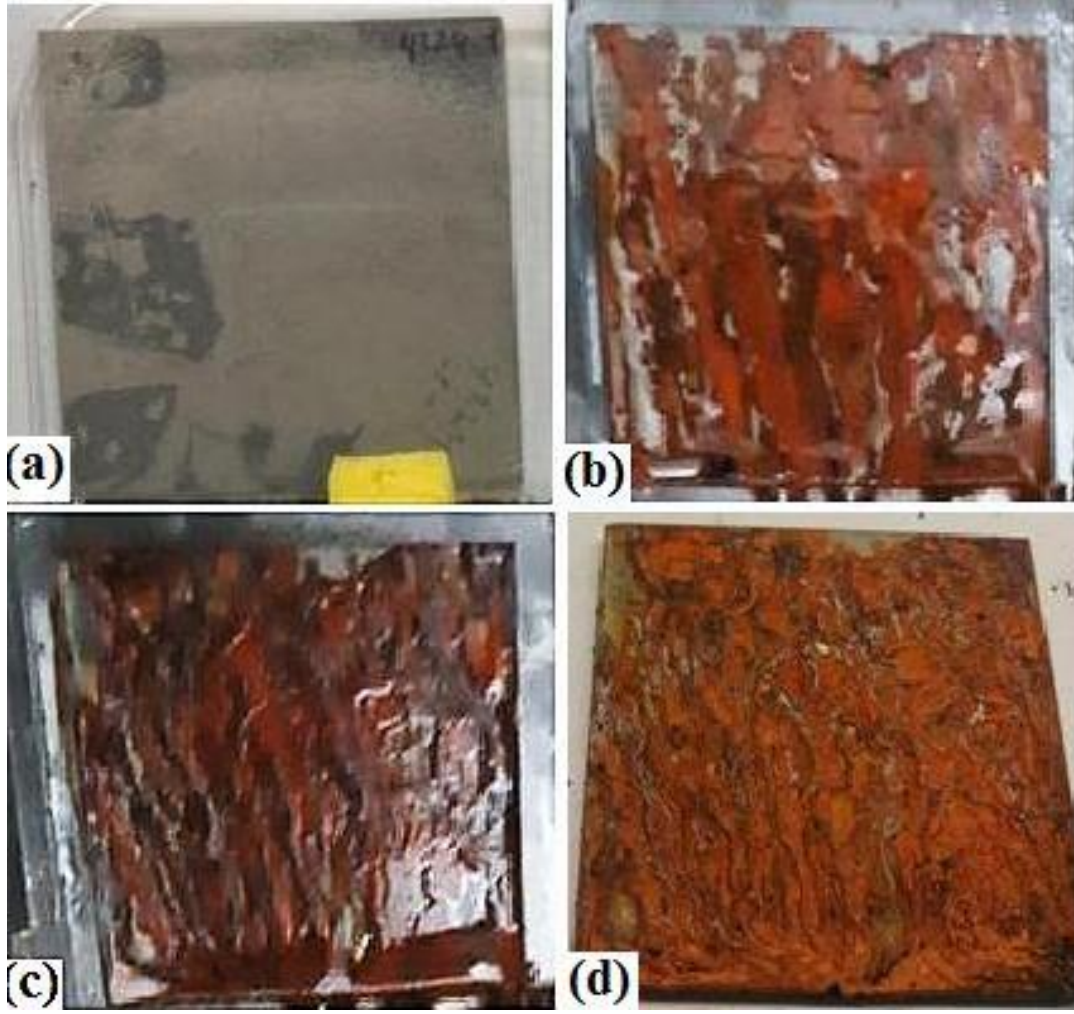
Şekil 6. Tuz sisi test cihazı

Tablo 11. Tuz sisi test cihazı değerleri

Parametreler	B. Aralık	1. Gün	2. Gün	3. Gün	4. Gün	5. Gün
Hava Basıncı (PSI)	12,3–17,98	15	15	14	16	15
Çözelti Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	1,029-1,036	1,036	1,036	1,036	1,036	1,036
Çözelti pH Değeri (pH)	6,5-7,2	6,77	6,64	6,83	6,86	6,83
Sis Yoğunluğu (ml/saat)	1-2	2	1,67	1,58	1,67	1,58
Kabin Sıcaklığı (°C)	35±2	35	35,3	34,9	35,1	35
Doyma Kabin Sıcaklığı (°C)	45-47	47	47	47	47	47

## Sonuç ve Öneriler

Belirlenen parametreler aracılığı ve TVA metodu ile şekil 3(a)'da görüldüğü üzere numune başarı ile elde edilmiştir. Elde edilen numune şekil 3'te de görüldüğü üzere gün bazlı olarak dört gün boyunca korozyon testine tabi tutulmuştur. Birinci gün sonunda korozyon testi ile elde edilen sonuç şekil 3(b)'deki gibi olup yapısında kırmızı paslı bölgeler görülse de korozyon durumuna uğramamış kısımlarda görülmektedir. İkinci gün kaplı numune üzerindeki kırmızı paslı kısım oranında gözle görünür bir artış yaşanmış olup üçüncü gün sonunda şekil 3(c)'de görüldüğü gibidir. Korozyon testi ile ilk üçü gün için korozyon durumu oldukça hızlı ilerlemiş olduğu görülmekle birlikte dördüncü günde şekil 3(d)'de de görüldüğü üzere yüzeyde büyük oranda dökülmeli kırmızı pas gözlemlenmiştir.



Şekil 7. Günlük korozyon durumu

Gerçekleştirilen korozyon incelemesi ile birlikte tek katmanlı nano Zn kaplamanın korozyon önlemek için yeterli olmadığı anlaşılmıştır. Tek tabaka nano katmanlı yapının tuz sisi testine maruz bırakılarak ilk günden korozyona uğraması galvanizlenerek elde edilen kaplama korumasını sağlamadığı görülmektedir. Ancak yapılan çalışma neticesinde görülen korozyon durumunun homojen olarak dağılmaması ve her kısımda oluşmaması dolayısı ile yapının gelişime açık olduğunu göstermektedir. Bu durum çok katmanlı yapıların oluşturulmasında gelecek vaad etmektedir. Tek katmanlı nano Zn kaplama yerine çok katmanlı bir yapı oluşturulur ise hem korozyon oluşumu hem de korozyon ilerleme hızında belli bir düşüş olacağı öngörülmektedir. Böylece özellikle otomotiv sanayinde yoğun olarak kullanılan DD13 plaka sacın korozyon direncinde gerçekleştirilecek kaplama sonucunda iyileşme elde edilebileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKÇA

- Asgari, H., Toroghinejad, M. R., & Golozar, M. A. (2007). On texture, corrosion resistance and morphology of hot-dip galvanized zinc coatings. *Applied Surface Science*, 253(16), 6769-6777.
- Dvořák, M., & Schwarzer, E. (2012). New methods testing of adhesion of the coating to sheet metal by bending. *J Surf Eng Mater Adv Technol*, 2, 61-64.
- Keran, Z., Stojanović, I., Novak, A. H., Runje, B., Razumić, A., & Vidović, D. (2021). Corrosion Resistance of Open Die Forged Austenitic Stainless Steel Samples Prepared with Different Surfaces. *Sustainability*, 13(11), 5871, DOI: 10.3390/su13115871.
- Korkmaz, Ş. (2017). Termiyonik Vakum Ark İle Üretilen Ingaasn İnce Filmlerin Bazı Fiziksel Özellikleri. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 22(2), 121-128.
- Marder, A. R. (2000). The metallurgy of zinc-coated steel. *Progress in materials science*, 45(3), 191-271.
- Mehta, S., Jha, S., & Liang, H. (2022). Corrosion of nickel-based alloys fabricated through additive manufacturing: a review. *Progress in Additive Manufacturing*, 1-17.
- Melia, M. A., Duran, J. G., Taylor, J. M., Presuel-Moreno, F., Schaller, R. F., & Schindelholz, E. J. (2021). Marine Atmospheric Corrosion of Additively Manufactured Stainless Steels. *Corrosion*, 77(9), 1003-1013.
- MIURA, N., Saito, T., Kanamaru, T., Shindo, Y., & Kitazawa, Y. (1983). Development of New Corrosion-resistant Steel Sheets for Automobiles. *Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan*, 23(11), 913-922.
- Pat, Ş., Özmumcu, M., Ekem, N., Özkan, M., Korkmaz, Ş., & Balbağ, M. Z. (2010). Antireflective coating on polyethylene terephthalate by thermionic vacuum arc. *Journal of Plastic Film & Sheeting*, 26(3), 259-270, DOI: 10.1177/8756087910392082
- Shibli, S. M. A., Meena, B. N., & Remya, R. (2015). A review on recent approaches in the field of hot dip zinc galvanizing process. *Surface and Coatings Technology*, 262, 210-215.
- Song, G. M., Vystavel, T., Van Der Pers, N., De Hosson, J. T. M., & Sloof, W. G. (2012). Relation between microstructure and adhesion of hot dip galvanized zinc coatings on dual phase steel. *Acta Materialia*, 60(6-7), 2973-2981.
- Tuyan, M., & Demirer, A. (2020). Sac Kalıplama Prosesinde DD13 ve S355MC Malzemelerin Yırılma Probleminin İncelenmesi ve Çözümü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 872-880, DOI: 10.31590/ejosat.828066.
- Yudar, H. H., Pat, S., Korkmaz, Ş., Özen, S., & Şenay, V. (2017). Zn/ZnSe thin films deposition by RF magnetron sputtering. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28(3), 2833-2837, DOI: 10.1007/s10854-016-5866-6.

## Ankastre Fırın Taşıyıcı Elemanlarında Frekans Analizleri ve Geometrik Optimizasyonu

Halit AKDOĞAN<sup>1</sup>  
Hamdi TAPLAK<sup>2</sup>

### Giriş

Ankastre fırınlar bir mutfak mobilyasının içine yerleştirilmiş pişirici cihazlardır. Standartlaşmış bir mobilya ölçüsü içine yerleştirilen ankastre fırınlar uluslararası güvenlik standartlarına dahildir. Teknoloji, teknolojinin gelişimi ve bu gelişime zorlayan faktörler insanlık tarihinde önemli role sahiptirler. Günümüz teknolojisinin geldiği nokta artık asıl işlevinin yanı sıra ikincil ve üçüncül işlevlere sahip nesnelere ve icatları sunmaktadır. Tüm teknoloji branşlarında olduğu gibi beyaz eşya ve ankastre sektörü de bu durumdan olumlu olarak etkilenmektedir. Fırın üretimi ve gelişimi konusu da beyaz eşya sektörünün önemli bir bölümünü kapsamakla birlikte, yakıt olarak odun kullanan fırınlardan kömür kullananlara, gaz kullananlardan sıvı yakıt kullananlara, elektrik kullananlardan internete bağlanabilen fırınlara kadar sektörün tamamı tüm bu teknolojik gelişmelerden etkilenmiş ve hatta çoğu zaman kendini zorunluluklardan gelişmeye zorlamıştır.

### YÖNTEM

Bu metinde, Basılı Kaynaklardan (Kitap) ve Online Kaynaklardan (Makale, Tez, İnternet Sayfaları) yararlanılmıştır. Konu başlıkları ve metin yapısı, metin yazım kılavuzuna uygun olarak hazırlanmıştır. Metinde kullanılan materyaller, konunun daha iyi anlaşılması açısından görseller ile desteklenmektedir. Titreşim analizi ve sac türleri hakkında bilgiler verilmiş, bu sacların sonlu elemanlar simülasyonu yöntemi ile şekillendirilmesi sağlanmak istenmiştir.

### 1. TİTREŞİM ANALİZİ

Cihazlar belli bir hasara maruz kaldıklarında, bu hasarlara yönelik uyarı sinyalleri verirler. En iyi uyarı sinyalini de titreşim olarak verir. Titreşim, bir cihazın mekanik aksamalarının iç ve dış kuvvetlere karşı gösterdiği tepki davranışdır. Farklı noktalardan alınan titreşim sinyalleri, farklı problemler nedeniyle karmaşık bir dalga formu verirler.

1822 yılında Baron Jean Baptiste Fourier kompleks dalga formlarının basit sinüs dalga formlarına ayrılabilceğini ispat etmiştir (Şekil 1). [1]

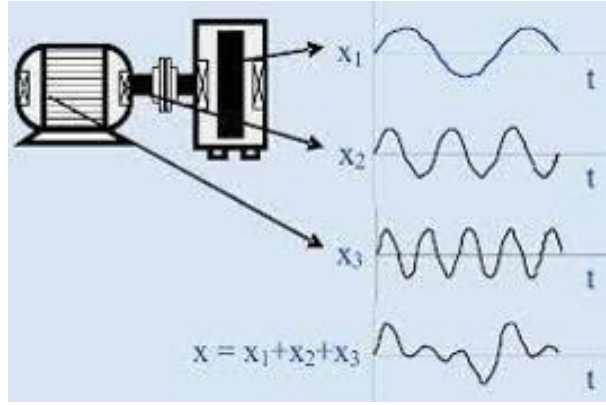
Bu basit dalga formlarının genliklerinin frekans bandına ulaşması ile spektrumlar ortaya çıkmıştır.

---

<sup>1</sup> Yüksek Lisans Öğrencisi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0002-4372-2316

<sup>2</sup> Doç. Dr., Erciyes Üniversitesi, Makine, Orcid:0000-0003-3387-2692





Şekil 1. Dalga formlarının Basit Sinüs Dalga Formlarına Ayrılması [1]

Titreşim analizi yapılırken dikkate alınması gereken iki bileşen vardır. Bunlar; frekans (bir olayın belirli bir zaman periyodunda tekrar sayısı) ve genliktir (titreşim sinyalinin boyutu). Titreşimin gerçekleştiği frekans, hasarın veya hatanın tipini belirler. Yani görünen bazı hatalar, belirli frekanslarda gerçekleşir. Titreşim sinyalinin genliği ise, hatanın veya arızanın şiddeti hakkında bilgi verir. Genlik ne kadar fazlaysa arıza da o kadar fazladır. Genlik cihazın tipine bağlı değişir.

Titreşim analizi; elektriksel problemler, dişli hasarları, rulman hasarları, dengesizlik, eksenel ayarsızlık, mekanik gevşeklik gibi durumların tespitinde kullanılır.

## 2. SAC DONANIMLARI

### 2.1. Sac Türleri

Levha haline getirilmiş metaller sac olarak adlandırılmaktadır. Metaller endüstriyel şekilde işlenerek düz hale getirilir ve saclar oluşturulur. Sac hammaddesi ve sac çeşitleri içerisinde çok farklı seçenekler bulunmaktadır. Sanayi sektöründeki firmalar ihtiyaçları için çeşitli saclara ihtiyaç duymaktadır. Kullanım alanlarına göre farklılık gösteren sac türleri, özellik olarak farklı avantajlara sahiptirler.

#### 2.1.1. Siyah Saclar.

Siyah sac; sürekli olarak döküm işleminden geçen, yarı ürünün belli bir sıcaklığa kadar ısıtılarak haddeleme işlemine tabii tutulan dikdörtgen kesitli yassı çelik ürünlerdir. Siyah sacların en önemli özelliği üretildikten sonra rulo haline getirilmesidir. Bu ürünler kristalleşme sıcaklığının üzerinde olduğunda kolayca şekillendirilebilirken, sac soğuduğunda büzülmesi için boyutunu ve şeklini kontrol altında tutmak oldukça zor bir durumdur. Siyah sac teknik ve mekanik özellikleri arasında yerini alan bir diğer durum ise sıcak haddeleme işleminin uygulanmasıdır. Fakat bu durum, yüksek düzeyde dayanıklılığı otomatik olarak oluşturmaktadır.

#### 2.1.2. Levha Saclar.

Levha saclar yassı haddelenmiş bir şekilde bulunan saclardır. Rulo haline getirilebilen ana malzemelerden oluşurlar. Yapı endüstrisinde yaygın bir kullanım alanına sahip olan levha saclar, yüksek dayanıklılık ve stabilite ile uzun ömürlüdürler. Levha saclar, düz levha şeklinde ya da büyük

rulolar biçiminde bulunan levhaların genel itibarıyla alüminyum, nikel, titanyum, bakır, altın, gümüş ve platin gibi çeşitli metal uygulamalarında imalat ve tedarik imkanına sahiptir.

### **2.1.3. DKP Saclar.**

Endüstriyel şekilde işleme yöntemine tabi tutulan sacların başında DKP saclar gelmektedir. DKP sac, soğuk olmasına rağmen kolay şekil alabilen, düşük karbon oranına sahip sıcak çeliklerdir. Sıcak olarak işlenen demir, silindirler arasından geçirilerek inceltir ve kullanıma uygun duruma getirilir. Yüzeyine pürüzsüzlük kazandırmak için ise soğutma işlemi gerçekleştirilir. İhtiyaca göre rulo şeklinde ya da yassı bir görünüme sahip olacak şekilde üretimi gerçekleştirilen bu malzemelerin oldukça yaygın bir kullanım alanına sahip olduğu bilinmektedir. DKP sacların sahip olduğu derin çekme özelliği, tokluk ve süneklik isteyen uygulamalara müsait olması nedeniyle tercih edilme sebeplerinin en önemlisidir. DKP rulo sac ve DKP sac plakalar kolay şekillendirilme ve kaynak tutma özelliğinden dolayı, DKP sac ürünleri beyaz eşya sektörünün en çok tercihleri edilenleri arasındadır. DKP saclar emaye kaplamaya uygun olduklarından daha çok mutfak eşyalarında kullanılırlar.

### **2.1.4. Galvanizli Düz Saclar.**

Rulo haldeki sacların müşteri ihtiyaçları doğrultusunda belli ölçülerde kesilmiş hali galvanizli düz sac olarak tanımlanır. Boy kesim hattında çeşitli boyutlarda kesilen rulo halindeki galvanizli sac, iş yükünü azaltarak daha kolay kullanım sağlama amacıyla düz saclar haline getirilir. Gereken ölçülerde kesilmiş olması iş yükünü azaltır ve süreci kısaltır. Kısa zamanda düşük maliyetli ama uzun ömürlü malzeme veya yapı üretmeye imkan sağlar. Esnek yapısı sayesinde planlanan işin en az malzemeyle tamamlanmasını sağlar. Sunduğu esnekliğin yanında kullanıldığı ürün veya yapıya estetik bir duruş da kazandırır.

## **3. SACLARDA MEYDANA GELEN SORUNLAR VE BU SORUNLARIN TİTREŞİM İLE İLİŞKİSİ**

Saclar genellikle soğuk haddeleme yöntemiyle üretilen yassı ürünlerdir ve birçok sektörde yoğun olarak kullanılmaktadır. Üretim sürecinde üründe meydana gelen hatalar bazı sorunlara yol açmaktadır ve hatalı ürünün kullanımı yine bazı olumsuzluklara neden olmaktadır. Dolayısıyla üretim sürecinde hataların giderilmesi için birtakım önlemler alınması gerekmektedir. Bu önlemler doğrultusunda Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA; FMEA) yöntemi oldukça sık olarak kullanılmaktadır. Sac malzeme üretim sürecinde, üründe meydana gelebilecek bazı hata türleri belirlenmiştir. Bu hatalar şu şekildedir:

Kenar çatlakları, merdane izleri, boyuna çatlaklar, enine çatlaklar, katlanma-kıvrılma, çizikler-oyuklar, katlanmış kenarlar, katlanmalar, gevşek bobinler, dağınık desen görünümü, yara izleri, paslanma, bobin düzleşmesi, az miktarda dekapaj (asitleme), çok miktarda dekapaj (asitleme), sac bobininin kenarlarının fazla veya eksik etli olması, dalgalılık, taşlama izleri, siyah bant.

## **4. ANKASTRE FIRIN TAŞIYICI ELEMANLARINDA FREKANS ANALİZLERİ VE GEOMETRİK OPTİMİZASYONU**

Ankastre fırınlarda soğutma fanı ve pişirici turbo fan bulunmaktadır. Bu fanlar 1000 d/d ile 2000 d/d arasında devirlere sahiptirler. Fırın taşıyıcı elemanları modellenerek motorların devirleriyle, fırın doğal frekansının çakışmaması için uygun topolojiyi bulmak amacıyla sonlu

elemanlar yöntemi ile simülasyonlar yapılmıştır (Topoloji: Geometrik cisimlerin nitelikleriyle ilgili özelliklerini ve bağıl konumlarını, biçim ve büyüklüklerinden ayrı olarak alıp inceleyen geometri dah).

İlk olarak, fırın taşıyıcı elemanları üzerinde herhangi bir form olmadan düz sac şeklinde modellenerek analizler yapılmıştır. Analiz sonuçları 5 farklı mod şeklinde aşağıda listelenmiştir.

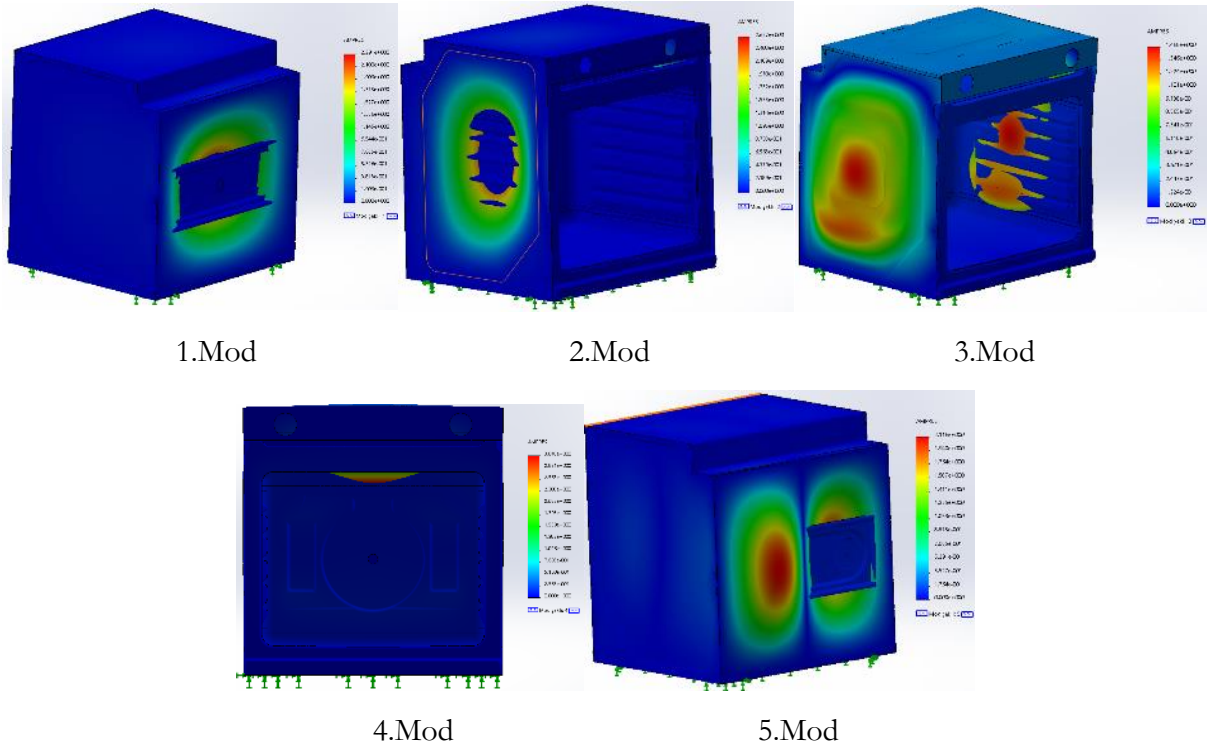
Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(Saniye)
1	94.276	15.005	0.066647
2	109.34	17.402	0.057464
3	109.56	17.437	0.057349
4	118.27	18.823	0.053125
5	172.77	27.497	0.036368

Şekil 2. Formsuz Analiz Sonuçları

Frekans 60 ile çarpılıp makinenin dönüş devri kontrol edilir.

- 1.Mod:  $15.005 \times 60 = 900.3$  d/d
- 2.Mod:  $17.402 \times 60 = 1044.12$  d/d
- 3.Mod:  $17.437 \times 60 = 1046.22$  d/d
- 4.Mod:  $18.823 \times 60 = 1129.38$  d/d
- 5.Mod:  $27.497 \times 60 = 1649.82$  d/d

Oluşan titreşim sonuçları Şekil 3'te gözlemlenmiştir. Bulunan frekans değerleri motor devir aralığımız içerisinde olduğu için formsuz geometriye sahip taşıyıcı elemanlar risk teşkil etmektedir.



Şekil 3. Farklı Modlar İçin Titreşim Sonuçları

Daha sonra fırın taşıyıcı elemanları üzerinde belli formlar oluşturularak modellenmiş ve analizler yapılmıştır.

Mod No	Frekans(Rad/sn)	Frekans(Hertz)	Periyot(Saniye)
1	100.87	16.054	0.062288
2	256.08	40.756	0.024536
3	261.65	41.643	0.024014
4	263.55	41.945	0.02384
5	265.06	42.185	0.023705

Şekil 4. Formlu Analiz Sonuçları

Aynı şekilde frekans 60 ile çarpılıp makinenin dönüş devri kontrol edilir.

1.Mod:  $16.054 \times 60 = 963.24$  d/d

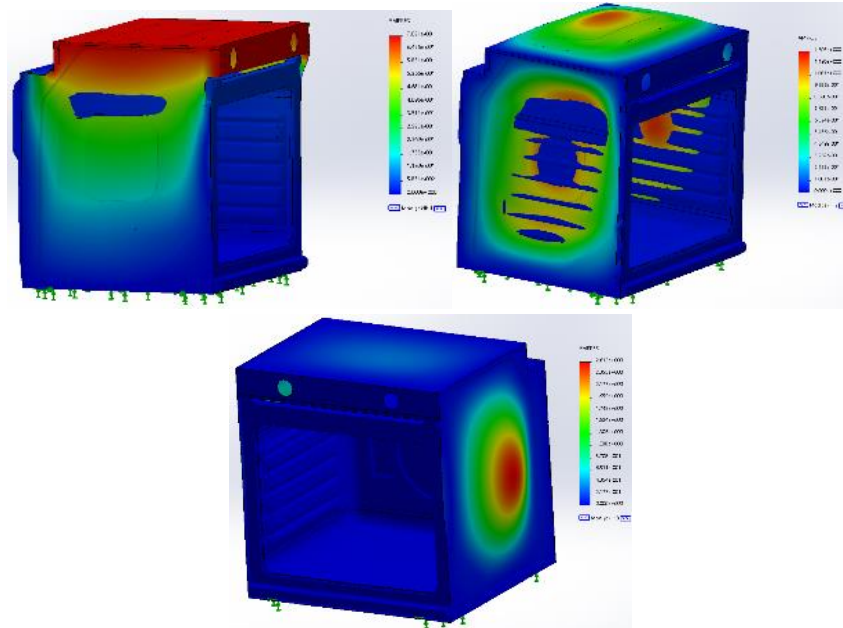
2.Mod:  $40.756 \times 60 = 2445.36$  d/d

3.Mod:  $41.643 \times 60 = 2498.58$  d/d

4.Mod:  $41.945 \times 60 = 2516.7$  d/d

5.Mod:  $42.185 \times 60 = 2531.1$  d/d

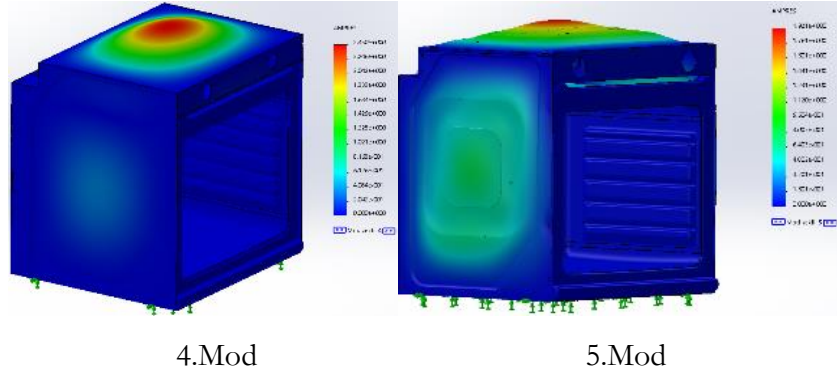
Oluşan titreşim sonuçları Şekil 5'te görsellerde gözlemlenmiştir. Bulunan frekans değerleri motor devir aralığımız içerisinde olmadığı için formlu (şekilli) geometriye sahip taşıyıcı elemanlar risk teşkil etmemektedir. Bir diğer deyişle formsuz (şekilsiz) geometriye sahip yapılar formlu geometriye sahip yapılara nazaran daha düşük frekans değerlerinde titreşim oluştururlar.



1.Mod

2.Mod

3.Mod



Şekil 5. Farklı Modlar İçin Titreşim Sonuçları

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada titreşim analizi ile ankastre fırın taşıyıcı elemanlarında oluşabilecek hataların belirlenmesi ele alınmıştır. Teorik ve deneysel incelemeler ile ev tipi elektrikli ankastre fırında titreşim ve gürültü problemi incelenmiştir. Günümüzde titreşim analizi her işletmede uygulanması gereken bir yöntemdir. Titreşimin engellenebilmesi gürültü problemini ortadan kaldırmaya yardımcı olacaktır. Bu engellemeyi doğru sac seçimi ve tasarımı ile yapmak mümkündür. Sonuç olarak doğru tasarım, doğru malzeme ve doğru analiz yöntemleri ile gerçek bir ürün ortaya koymak mümkündür.

## 6. KAYNAKLAR

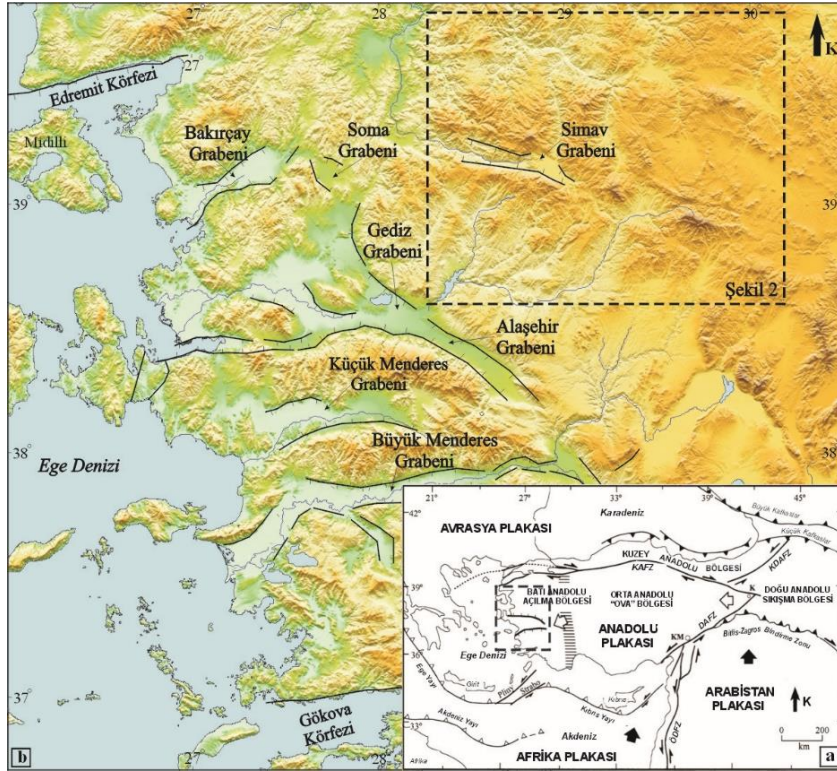
1. Mete KALYONCU, “Titreşim Analizi İle Makina Elemanları Arızalarının Belirlenmesi”, Mühendis ve Makina - Cilt: 47 Sayı: 552
2. <https://sensemore.io/tr>
3. <https://www.solidworks.com>
4. R. Kubilay KÖSE, “Makina Arızalarının Belirlenmesinde Titreşim Analizi”, Mühendis ve Makina - Cilt: 45 Sayı: 538
5. <https://www.elektrikrehberiniz.com>
6. Ali İhsan ENGÜR, “Kestirimci Bakımda Titreşim Analizi”, Mühendis Makina • Cilt: 48 Sayı: 570
7. <https://www.karacametal.com>
8. <https://www.vizyonuyapiinsaat.com>
9. <https://www.demiradacelik.com>
10. <https://www.esnmetal.com>
11. <https://www.dehametal.com>
12. <https://www.cihanyassimetal.com>
13. <https://www.asyametal.net>
14. <https://kanaan Demir.com.tr>
15. <https://www.murattiritoglu.com.tr>
16. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, “Sac Malzeme Üretiminde Hata Türleri ve Etkileri Analizi”, Özel Sayı 28, S. 1204-1209, Kasım 2021

## 19 Mayıs 2011 Simav Depremi ( $M_w=5.9$ ) Öncesi ve Sonrası Coulomb Gerilme Değişimleri

Hatice DURMUŞ<sup>1</sup>

### Giriş

Türkiye'deki ana tektonik yapılar, Afrika ve Arabistan plakalarının durağan Avrasya plakasına göre kuzeye doğru hareket etmelerinin bir sonucu olarak gelişmektedir (Şekil 1a). Arap plakasının Anadolu'ya çarpmasının ardından önce doğu daha sonra da tüm Anadolu sıkışıp kalınlaşmış, bu kalınlaşmanın kıta kabuğunun karşılamayacağı bir seviyeye ulaşmasının ardından Anadolu, batıya doğru hareket etmeye başlamıştır. Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve Doğu Anadolu Fayı (DAF) boyunca batıya doğru hareket eden Anadolu'da, 1988-2006 yılları arasında yapılan GPS (Küresel Pozisyon Sistemi) ölçümleri, Anadolu'nun 30-40 mm/yıl güneybatıya doğru saat yönünün tersi yönünde dönme hareketi yaptığını göstermiştir (Armijo vd., 1999; McClusky vd., 2000; Reilinger vd., 2006; Reilinger vd., 2010) (Şekil 1a).



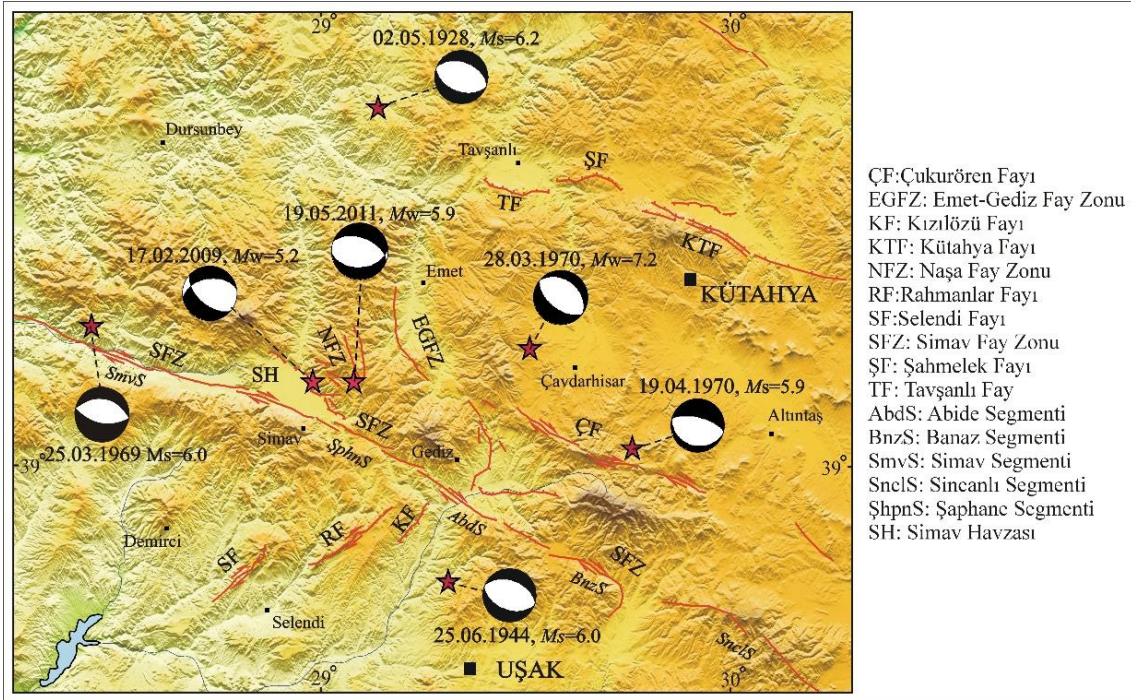
Şekil 1 - a) Türkiye'nin basitleştirilmiş tektonik haritası (Bozkurt, 2001). Kesikli alan, Şekil 2'nin harita sınırlarını temsil etmektedir. b) Türkiye ve Batı Anadolu'nun ana yapısal unsurlarını gösteren basitleştirilmiş haritası

Bu şekilde hem rahat bir ortam bulan hem de Akdeniz'deki Helenik-Kıbrıs dalma-batma zonu etkisi ile gerilmeye maruz kalan batı Anadolu'da, birbirine paralel normal veya oblik faylar ile sınırlanmış horst-graben yapıları oluşmuştur (Edremit, Bakırçay, Simav, Gediz, Küçük

<sup>1</sup> Hatice Durmuş, Dr. Öğr. Üyesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Menderes, Büyük Menderes, Gökova Körfezi) (Taymaz vd., 1991; Bozkurt, 2001; Demirtaş ve Erkmen, 2000) (Şekil 1b).

Batı Anadolu’da, günümüzde hâkim olan tektonik rejim açılmalı (genişlemeli) tektonik rejimdir. Ancak Özden vd. (2015) tarafından yapılan araştırmalar neticesinde bölgedeki genç çökeller içerisinde, sıkışma rejiminin ürünü olan kıvrımlar ve doğrultu atımlı faylanmalara ait izlere rastlanmıştır. Yapılan kronolojik fay düzlemi çalışmaları da bu bölgede, son sıkışma rejiminin KB-GD ve BKB-DGD doğrultulu olarak başladığını, bunun ürünü olan kıvrımlar ve doğrultu atımlı faylanmanın Simav, Emet ve Kütahya Fayları boyunca etkin olduğunu göstermiştir (Özden vd., 2015). Pliyo-Kuvaterner’de, söz konusu sıkışmalı tektonik rejim yerini genişlemeli tektonik rejime bırakmıştır. Bu nedenle güncel tektonik rejime bağlı olarak gelişen normal faylar çoğunlukla oblik atımlı normal fay karakterine sahiptir.



**Şekil 2** - Kütahya'nın tektonik haritası ve bölgede meydana gelen büyük depremlerin dış merkez dağılımları ile odak çözümleri. Faylar, Emre vd., 2013'den alınmıştır.

Söz konusu hâkim tektonik rejim altında, Kütahya ve yakın çevresinde oluşan önemli tektonik unsurlar kuzeydoğuda Tavşanlı (TF), Şahmelek (ŞF), Kütahya (KF), Emet-Gediz (EGFZ) ve Çukurören (ÇF) fayları ile güneybatıda Selendi (SF), Rahmanlar (RF) ve Simav Fay Zonu (SFZ)'dur (Şekil 2). Bu fay sistemleri içerisinde gelişen en önemli yapısal unsurlardan biri, Simav havzası (SH)'dır. SFZ'nin Şaphane (ŞphnS) ve Simav (SmvS) segmentleri arasındaki sağa sıçramalı bükümde gelişmiş açılmalı bir havza olan SH, güneyden SFZ kuzeyden ise Naşa Fay Zonu (NFZ) tarafından sınırlandırılmıştır (Şekil 2). NFZ toplam 20 km uzunlukta, KB-GD yönünde birbirine paralel uzanan bir seri normal faydan oluşmaktadır (Emre ve Duman, 2011). KB-GD doğrultulu SFZ ise toplam 205 km uzunlukta, doğrultu atım bileşeni bulunan normal fay karakterinde diri bir fay zonedir (Seyitoğlu, 1997).

Sözü edilen yapısal unsurların etkisi altında olan Kütahya ve yakın çevresinde, son yüzyılda birçok yıkıcı deprem meydana gelmiştir (Şekil 2). Bu depremlerden ilki 2 Mayıs 1928 Emet depremidir ( $M_s=6.2$ ). EGFZ'nun yaklaşık 50 km kuzeyinde meydana gelen bu deprem, bölgede hâkim KKB-GGD doğrultulu normal faylar ile ilişkilendirilmiştir (Nalbant vd., 1997). Bu depremin ardından 24 Haziran 1944'te Şaphane depremi ( $M_s=6.0$ ) meydana gelmiştir. Gediz'in



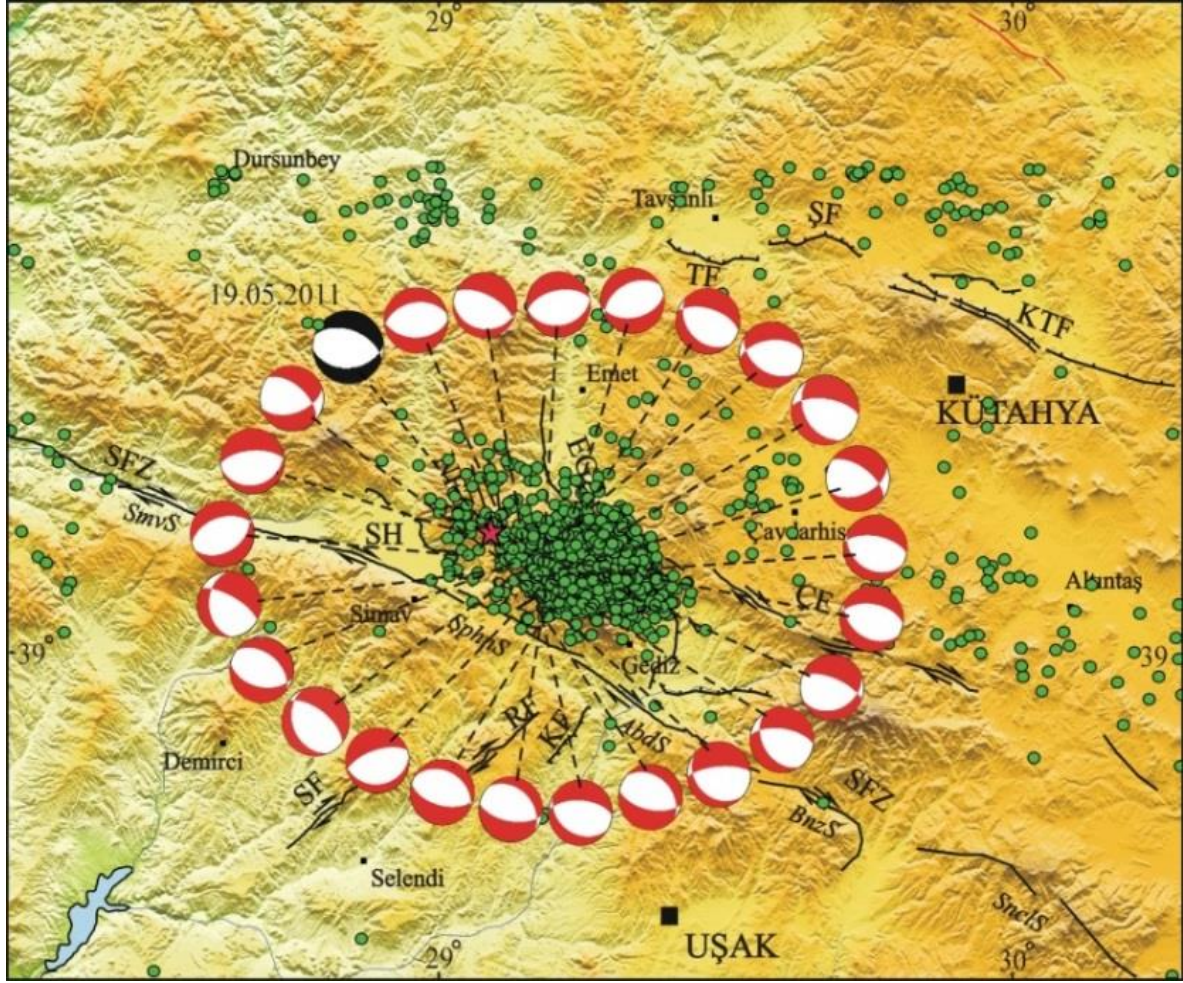
güneybatısında yer alan KKB-GGD doğrultulu normal faylarla ilişkilendirilen bu depreme ait kırıkların bir kısmı, 28 Mart 1970 Gediz depremi ile tekrar kırılmıştır (Nalbant vd., 1997). Bölgede meydana gelen üçüncü deprem, 25 Mart 1969 Demirci depremidir ( $M_s=6.0$ ) ve Simav havzasının kuzey kenarındaki güneye eğimli Akdağ fayı üzerinde meydana gelmiştir (Seyitoğlu, 1997). Bu depremin ardından yaklaşık 1 yıl sonra bölgede iki büyük deprem daha meydana gelmiştir. Bu depremlerden ilki 28 Mart 1970 Gediz ( $M_w=7.2$ ) diğeri ise 19 Nisan 1970 Çavdarhisar depremidir ( $M_s=5.9$ ). Yaklaşık 45 km uzunluğunda yüzey kırığı bulunan 1970 Gediz depremi, Gediz yakınlarında SFZ doğusunda Erdoğmuş fayı ve Aşıkpaşa-Muhipler fay segmenti boyunca meydana gelmiştir (Eyidoğan ve Jackson, 1985; Gürboğa, 2011). K-G ve D-B yönelimli yüzey kırıkları üreten depremde yaklaşık 1260 kişi hayatını kaybetmiş, 10000'den fazla ev yıkılmış ve yaklaşık 80000 kişi evsiz kalmıştır (Ambraseys ve Tchalenko, 1972: 238; Kaplan, 2014). 1970 Çavdarhisar depremi ise 1970 Gediz depreminin en büyük artçı depremi olarak literatürde yerini almıştır (Eyidoğan ve Jackson, 1985). Bölgede meydana gelen bir diğer orta büyüklükteki deprem 17 Şubat 2009 ( $M_w 5.2$ ) Simav depremidir ve bu çalışmanın konusu olan 19 Mayıs 2011 Simav depreminin hemen batısında SFZ üzerinde meydana gelmiştir.

Tüm bu deprem aktivitesi dikkate alındığında, SFZ ve yakın çevresinde 2011 Simav depremi öncesi ve sonrası Coulomb gerilme değişimleri modellenerek depremler ile Coulomb gerilme değişimi etkileşiminin yorumlanması ve ayrıca hem 2011 Simav depremi hem de öncesi geçmiş depremsellikten kaynaklanan Coulomb gerilme değişimi modelleri ile artçı deprem dağılımları arasındaki ilişkinin incelenmesi gelecekte meydana gelmesi kaçınılmaz olan depremler ile yaşanacak zararların önceden belirlenmesine ve olası can ve mal kayıplarının azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

### **19 MAYIS 2011 SİMAV DEPREMİ ( $M_w=5.9$ )**

19 Mayıs 2011 Simav depremi ( $M_w=5.9$ ), batı Anadolu'daki açılma sisteminin tektonik unsurlarından biri olan SFZ üzerinde meydana gelmiştir (Bekler vd., 2011; Kartal ve Kadrioğlu, 2014). Deprem, Kütahya ili Simav ilçesinde 2 kişinin ölümüne, yaklaşık 100 kişinin yaralanmasına ve birçok yapıda hasara neden olmuştur (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü\_KRDAE). 2011 Simav depremi sonrasında yaklaşık bir yıllık zaman dilimi içerisinde en büyükleri 27.06. 2011 ( $M_l=5.0$ ) ve 03.05. 2012'de ( $M_l=5.4$ ) olmak üzere bölgede çok sayıda artçı deprem meydana gelmiştir (Şekil 3). Artçı depremlerin dışmerkez dağılımları incelendiğinde büyük çoğunluğunun 2011 Simav depremi dışmerkezinin güneydoğusunda meydana geldiği dikkati çekmektedir (Şekil 3).

Emre ve Duman (2011) tarafından deprem sonrasında yapılan arazi incelemelerinde, 2011 Simav depremine ait kaynağı tanımlayacak nitelikte bir yüzey kırığı gözlenmediği vurgulanmıştır. Depreme ait bir yüzey kırığının bulunmaması ve episantr bölgesinde aynı doğrultuya sahip farklı fayların bulunması, 2011 Simav depreminin meydana geldiği kaynak fay hakkında çeşitli araştırmacılar tarafından farklı yorumlamalar yapılmasına neden olmuştur. Emre ve Duman (2011), depremin normal faylanma karakterli NFZ üzerinde meydana geldiğini vurgularken bazı araştırmacılar bölgenin önemli tektonik unsurlarından biri olan ve sağ yönlü doğrultu atımlı bileşeni olan (Karagöz vd., 2012; Budakoğlu ve Utkucu, 2013) baskın olarak normal faylanma karakterine sahip SFZ üzerinde meydana geldiğini vurgulamışlardır (Kartal ve Kadrioğlu, 2014; Görgün, 2014). Çeşitli kuruluşlar ve araştırmacılar tarafından yapılan fay düzlemi çözümleri Tablo 1'de verilmiştir.



**Şekil 3** - 2011 Simav depremi (kırmızı yıldız, siyah-beyaz odak küresi) sonrası yaklaşık bir yıllık zaman dilimi içinde meydana gelen artçı deprem ( $M \geq 3.0$ ) dışmerkez dağılımları (yeşil daire) ve büyük artçı depremlerin odak mekanizmaları (kırmızı- beyaz odak küreleri). Artçı deprem odak mekanizma çözümleri Kartal ve Kadirioglu (2014)'ten alınmıştır.

## COULOMB GERİLME DEĞİŞİMİ

Yenilmenin meydana geldiği şartları karakterize etmek için yaygın olarak kullanılan Coulomb yenilme gerilmesi değişimi aşağıda verilen eşitlik 1 ile ifade edilmektedir.

$$\Delta\sigma_f = \Delta\tau + \mu' \Delta\sigma_n \quad (1)$$

Burada,  $\Delta\tau$  ve  $\Delta\sigma_n$  sırasıyla hedef fay düzlemi üzerindeki kesme gerilmesi ve normal gerilmedeki değişimler,  $\mu'$  boşluk suyu basıncının bilinmeyen etkilerini içeren efektif sürtünme katsayısıdır (Harris, 1998) ve  $\mu'$ , 0.2-0.8 arasında bir değerdir. King vd., (1994) ve Steacy vd., (2004) tarafından  $\mu'$  değerinin seçiminin Coulomb yenilme gerilmesi değişiminin modellenmesinde kritik bir etkisinin olmadığı vurgulanmıştır. Buna göre, gerilme hesaplamalarımızda  $\mu'$  değeri 0.4, Young modülü  $8 \times 10^5$  bar ve Poisson oranı 0.25 alınmıştır. Deprem kırılmalarını elastik bir yarı uzayda diktörtgen dislokasyon yüzeyleri olarak kabul ederek gerilme değişimleri Okada (1992) tarafından verilen denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar için Coulomb 3.2 paket programı kullanılmış (Lin ve Stein, 2004; Toda vd., 2005) ve gerilmedeki artım kırmızı, azalış ise mavi renklerle temsil edilmiştir.

**Tablo 1** - 19 Mayıs 2011 Simav depreminin çeşitli kuruluşlar ve araştırmacılar tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri

	KRDAE		DAD		HRV		USGS		Karagöz vd. (2012)*		Budakoğlu ve Utkucu (2013)*	
Enlem (°)	39.152		39.133		39.080		39.114		-		-	
Boylam (°)	29.088		29.082		29.110		29.124		-		-	
Derinlik (km)	7.6		24.5		12.2		9.1		10		8	
Büyüklik (Mw)	5.7		5.8		5.9		5.8		5.8		5.9	
M <sub>0</sub> (Nm)	3.8x10 <sup>17</sup>		4.0x10 <sup>17</sup>		8.7x10 <sup>17</sup>		6.7x10 <sup>17</sup>		5.2x10 <sup>17</sup>		7.7x10 <sup>17</sup>	
Fay Düzlemi	DD1	DD2	DD1	DD2	DD1	DD2	DD1	DD2	DD1	DD2	DD1	DD2
Doğrultu (°)	290	89	315	116	98	286	275	111	271	107	84	301
Eğim (°)	52	41	56	36	44	46	37	54	51	40	43	53
Kayma Açısı (°)	-74	-110	-76	-105	-96	-85	-102	-80	-100	-78	-119	-66

KRDAE: Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü HRV: Harvard Global Centroid Moment Tensor (GCMT)

DAD: Deprem Dairesi Başkanlığı

USGS: United States Geological Survey

\*Uzak Alan (Telesismik) Cisim Dalgası Nokta-Kaynak modellemesi

### Kosismik Coulomb Gerilme Değişimi Modellemesi

Coulomb gerilme değişimleri ile depremler arasındaki etkileşimi ortaya koyan birçok çalışma yapılmıştır. Bunlardan en önemlileri ve sonrasında yapılan çalışmalara temel teşkil edenleri King vd., (1994), Stein vd., (1997), Steacy vd., (2004), McCloskey ve Nalbant, (2009) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalarda geçmiş depremlerden kaynaklanan statik gerilme değişimlerinin, komşu faylar boyunca meydana gelecek bir depremi tetikleyebileceği ya da geciktirebileceği (King vd., 1994; Stein vd., 1997), bir ana şokun ardından gerilme değişimlerinin gerçek zamanlı olarak modellenmesinin, ana şok sonrası meydana gelecek artçı depremler ile oluşabilecek tehlikelerin azaltılmasında yardımcı olabileceği vurgulanmıştır (Steacy vd., 2004; McCloskey ve Nalbant, 2009). Bu bağlamda, 2011 Simav depremi öncesi ve sonrası geçmiş deprensellikten kaynaklanan kosismik Coulomb gerilme değişimlerinin modellenmesi, bölgede meydana gelecek olası depremlerden kaynaklanacak tehlikelerin öngörülmesi için önem taşımaktadır.

Coulomb gerilme değişimi hesaplamalarında, 1928 Emet depremi başlangıç kabul edilmiş ve bu deprem sonrasında meydana gelmiş  $M \geq 5.9$  depremler modellemeye katılmıştır. Bu çalışmada kullanılan depremlere ait faylanma boyutları (fay uzunluğu ve fay genişliği) ve kırılma parametreleri (doğrultu, eğim, kayma açısı ve kayma miktarı) Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'de verilen bilgiler genel olarak literatürde yapılan çalışmalardan derlenmiştir (Ambraseys ve Tchalenko, 1972; Eyidoğan ve Jackson, 1985; Nalbant vd., 1997; Seyitoğlu, 1997; Gürboğa, 2011; Kaplan, 2014). Ancak kırılma parametreleri ve faylanma boyutları hakkında bilginin olmadığı durumlarda bazı genellemeler yapılmıştır. Örneğin kırılma parametreleri ve faylanma boyutları konusunda literatürde herhangi bir bilgi bulunamayan 1928 Emet depremi için, doğrultu harita üzerinden bölgede bulunan KB-GD doğrultulu faylar üzerinden okunmuştur (Deprem, Nalbant vd., (1997) tarafından KKB-GGD doğrultulu normal faylar ile ilişkilendirilmiştir). Eğim, ilişkilendirilen fay üzerinde daha önce meydana gelmiş olan depremler ile aynı kabul edilmiş ve kayma açısı değeri ise deprem normal fay karakterine sahip olduğu için -90 olarak alınmıştır. Faylanma boyutları ise Wells ve Coppersmith (1994) tarafından verilen ampirik bağıntılar kullanılarak depremin büyüklüğüne bağlı olarak belirlenmiştir. Ayrıca, bir depreme ait kayma dağılım modeli önceki çalışmalarda mevcutsa özellikle o kayma dağılım modelinin kullanılmasına dikkat edilmiştir. Kayma dağılım modeli olmadığı durumda ise kayma miktarı yine Wells ve Coppersmith (1994) tarafından verilen ampirik bağıntılar kullanılarak belirlenmiştir.

**Tablo 2** - Kosismik Coulomb gerilme değişimi modellenmesi için kullanılan depremlerin faylanma ve kırılma parametreleri

Tarih	Enlem Boylam	Mw	Ms	Doğrultu (°)	Eğim (°)	Kayma Açısı (°)	Fay Uzunluğu (km)	Fay Genişliği (km)	Kayma Miktarı (m)
02.05.1928	39.64-29.14		6.2	290	45 <sup>[2]</sup>	-90	15 <sup>[4]</sup>	10 <sup>[4]</sup>	0.25 <sup>[4]</sup>
25.06.1944	38.79-29.31	6.0		290	45 <sup>[2]</sup>	-90	13 <sup>[4]</sup>	9 <sup>[4]</sup>	0.21 <sup>[4]</sup>
25.03.1969	39.25-28.44		6.0	288 <sup>[1]</sup>	51 <sup>[1]</sup>	-79 <sup>[1]</sup>	13 <sup>[4]</sup>	9 <sup>[4]</sup>	0.21 <sup>[4]</sup>
28.03.1970	39.21-29.51	7.2		S1 308 <sup>[2]</sup> S2 270 <sup>[2]</sup>	35 <sup>[2]</sup> 35 <sup>[2]</sup>	-90 <sup>[2]</sup> -90 <sup>[2]</sup>	20 <sup>[5]</sup> 22 <sup>[5]</sup>	10 <sup>[5]</sup> 10 <sup>[5]</sup>	1.6 <sup>[5]</sup> 2.4 <sup>[5]</sup>
19.04.1970	39.03-29.76		5.9	284 <sup>[1]</sup>	66 <sup>[1]</sup>	-90 <sup>[1]</sup>	12 <sup>[4]</sup>	9 <sup>[4]</sup>	0.19 <sup>[4]</sup>
19.05.2011	39.15-29.08	5.9		271 <sup>[3]</sup>	51 <sup>[3]</sup>	-100 <sup>[3]</sup>	15 <sup>[3]</sup>	10 <sup>[3]</sup>	Değişken <sup>[3]</sup>

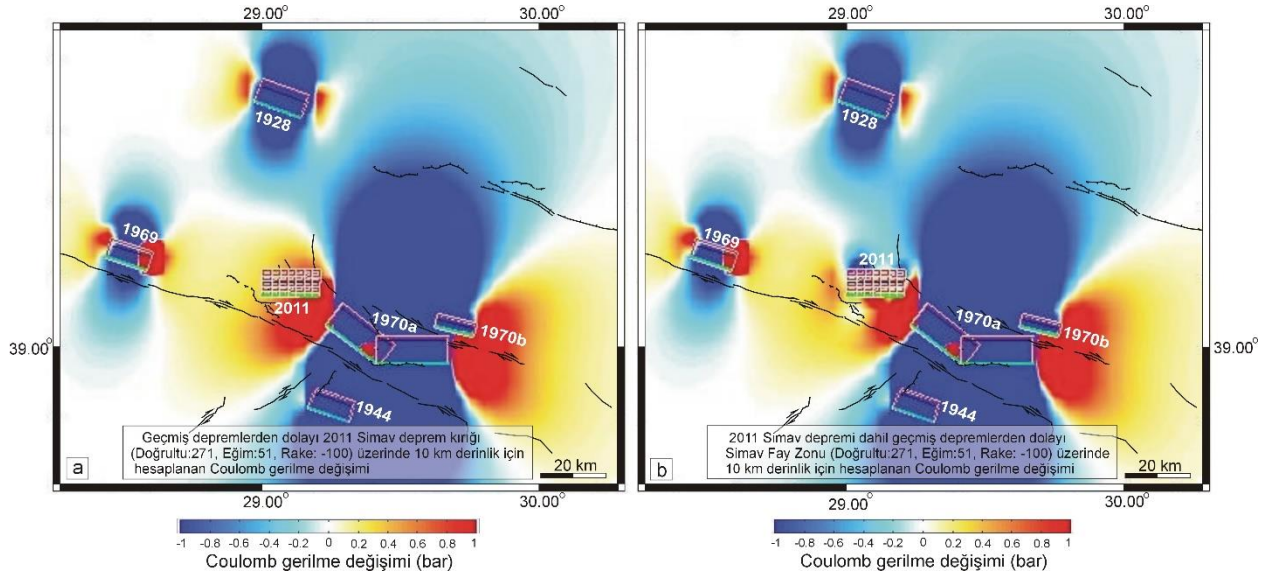
<sup>[1]</sup> Tan vd., (2008), <sup>[2]</sup> Nalbant vd., (1997), <sup>[3]</sup> Karagöz vd., (2012), <sup>[4]</sup> Wells ve Coppersmith, (1994), <sup>[5]</sup> Eyidoğan ve Jackson, (1985)

2011 Simav depremi ana şok öncesi ve sonrası Coulomb gerilme değişimlerinin modellenmesi ve 2011 Simav depremi artçı deprem dış merkez dağılımları ile Coulomb gerilme değişim modeli arasındaki ilişkinin belirlenmesi için hem optimum yönelmiş faylar hem de belirlenmiş faylar üzerinde hesaplamalar yapılmıştır. Optimum yönelmiş faylar üzerinde gerilme değişimi hesaplamaları yapılırken bölgesel gerilme alanının (en büyük asal gerilme eksenini ( $\sigma_1$ ), orta asal gerilme eksenini ( $\sigma_2$ ) ve en küçük asal gerilme eksenini ( $\sigma_3$ )) için azimut ve dalım açıları özellikle tanımlanması gerekmektedir. Buna göre ( $\sigma_1$ ), ( $\sigma_2$ ) ve ( $\sigma_3$ )'e ait azimut ve dalım açıları Görgün (2014) tarafından verildiği gibi sırasıyla (-51, 82), (124, 8) ve (-146, 1) olarak alınmıştır.

## BULGULAR ve TARTIŞMA

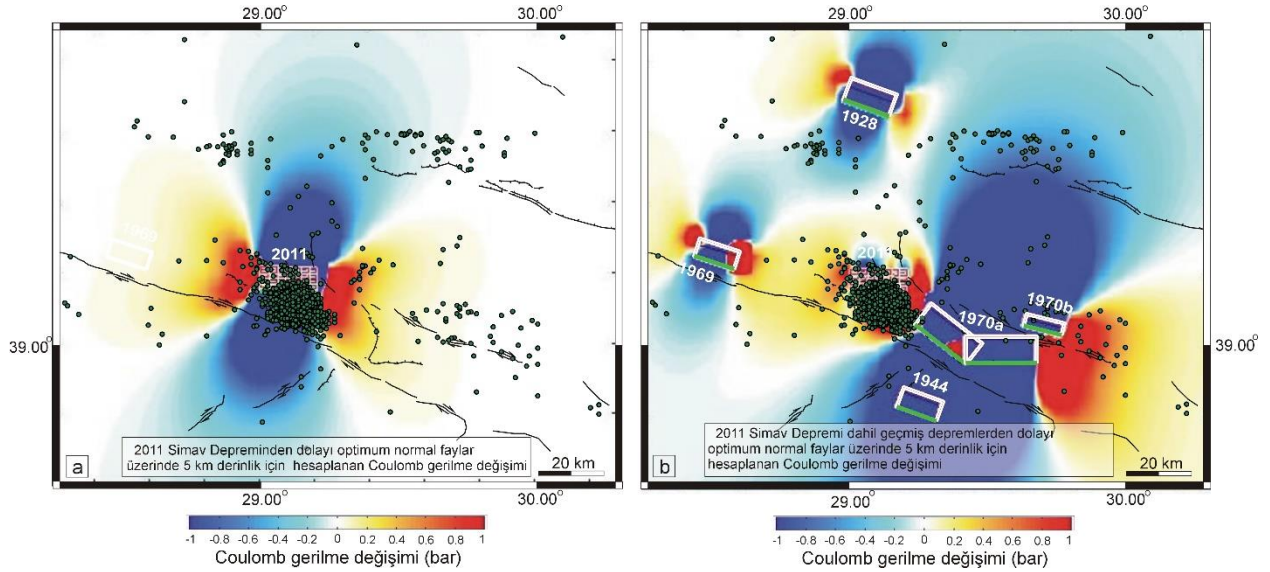
2011 Simav depremi öncesi ve sonrası hesaplanan kosismik Coulomb gerilme değişimi modelleri Şekil 4'de, 2011 Simav depremi sonrasında oluşan artçı deprem aktivitesi ( $M \geq 3.0$ ) dış merkez dağılımı ile Coulomb gerilme değişimi modelleri arasındaki ilişki ise Şekil 5'te verilmiştir. Buna göre Şekil 4a, 2011 Simav depremi öncesi meydana gelen geçmiş depremlerin 2011 Simav deprem kırığı üzerinde oluşturduğu kosismik Coulomb gerilme değişimini göstermektedir. Hesaplama, 2011 Simav deprem kırığı (2011) kosismik Coulomb gerilme değişiminin hesaplanacağı hedef fay olarak, 1928 Emet (1928), 1944 Şaphane (1944), 1969 Demirci (1969), 1970 Gediz (1970a) ve 1970 Çavdarhisar (1970b) deprem kırıkları ise kaynak fay olarak tanımlanmıştır. Kaynak faylar nedeniyle 2011 Simav deprem kırığı (doğrultu 271, eğim 51 ve kayma açısı -100) boyunca kosismik Coulomb gerilme değişimi hesaplandığında 2011 Simav kırığının tamamının ve hemen hemen aynı doğrultuya ve mekanizmaya sahip SFZ'nin geçmiş deprensellikten dolayı 1 barı aşan gerilme yükü altında olduğu dikkati çekmektedir (Şekil 4a).

Şekil 4b, 2011 Simav depreminin meydana gelmesinin ardından geçmiş depremler de dikkate alınarak SFZ üzerinde hesaplanan kosismik Coulomb gerilme değişimini göstermektedir. Hesaplama, 2011 Simav dahil 1928, 1944, 1969, 1970a ve 1970b deprem kırılmaları kaynak fay olarak tanımlanmış ve SFZ hedef fay olarak belirlenmiştir. 2011 Simav depremi, Simav fay zonu ile ilişkilendirildiğinden kosismik Coulomb gerilme değişimi yine 2011 Simav kırığı (doğrultu 271, eğim 51 ve kayma açısı -100) üzerinde hesaplanmıştır. Buna göre bölgede meydana gelen tüm deprem kırılmaları hesaba katılarak SFZ üzerinde kosismik Coulomb gerilme değişimi hesaplandığında, SFZ'nin ŞphnS'nin 1 barı aşan gerilmelere maruz kaldığı dikkati çekmektedir (Şekil 4b). Coulomb gerilme değişimleri, bölgedeki aktif fayların tahmini geometrisine dayanarak 10 km derinlik için hesaplanmıştır.



**Şekil 4 - a)** Geçmiş deprem kırılmaları (1928 Emet (1928), 1944 Şaphane (1944), 1969 Demirci (1969), 1970 Gediz (1970a) ve 1970 Çavdarhisar (1970b)) nedeniyle b) 2011 Simav deprem kırılması dahil geçmiş deprem kırılmaları nedeniyle, 2011 Simav deprem kırığı üzerinde hesaplanan kosismik Coulomb gerilme değişimleri. Yeşil çizgiler depremlere ait fay düzlemlerini temsil etmektedir.

Şekil 5, 2011 Simav depremi ve geçmiş depremlerden kaynaklanan gerilme değişimleri ile 2011 Simav depremi artçı deprem dış merkez dağılımları arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Artçı depremlere ait odak mekanizma çözümleri normal fay mekanizmasına sahip olduğundan (Şekil 3) kosismik Coulomb gerilme değişimleri optimum yönlendirilmiş normal faylar üzerinde, artçı depremlerinin ortalama derinliği olan 5 km derinlik için hesaplanmıştır. 19 Mayıs 2011 Simav depreminden itibaren yaklaşık 1 yıllık zaman dilimi içerisinde meydana gelen, büyüklüğü  $M \geq 3.0$  olan 1630 artçı depreme ait lokasyon bilgileri KRDAE kataloğundan alınmıştır. Kosismik Coulomb gerilme değişim modellemeleri, sadece 2011 Simav depremi kırılmasının kaynak fay olarak tanımlandığı (Şekil 5a) ve 2011 Simav depremi dahil geçmiş deprem kırılmalarının da kaynak fay olarak tanımlandığı (Şekil 5b) iki şekilde hesaplanmıştır. Şekil 5a incelendiğinde kaynak fayın hem doğusunda hem de batısında gerilmenin artış gösterdiği, artçı deprem dış merkezlerinin ise genel olarak depreminin gerilme yüklediği alanlarda değil gerilmenin düşüm gösterdiği alanlarda dağılım gösterdiği dikkati çekmektedir. Bu şekilde sadece 2011 Simav depreminin kaynak teşkil ettiği Coulomb gerilme modeli ile artçı depremlerin neden 2011 Simav ana şokunun güneydoğusunda odaklandığı açıklanamamaktadır. Şekil 5b'de, 2011 Simav depremi dahil geçmiş deprem kırılmalarının kaynak fay olarak tanımlandığı Coulomb gerilme değişimi modeli incelendiğinde ise Şekil 5a'da 2011 Simav depremi kırılmasının doğusunda gözlenen gerilme artışının 1970 Gediz depreminin (1970a) gerilme gölgesi altında kaldığı ve gerilme artış alanınının 1970 Gediz kırığının kuzeybatısına taşındığı dikkati çekmektedir. Bu şekilde artçı depremlerin neden 2011 ana şokunun güneydoğusunda odaklandığı da açıklanabilmektedir. Buna göre 2011 Simav deprem kırılması ile yüklenen doğudaki alan 1970 Gediz depremi kırılması ile gerilme gölgesi altında kalırken gerilme artışı 1970 Gediz kırığının kuzey batısına, 2011 Simav depremi ana şokunun güneydoğusuna, artçı deprem dağılımının odaklandığı kısma taşınmıştır. 2011 Simav depreminden kaynaklanan gerilme gölgesi 1970 Gediz depremi kırılmasından kaynaklanan gerilme artışını aşamamış ve 2011 Simav depremi artçı depremleri 1970 Gediz depreminin gerilme artışına neden olduğu alanda meydana gelmiştir.



**Şekil 5** - a) 2011 Simav depremi kırılması b) 2011 Simav dahil geçmiş deprem kırılmaları dikkate alınarak optimum yönlenmiş normal faylar üzerinde hesaplanan kosismik Coulomb gerilme değişimleri. Yeşil çizgiler ve koyu yeşil daireler sırasıyla depremlere ait fay düzlemleri ile artçı deprem dış merkez dağılımlarını göstermektedir. Wells ve Coppersmith (1994) bağıntısı ile hesaplanan fay/yırtılma alanları beyaz dikdörtgenler ile gösterilmiştir.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Kosismik Coulomb Gerilme değişimi çalışmaları bir bölgede olası deprem tehlikesi ile oluşacak can ve mal kayıplarının azaltılmasında büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, ilk olarak 2011 Simav depremi öncesi geçmiş depremlerden kaynaklanan gerilme değişimi 2011 Simav kırığı üzerinde hesaplanmış ve 2011 Simav kırığının 1 barın üzerinde gerilme artışına maruz kaldığı dikkati çekmiştir. Bu durum, statik gerilme değişimlerinin, komşu faylar boyunca meydana gelecek bir depremi tetikleyebileceği ya da geciktirebileceği göz önüne alındığında 2011 Simav depremi kaynak bölgesi civarında meydana gelen geçmiş depremlerin oluşturduğu kosismik Coulomb gerilme yükü ile 2011 Simav depreminin meydana gelmiş olabileceği düşüncesini desteklemektedir. Geçmiş deprem kırılmalarına 2011 Simav deprem kırılması da dahil edilerek SH'nın kuzeyini sınırlandıran SFZ üzerindeki kosismik Coulomb gerilme değişimi modeli hesaplandığında ise SFZ'nun büyük bir kısmının gerilme yükü altında olduğu özellikle Şaphane Segmenti'nin 1 barın üzerinde gerilme yüklendiği dikkati çekmektedir. Elde edilen her iki gerilme değişimi modeli, bölgede olası hasar yapıcı depremlerin gerilmenin artış gösterdiği bu alanlarda meydana gelebileceği fikrini desteklemek açısından önem taşımaktadır.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise 2011 Simav deprem kırılması ve geçmiş depremlerden kaynaklanan kosismik Coulomb gerilme değişimleri optimum yönlenmiş normal faylar üzerinde hesaplanmıştır. Gerilme modellemeleri, sadece 2011 Simav depremi kırılmasının kaynak fay olarak tanımlandığı ve 2011 Simav depremi dahil geçmiş deprem kırılmalarının da kaynak fay olarak tanımlandığı iki şekilde yapılmıştır. Buna göre artçı deprem dış merkez dağılımlarının neden çoğunlukla ana şokun güneydoğusunda merkezlendiği, sadece 2011 Simav deprem kırılmasının kaynak fay olarak tanımlandığı kosismik Coulomb gerilme değişim modeli ile açıklanamazken, geçmiş deprem kırılmaları da dikkate alınarak hesaplanan Coulomb gerilme değişim modeli ile açıklanabilmiştir (Şekil 5). Buna göre sadece 2011 Simav depremi, ana şok ve çevresinde gerilme düşümüne neden olurken hemen güneydoğusunda meydana gelen 7.2 büyüklüğündeki 1970 Gediz

depremi kırılmasıyla oluşan gerilme artışını sönmüleyememiştir. Buda, 2011 Simav depremi artçı deprem episantr dağılımlarının bu alanda odaklanmasına neden olmuştur.

## KAYNAKÇA

Ambraseys, N., Tchalenko, J.S., (1972, Aralık). Seismotectonic aspect of the Gediz, Turkey, earthquake of March 1972. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, 229–252. doi: 10.1111/j.1365-246X.1972.tb05811.x

Armijo, R., Meyer, B., Hubert, A., Barka, A., (1999, Mart). Westward propagation of the North Anatolian fault into the northern Aegean: Timing and kinematics. *Geology*, 27 (3), 267-270. doi: 10.1130/0091-7613(1999)027<0267:WPOTNA>2.3.CO;2

Bekler, T., Demirci, A., Özden, S., ve Kalafat, D., (2011, Ekim). *Simav ve Emet fay zonlarındaki depremlerin optimum kaynak parametrelerinin analizi*. 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, TDMSK, Ankara.

Bozkurt, E., (2001). Neotectonics of Turkey-a synthesis. *Geodin. Acta* 14, 3-30. doi: 10.1016/S0985-3111(01)01066-X

Budakoğlu, E., ve Utkucu, M., (2013, Eylül). *19 Mayıs 2011 Simav depreminin uzak-alan kayıtlarıyla incelenmesi*. 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, TDMSK, Hatay.

Demirtaş, R., ve Erkmen, C., (2000). *Deprem ve Jeoloji*. Ankara: Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 52.

Emre, Ö., ve Duman, T.Y., (2011, Mayıs). *19 Mayıs 2011 Simav (Kütahya) depremi (Mw=5.8) ön değerlendirmesi*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi Aktif Tektonik Araştırma Birimi.

Emre, Ö., Duman T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., (2013, Ocak). *Active fault map of Turkey with an explanatory text. 1:1,250,000 Scale*. Ankara: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA), ISBN:978-605-5310-56-

Eyidoğan, H., Jackson, J., (1985). A seismological study of normal faulting in Demirci, Alaşehir and Gediz earthquakes of 1969–70 in western Turkey: Implication for the nature and geometry of deformation in the continental crust. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 81, 569–607. doi: 10.1111/j.1365-246X.1985.tb06423.x

Görgün, E., (2014). Source characteristics and Coulomb stress change of the 19 Mayıs 2011 Mw6.0 Simav-Kütahya earthquake, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 87, 79-88. doi: 10.1016/j.jseaes.2014.02.016

Gürboğa, Ş., (2011). *Neo-and seismo-tectonic characteristics of the Yenigediz (Kütahya) area* (Doktora Tezi). ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Harris, R.A., (1998). Introduction to special section: Stress triggers, stress shadows, and implications for seismic hazard. *J. Geophys. Res.*, 103, 347–358. doi: 10.1029/98JB01576

Kaplan, M., (2014). *Neotectonics and seismicity of Earstern Simav Graben, Kütahya-Turkey* (Yüksek Lisans Tezi). ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Karagöz, Ö., Pınar, A., Irmak, S., Özel, O., (2012). 19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav depreminin (Mw=5.8) dalga şekli ters çözüm yöntemiyle incelenmesi. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 25, 1, 25-40.



Kartal, R., ve Kadıroğlu, F.T., (2014). 2011-2012 Simav depremleri (Ml=5.7, Ml=5.0, Ml=5.4) ve bölgenin tektonik yapısı ile ilişkisi, *Yerbilimleri*, 35 (3), 185-198.

King, G.C.P., Stein, R.S., Lin, J., (1994). Static stress changes and the triggering of earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84 (3), 935-953. doi: 10.1785/BSSA0840030935

KOERİ, 2021, (Erişim Tarihi: 15.03.2021), <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/tr/>

Lin, J., Stein, R.S., (2004). Stress triggering in thrust and subduction earthquakes, and stress interaction between the southern San Andreas and nearby thrust and strike-slip faults. *J. Geophys. Res.* 109, B02303. doi: 10.1029/2003JB002607

McClusky, S., vd., (2000, Mart). Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *J. Geophys. Res.*, 105, 5695 – 5719. doi:10.1029/1999JB900351

McCloskey, J., Nalbant, S.S., (2009, Mart). Near-real-time aftershock hazard maps. *Nature Geoscience*, Vol. 2, 154–155

Nalbant, S.S., Hubert, A., King, G.C.P., (1997). Stress coupling between earthquakes in Northwest Turkey and the North Aegean Sea. *J. Geophys. Res.*, 103, 24469-24486. doi: 10.1029/98JB01491

Okada, Y., (1992). Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 82 (2), 1018–1040. doi: 10.1785/BSSA0820021018

Özden, S. vd., (2015). *Simav Fayı, Emet Zonu ve Kütahya fayıyla sınırlandırılan bölgenin Geç Senozoyik Yaşlı gerilme durumları, Orta-Batı Anadolu*. Adana: Aktif Tektonik Araştırma Grubu ATAG 15 Çalıştay

Reilinger, R., vd., (2006, Mayıs). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, *J. Geophys. Res.*, Vol. 111, B05411. doi: 10.1029/2005JB004051

Reilinger, R., McClusky, S., Paradissis, D., Ergintav, S., Vernant, P., (2010, Haziran). Geodetic constraints on the tectonic evolution of the Aegean region and strain accumulation along the Hellenic subduction zone. *Tectonophysics*, 488, 22-30. doi: 10.1016/j.tecto.2009.05.027

Seyitoğlu, G., (1997). The Simav Graben: An example of young E-W trending structures in the Late Cenozoic Extensional System of Western Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 6, 135-141.

Stacy, S., Marsan, D., Nalbant, S.S., McCloskey, J., (2004). Sensitivity of static stress calculations to the earthquake slip distribution. *J. Geophys. Res.*, Vol. 109, B04303. doi: 10.1029/2002JB002365

Stein, R.S., Barka A.A., Dieterich J.H., (1997). Progressive failure of North Anatolian Fault since 1939 by earthquake stress triggering. *Geophys. J. Int.*, 128, 594-604. doi: 10.1111/j.1365-246X.1997.tb05321.x

Tan, O., Tapırdamaz, C., Yörük, A., (2008). The earthquake catalogues for Turkey. *Turkish J. Earth Sci.*, (17), pp. 405-418.

Taymaz, T., Jackson, J.A., McKenzie, D., (1991, Ağustos). Active tectonics of the North and Central Aegean Sea. *Geophys. J. Int.*, 106, 433–490. doi: 10.1111/j.1365-246X.1991.tb03906.x

Toda, S., Stein, R.S., Richards-Dinger, K., Bozkurt, S., (2005). Forecasting the evolution of seismicity in southern California: animations built on earthquake stress transfer. *J. Geophys. Res.* 110, B05S16. doi: 10.1029/2004JB003415

Wells, D.L., Coppersmith, K.J., (1994, Ağustos). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of Seismological Society of America*, 4 (84), 975– 1002. Doi: 10.1785/BSSA0840040974

## Examining the Factors Affecting Travel Behaviour: Literature Review

Zeliha YAPICI<sup>1</sup>  
İrem AYHAN SELÇUK<sup>2</sup>

### Giriş

Ulaşım planlaması, ulaşım arzı ile talebi arasındaki dengeyi sağlamaya çalışan bir disiplindir. Klasik ulaşım planlama çalışmalarında, mevcut ulaşım talebini karşılamak üzere altyapıda gerekli değişiklikler ortaya konulmaktadır. Talep, arzı belirlemekte, zaman içerisinde oluşan yeni yapıyla birlikte süreç içerisinde talepler karşılanmaya çalışılmaktadır.

İş, alışveriş, eğitim, boş zaman vb. için etkinlik yerlerinin dağılımı mekansal dağılımı bireylerin günlük ihtiyaçlarını karşılamaları için gerekli ulaşım türünü ve miktarını etkilediği bilinmektedir. Bu doğrultuda arazi kullanım kararlarıyla oluşan yapıyı çevre özelliklerindeki değişiklikler bireyin seyahat davranışını değiştirmektedir. Bu sebeple ulaşım sistemleri ve kentsel planlama çalışmaları arasındaki eş güdüm ve arazi kullanım politikaları önemli hale gelmektedir. Günümüzde kentlerde arazi kullanım kararları ile ulaşım planlama uygulamaları arasında çoğu kez sağlıklı bir uyumlandırma olmadığından, hem ulaşım sistemleri etkin olmamakta ve maliyetler artmakta (maliyetler yerel yönetimlere yansıdığı kadar kentli kullanıcılara da yansımakta) hem de arazi kullanımları sağlıklı bir şekilde ve doğru zamanda gerçekleşmemektedir.

Bu doğrultuda bu konuya dair literatür taraması yapıldığında çok farklı çalışmalar olmakla birlikte yerel yazında çok fazla çalışmanın yer almadığı görülmektedir. Literatür taramalarına ilişkin ulaşım planlama ve arazi kullanım durumunun birlikte ele alınması gerektiğini savunan birçok araştırma ve inceleme yapıldığı görülmektedir. Ancak pratik açısından bakıldığında eksikliklerin olduğu söylenebilir. Literatür taramaları esnasında arazi kullanım özelliklerinin seyahat davranışı ile ilişkili olduğunu vurgulayan çalışmalar gözlemlenmiştir. Örneğin incelenen çalışmalar doğrultusunda yürüyüş ve bisiklet kullanımına uygun karma kullanımlı alanlar inşa etmek, yolculuk mesafelerini azaltmak, yürüme, bisiklet kullanımı ve toplu taşıma yolculuklarının payını artırmak ortaya konulan önemli hedeflerdendir. İncelenen literatür çalışmalarından da görüldüğü üzere arazi kullanım kararlarının seyahat davranışı üzerinde etkilerinin olduğu söylenebilir ve her kentin veya herhangi bir bölgenin kendine has özellikleri, bölgede yaşayan topluma ait farklılıklar bireyin seyahat davranışı üzerinde değişiklikler meydana getirmektedir.

Bu çalışma ulaşım altyapısının yolculuk davranışı üzerindeki etkilerinin araştırılarak bu konuda yapılan çalışmaları farklı yönlerden değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Öncelikle çalışmanın temelini oluşturan davranış, seyahat davranışı, ulaşım gibi terimler kavramsal olarak ele alınmıştır. Bu bağlamda yolculuk davranışını etkileyen sosyal, ekonomik, demografik, kültürel mekansal vb. ulaşım davranışlarının etkileyen faktörlerin tespit edilmesi bu iki olgu arasındaki ilişkinin tespitine yönelik yapılan çalışmaları incelenmiştir. Bu doğrultuda çalışma ulaşım altyapısı ve seyahat davranışının birlikte ele alınmasının gerekliliğine ilişkin incelenen bu çalışmaların

---

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı, Orcid: [0000-0002-6979-1870](https://orcid.org/0000-0002-6979-1870)

<sup>2</sup>Doç. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Orcid: [0000-0002-9797-800X](https://orcid.org/0000-0002-9797-800X)

değerlendirilmesiyle arazi kullanım ve yolculuk davranışın ilişkisine dair yerli yazında yapılmış az sayıda olan araştırmalara çalışmanın bu alanda yapılacak diğer çalışmalar için katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Şehir ve Bölge Planlama bölümünde yüksek lisans tez çalışması olarak hazırlanmaktadır.

## YÖNTEM

Ulusal ve uluslararası çalışmalar incelenerek seyahat davranışı ve ulaşım altyapısına ilişkin çalışmalar araştırılmıştır. Bu doğrultuda literatür araştırmaları google scholar, YÖK tez arşivi, FBE tez arşivi, ScienceDirect vb. kaynaklardan yararlanılmıştır. Çalışmanın ilerleyen aşamalarından bazı istatistiksel yöntemler, arazi ve anket çalışmalarının kullanılması planlanmaktadır.

## Kavramsal Çerçeve

Çalışmanın temelini oluşturan ulaşım, seyahat, davranış, seyahat davranışı, seçim yapmak gibi terimler kavramsal boyutta ele alınmıştır. Bu kavramlara ilişkin tanımlar araştırılmıştır.

## Ulaşım

Ulaşım ve ulaştırma tanımlarıyla ilgili literatürde çeşitli tanımlar mevcuttur. Bunlardan bazıları şunlardır: Ulaştırma kavramı sistem olarak ele alındığında; "İnsan, mal ve hizmetin bir mekândan başka bir mekâna ulaştırılmasının, arzu edilen şartlara göre ayarlanarak, iyi ifade edilmiş olarak yerine getirilmesi gayesiyle bir araya getirilerek, fonksiyonları ve etkileşimleri organize edilen ilgili tüm iktisadi, sosyal, fiziksel ve kurumsal bileşenler kümesi" olarak tanımlanmaktadır (Telli, 2020).

Bireyler yapıları fiziksel çevre içinde kendi seçim kriterlerine en uygun olan ulaşım türünü seçme eğilimindedirler. Hız artırıcı altgeçitler, araç kapasitesi yükseltilmiş yollar, yolcuların kullanım mekânlarında otopark kullanımını için ayrılmış alanlar özel araç kullanımını desteklemektedir. Toplu taşıma sistemleri ve özel araçların aynı platformu birlikte kullanıyor olması, her iki sistemi de olumsuz etkilemektedir. Oysa mevcut altyapının belirli bölümünün toplu taşıma için ayrılması performansı arttıracak gibi, özel araç yolcularının kullanım alanını azaltacak bu durum özel araç kullanıcılarını aynı güzergah üzerinde kendileri için en verimli olanı tercih etmeye yönlendirecektir (Büyüknalbant, 2010:16-17).

Ulaşım altyapısına ait etkin karakteristikleri ise nicel ve nitel karakteristikler olarak iki kısımda değerlendirmek mümkündür. Nicel karakteristiklerin başlıcaları, modlar arası göreceli yolculuk süreleri, maliyetler ve fiziksel ulaşılabilirlik iken, nitel karakteristikler arasında konfor, güvenilirlik, düzenlilik ve güvenlik öne çıkmaktadır (Özuysal ve Tanyel, 2007).

## Seyahat Kavramı

Neden seyahat ettiğimize dair kentsel ulaşım literatürü, seyahatin türetilmiş bir talep olduğu ve genellikle mekânsal olarak birbirinden ayrılmış çeşitli faaliyetlerde bulunma ihtiyacından kaynaklandığı ifade edilmektedir. Farklı bir ifadeyle, seyahat tamamen başka amaçlara ulaşmak için bir araçtır (Monkhtarian and Singer, 2015:1).

## Davranış

Tüketicileri seçim yapmaya neyin teşvik ettiğini, bunların nasıl yapıldığını ve değişikliklerin ne zaman meydana geldiğini açıklamaya yönelik girişimlerde çeşitli davranış teorileri geliştirilmiştir. Bu teorilerden bazıları davranışı, değerler, tutumlar, kişisel normlar vb. gibi bireyde yaygın olan içsel faktörlerin bir işlevi olarak ele alır. Diğerleri, davranışı teşvikler, toplumsal normlar, kurumsal kısıtlamalar vb. gibi dış faktörlerin bir ürünü olarak ele alır (Adjei and Behrens, 2012).

Stern tarafından geliştirilen ileri bir teorik perspektif, davranışın hem iç hem de dış faktörlerin işlevi olduğunu ve bu nedenle insan davranışının karmaşıklığının anlaşılması açısından hem bireyin hem çevresinin etkisinin bulunduğunun kabul edilmesini gerektirir (Adjei and Behrens, 2012).

Karar verici bir dizi davranışsal alternatifle karşı karşıya kaldığında; Seçimler nasıl yapılır? , seçim yapmayı etkileyen faktörler nelerdir?, davranış değişikliği ne zaman gerçekleşir? Karar vericiler davranış değişikliği müdahalelerine nasıl tepki veriyor? şeklinde ilk iki soru daha genel olarak davranışı ve seçim yapmayı açıklamakla, son ikisi ise daha spesifik olarak davranıştaki değişikliği açıklamakla ilgilidir(Adjei and Behrens, 2012).

Tablo 1– Davranış kategorisi ve davranış değişikliği teorileri (Adjei and Behrens, 2012:2).

	Davranışsal seçimler nasıl yapılır?	Seçim yapmayı hangi faktörler etkiler?	Davranış değişikliği ne zaman gerçekleşir?	Karar vericiler davranış değişikliği müdahalelerine nasıl tepki veriyor?
Rasyonel seçim teorisi (sınırlı rasyonellik ve açık modeli dahil)	+			
Beklenti teorisi	+			
Alışkanlık oluşumu teorisi	+		+	
planlı davranış teorisi (akıllı eylem teorisi dahil)		+		
Kişilerarası davranış teorisi	+	+		
Norm aktivasyon teorisi		+		
Bilişsel uyumsuzluk teorisi			+	
Değişim modelinin aşamaları			+	
Kendini algılama teorisi				+
Hedef belirleme teorisi				+

Davranış ve davranış değişimine dair Tablo 1 de görüldüğü üzere farklı teoriler mevcuttur. Davranışsal seçimlerin nasıl yapıldığına ilişkin teorilerden bazıları rasyonel seçim teorisi, beklenti teorisi, alışkanlık oluşumu teorisi ve kişiler arası davranış teorisidir. Bunlardan rasyonel seçim teorisi

bireylere sunulan maliyet ve faydalarını hesaplayarak faydalarını maksimize etmeye çalıştıklarını öne sürer ve fayda maksimizasyonu teorisi olarak da adlandırılır, Beklenti teorisi ise insanların karar verirken emin olmadıkları sonuçlardan kaçınmaya çalışmasını önerirken, diğerlerinden daha kesin sonuç veren alternatiflere daha fazla ağırlık vererek seçim yaptıklarını ileri sürerler (Adjei and Behrens, 2012).

Seçim yapmayı hangi faktörler etkiler?, davranış değişikliği ne zaman gerçekleşir?, Karar vericiler davranış değişikliği müdahalelerine nasıl tepki veriyor? gibi alt başlıklarının içerisinde davranışı ve davranış değişikliğini açıklamayı hedefleyen bazı ortak yönler sahip olsa da oldukça farklı teorilerin olduğu görülmektedir.

İnsanın çevresi ile etkileşiminde ihtiyaçlar temel olsa da, insan sosyal bir varlık olduğu için ihtiyaçlarını karşılama biçimlerinde kentnin sosyal yapısı (demografik yapı, diğer insanlarla ilişkiler, sosyal baskılar, fırsatlar, sahip olunan yetenekler vb.) en belirleyici etkeni oluşturmaktadır. Davranış, insan hayatındaki gözlenebilen kaydedilebilen ve ölçülebilen bütün etkinlikler olarak tanımlanabilir (Sağlam, 2001).

## Seçim Yapmak

Seçmek benzerler arasında hoşça gidene almak veya yararlanmak için ayırmaktır. Seçim yapmak ise eylem olarak gerçekleştirmiş olmak demektir. Klasik ekonomi teorisi bireylerin akılcı ilkeler temelinde karar aldıklarını ve sunulan seçenekleri de bu ilkeler doğrultusunda değerlendirildiğini kabul eder. Yolcu da kendisine sunulan seçenekler arasından seçim yapmak zorunda kalmaktadır. Yolcu seçimi yaparken her zaman kendi yararını ön planda bulundurarak seçimini gerçekleştirir (Demir, 2006).

## Seyahat Davranışı ve Etki Eden Faktörler

Bireylerin ulaşım davranışları, ulaşım türü seçimi hususunda verilen kararlar sonucu ortaya çıkmakta ve yolcuların davranışları değiştirilebilmektedir. Yolculuk davranışı, bireylerin mekân üzerinde yaptıklarının ve ulaşımı ne şekilde kullandığına yönelik yapılan araştırmalardır. Yolculuk davranışı kavramı 1990 tarihli “Ulusal Kişisel Ulaşım Araştırması” (NPTS) ve Federal Kentsel Toplu Taşıma İdaresinin 1990 yılındaki 15. Raporundan gelmektedir (Büyükbalant, S. ,2010).

Ulaşım coğrafyasında, günlük seyahat davranışı karar hiyerarşisinin bir parçası olarak kabul edilir. Bu hiyerarşi, günlük faaliyetlere ilişkin kısa vadeli kararlar, konut ve işyeri konumlarına ilişkin orta vadeli kararlar ve yaşam tarzına ilişkin uzun vadeli kararlardan oluşur. Bizim Günlük seyahat davranışının kapsamlı kavramsal modeli de bu kavramdan ayrılır ve bu nedenle, karar hiyerarşisi merkezindedir (Van Acker and Witlox, 2009).

Mevcut literatürde, üç değişken kategorisinin mod seçimini etkilediği öne sürülmektedir: gezginlerin sosyoekonomik özellikleri, yolculuğun özellikleri ve ulaşım tesisinin özellikleri bu değişkenlerdir (Ortuzar ve Willumsen 2006). Tablo 2 de görüldüğü üzere ulaşım mod seçimini etkileyen farklı değişkenlerde mevcuttur.

Tablo 2– Ulaşım tür seçimine etki eden faktörlerin sınıflandırılması (Tye and Sherman, 1982'den Özuysal, 2007)

Etki Şiddeti	DEĞİŞKEN
Çok Yüksek	Yolculuk Maliyeti
	Araç İçinde Geçen Süre
	Yürüyüş Süresi
	Aktarma İçin Bekleme Süresi
	Toplu Taşıma Süresi
	Hane Halkının Araç Sayısı
	Öne Çıkan Bireysel Koşullar
	Bireyin Geliri
Yüksek	Aktarma Sayısı
	Kullanıcının Ailedeki Yeri
	İşyeri Bölgesindeki İş Yoğunluğu
	Konutun Şehir Dışında ya da Şehirde Bulunması
	Aile Yapısı
Belirsiz	Ailenin Toplam Geliri
	Kullanıcının Yaşadığı Konut Bölgesinin Nüfusu
	Yaşanan Bölgeye Ait Merkezin Konumu
	Evdeki Çalışan Sayısı
	Aile Reisinin Yaşı
	Ulaştırma Türünün Sağlanabilirliği Konforun,
	Güvenirliliğin ve Elverişliliğin Algılanması Merkezi
Düşük	Merkezi İşyerinin Konumu
	Kullanıcının Cinsiyeti
	Kullanıcının Yaşı
	Güvenirlilik, Gecikme ve Özel Yaşamla İlgili Genel Özellikler
	Aile Reisinin Kariyeri

Tablo 2 de görüldüğü üzere ulaşım tür seçimine etki eden faktörler etki şiddetine göre çok yüksek, yüksek, belirsiz ve düşük olmak üzere dört farklı kategoride sınıflandırılmıştır. Yolculuk maliyeti, araç içinde geçen süre, yürüyüş süresi, aktarma için bekleme süresi, toplu taşıma vb değişkenlerin çok yüksek etki derecesine sahip olduğu gösterilirken, merkezi iş yerinin konumu, kullanıcının cinsiyeti, kullanıcının yaşı, güvenirlilik, gecikme ve özel yaşamla ilgili genel özellikler vb. değişkenler düşük sınıflandırma kategorisinde yer almaktadır.

Ulaşım/Yolculuk davranışını etkileyen faktörleri yolculuğu gerçekleştiren bireyin özellikleri, yolculuğu gerçekleştirenin özellikleri şeklinde iki ana bileşen altında ele almak mümkündür (Karacasu, 1996).

Gelir durumu, yaşanan yerin konut yoğunluğu, otomobil sahipliği, ulaşım açısından bireysel kısıtlamalar şeklinde yolculuğu gerçekleştiren bireyin özellikleri kategorisinin alt başlığı olarak ele alınırken, yolculuk uzunluğu yolculuk amacı, yolculuk süresi, yolculuk gerçekleştiği saat, yolculuk maliyeti, konfor durumu ise yolculuğun özelliklerinin içerisinde yer almaktadır.

## Arazi Kullanım ve Seyahat Davranışı

Faaliyetler arazi kullanım modeline göre yayıldıkça, insanlar bu faaliyetlere erişmek için seyahat etmektedir. İnsanların nerede yaşayacaklarına, şirketlerin ekonomik faaliyetlerini nerede gerçekleştireceklerine ne şekilde karar verdikleri önemli sorulardır (Alaylı, 2006).

Arazi kullanım ve ulaşım etkileşimi insan davranışının bir sonucudur. Değişen arazi kararları kentte yeni fırsat alanları oluşturmaktadır. Arazi kullanımı ise bu fırsatlara erişim ihtiyacı ile fırsatların ve ulaşım ihtiyaçlarının mekândaki varlığını belirlemektedir (Küçük yıldız, 2020).

Arazi kullanımı; kentsel hareket ve faaliyet için temel belirleyici bir faktördür. Alanın erişilebilirliğindeki artış arazi değerini etkilemektedir. Alaylı (2006)'nın oluşturduğu döngü şemasında net bir başlangıç ya da bitiş noktası bulunmamaktadır. Her aşama bir öncesi için sonuç sonrası için başlangıçtır. Yenilenen arazi kullanım kararları yeni yolculuklar üretmekte bu yolculuklar ulaşımdaki talebi etkilemektedir (Küçük yıldız, 2020).

LUTI modeli (arazi kullanımı/ulaşım etkileşim modeli) Lowry'nin (1964) çalışmasından kaynaklanır ve esas olarak insanların yaşadığı ve çalıştığı alanı kullanan faaliyetlere atıfta bulunur.

Entegre model, hanelerin ve işletmelerin yer seçimlerini ve dolayısıyla seyahatlerin sayısını, varış yerlerini ve seyahat şekillerini etkileyen, arazi kullanımının ulaşım sisteminin geliştirilmesinden türetilen büyük değişikliklerin etkilerini yakalamak için inşa edilmiştir (Wegener, 2004).

Artan hareketlilik ile yeni bir güzergâh oluşturulduğunda bu güzergâhtaki erişilebilirlik artacak bunun sonucunda da güzergâh üzerindeki arazi değeri ve buna bağlı olarak arazi kullanımı değişime uğrayacaktır. Oluşan değişimle o alanda üretilen trafikte artışa ve buna bağlı olarak da trafik sıkışıklığına sebep olarak güzergâhtaki hizmet düzeyinin düşmesine neden olacaktır (Mutlu, 2017).

Şehirsiz arazi kullanım altyapısı ile ulaşım altyapısı arasındaki güçlü ilişkiyi başka hiçbir sistemde görmek mümkün değildir (Berke, et al. 2006'dan Mutlu, 2017). Arazi kullanım ve ulaşım sistemlerinin birisi üzerinde yapılan değişiklikler diğeri üzerinde kaçınılmaz olarak değişime neden olmaktadır.

### **Von Thünen (İzole Şehir) Modeli**

Von Thünen modelinin noktasal bir şehir merkezinin (pazar alanı) çevresinde kârı maksimize etmek için nasıl bir tarımsal arazi kullanımı örgütlenmesinin ortaya çıktığına dair bilgiler sunmaktadır. Bu model aynı zamanda ürün maliyeti, ürün fiyatı ve ulaşım maliyetinin birbiriyle olan ilişkisini açıklamaktadır. Von Thünen tasarladığı modele ulaşım olanaklarını kolaylaştıran bir akarsu ekleyerek izole şehir merkezi ve çevresindeki tarımsal arazi kullanımında köklü değişikliklerin yaşanacağını ileri sürmüştü ve günümüzde de şehir planlamada ulaşım ile arazi kullanımının birbiriyle olan güçlü ilişkisini göstermiştir (Mutlu, 2017).

### **Alonso ve Wingo Modeli**

Alonso çalışmasında, ulaşımda yaşanan gelişmelerin ulaşımı kolaylaştırdığını ucuz ulaşım olanaklarını ortaya çıkaracağını iddia ederek bu iki etkinin konut alanları fiyat eğrisinin eğimini de azaltacağını ortaya koymuştur. Ulaşımı kolaylaştırmak mesafenin marjinal zararını düşürürken ulaşım maliyetlerini düşürmek fiyat/mesafe değerini azaltarak düşük eğimli bir fiyat eğrisi oluşmasına sebep olmaktadır. Wingo ise çalışmasında arazi iktisatçıların teorileri ile trafik akımına dair analizleri konut- arazi piyasasına ilişkin açık bir matematiksel model ile birleştirmiştir. Kira giderleri ile ulaşım maliyetleri birbirini tamamlayıcı olarak görülmektedir. Bunların toplamı sabit



kabul edilerek bir bölgeye ulaşım maliyeti ile o bölgedeki kira gideri toplamının merkeze yakın başka bir bölge ile o bölgeye ulaşım maliyetinin toplamına eşit olduğu varsayılmaktadır( Mutlu,2017).

### **Christaller ve Lösch (Merkezi Yerler) Modeli**

Christaller ve Lösch tek merkezli yerleşmelerin ekonomik hinterlandının arazi üzerinde nasıl bir dağılım sergileyeceğine ilişkin varsayımlarda bulunarak merkezi yerler kuramı üzerinde durmaktadır. Merkezi yer teorisinin uygulaması için bölgenin yüzeyinin düz olacağı, fiziki engeller bulunmayacağı varsayılmıştır. Toprak aynı yapıda olacak, verimlilik bakımından değişkenlik olmayacağı ifade edilmiştir. Düzenli bir nüfus dağılışı ve eşit bir satın alma gücü olacak, her bir yerleşmeden diğerine doğrudan erişime izin verecek tekdüze bir ulaşım sistemi bulunacaktır. Christaller yerleşmede üretilen bir ürünün satışıyla ilgili sabit bir maksimum mesafenin yerleşmeden her yöne doğru aynı olacağı varsayımını kullanıyordu( Mutlu,2017).

### **Ulusal-Uluslararası Çalışmalar**

Arazi kullanımı ve mod seçimi arasındaki ilişkiye dair birçok farklı çalışma gerçekleştirilmiştir. Gelişmiş ülkeler için seyahat davranışı ve bunun arazi kullanımıyla ilişkisi kentsel ulaşım sorunlarının tartışma konusu olmuştur. Kompakt geliştirme, karma arazi kullanımı gibi bazı arazi kullanım politikaları, yüksek düzeyde özel araç kullanımına dayalı sorunlara çözüm oluşturacağı düşünülmüştür. Ancak, arazi kullanım özelliklerinin gelişmekte olan ülkeler için seyahat davranışını nasıl etkilediği hakkında öğrenilecek çok şey bulunmaktadır. Arazi kullanımı ve ulaşım arasındaki eş güdüm eksikliği, gelişmekte olan ülkelerde trafik sıkışıklığı ve trafik kazaları gibi ciddi ulaşım sorunlarına neden olmaktadır(Yankaya, 2010).

Seyahat olgusu farklı dışsalıklar ile ilişkilidir. Politika yapıcılar, trafik sıkışıklığı ve kirlilik nedeniyle, seyahat modellerini kontrol etmeye ve yönetmeye çalışırlar. Kent planlaması yoluyla araba kullanımını ve seyahat mesafelerini azaltmayı amaçlayan Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Yeni Şehircilik hareketi ve Avrupa'daki Kompakt Şehir Politikası buna örnek olarak verilebilir. Temel fikir, yüksek yoğunluklu ve karma kullanımlı mahallelerin daha kısa yolculuklarla ve daha çok motorsuz yolculuklarla ilişkili olduğuna inanılan; dolayısıyla, arazi kullanımı ve seyahat davranışı arasında açık bir mevcut ilişkiyi gösterir. Bu ilişkinin gücünü ölçmeye ve açıklamaya çalışan çok sayıda çalışma olmasına rağmen bu çalışmaların sonuçlarında çok az fikir birliği vardır. Bazı araştırmalar çeşitli arazi kullanım özelliklerinin seyahat davranışı ile bağlantılı olduğunu belirtirken, diğerleri bunun tersini belirtmektedir(Van Acker & Witlox, 2009).

Hanson(1982), yapılı çevrenin seyahat seçimleri üzerindeki etkisini anlama umuduyla ayrıştırılmış bir yaklaşım kullanan belki de ilk araştırmacıydı. Uppsala, İsveç'teki her bir çalışma evinden dışarı doğru hareket eden birer kilometrelik artışlarla mağazaların sayısını ve arazi kullanımlarının çeşitliliğini ölçtü. Sosyo-demografik faktörlerin kentsel biçim özelliklerinden daha önemli olduğunu kanıtlaya da, daha yüksek yoğunlukların daha yüksek seyahat sıklıklarına yol açtığını ve civarda çok sayıda alışveriş imkanı olan sakinlerin seyahatlerinin daha kısa olduğunu buldu (Reilly ve Landis, 2002).

Arazi kullanım planlayıcıları ve kentsel tasarımcılar, özellikle mahalle düzeyinde, uzun süredir heterojen arazi kullanımları lehinde tartışıyorlar. Arazi kullanımı karışımı ne kadar çeşitli olursa, düşünce yapısı o kadar çeşitlilik gösterdiği ve dolayısıyla bu formun otomatik olmayan yolculuklara daha elverişli olduğuna yönelik fikirler ileri sürmüşlerdir (Reilly and Landis , 2002).

İncelenen literatür çalışmalarında arazi kullanımı ve mod seçimi arasındaki ilişkiye dair yapılan çalışmalar San Francisco Körfezi, Boston, Hong Kong, Los Angeles, Chennai, Şili, Avrupa, Kanada ve ABD'deki büyük şehirler vb. dünyanın birçok farklı bölgesinde yapılmış çalışmaların olduğu gözlemlenmiştir.

Arazi kullanımı ve mod seçimi arasındaki ilişkinin araştırılmasına dair genellikle veri türü olarak Ayrık Veriler, OD tabanlı, OD tabanlı olmayan, Toplu Veriler vb. şekillerde veri türlerinin tercih edildiği bulunmuştur.

Çalışmalarda mod seçimi ve arazi kullanıma yönelik ilişkinin ölçülmesi için farklı yöntemler kullanılmıştır. Bunlardan bazıları şu şekildedir: çoklu doğrusal regresyon, ikili logit model, iki değişkenli sıralı prohibit model, işe gidip gelme modu seçimi için MNL modeli, tanımlayıcı analiz, ANOVA, hiyerarşik modelleme, yapısal denklem modelleme ve ortak esnek ekonomik modeldir.

Arazi kullanım ve seyahat davranışına dair yapılan çalışmalarda test edilen değişkenler nüfus yoğunluğu, istihdam yoğunluğu, iş yerine erişilebilirlik, arazi kullanım dengesi, konut yoğunluğu, ticari kullanım oranı, mahalle tipi (kentsel, kırsal, banliyö zengini vb.), tren istasyonunun mevcudiyeti, perakende ticaret alanı taban alanı vb. şekilde değişkenlerin oldukça farklılaştığı görülmektedir.

Daha yüksek yoğunlukların daha fazla yürüme, bisiklete binme, taksi kullanma veya belirli toplu taşıma türlerini kullanma eğilimi ile ilişkili olmasını beklenildiği ve yüksek yoğunluklu mahallelerin, genellikle birbirinden kolay yürüme mesafesinde daha fazla çeşitli arazi kullanımları ve faaliyetleri içermesi muhtemeldir. Yerel pazar alanları ek perakendecileri barındırabildiğinden, daha yüksek konut yoğunlukları tipik olarak perakende ve hizmet çeşitliliğindeki artışlarla ilişkilidir. Bu da tamamlayıcı mağazalar ve restoranlar arasında daha kısa, yürünebilir mesafeler anlamına gelmektedir. Yaya mahallelerini daha ilgi çekici hale getiren, kolay erişilebilirlik ve artan çeşitliliğin bu birleşimidir. Sürüş ve özellikle park etme, yüksek yoğunluklu mahallelerde daha zor ve zaman alıcı olabilir, bu da yürümenin ve/veya belirli toplu taşıma türlerinin göreceli çekiciliğini artırır (Reilly and Landis , 2002).

İncelenen çalışmalardan elde edilen bazı çalışmalarının çıktıları şu şekildedir; yapılı ortam özellikleri iş amaçlı yolculuklara ilişkin türel seçim davranışını önemli ölçüde etkileyebilir, karma kullanım ve yaya dostu dikkate alınarak yapılan tasarımlar motorsuz seyahati teşvik eder, karma kullanım planlaması, yürüme davranışını teşvik eder, geleneksel mahalle sokak tasarımı yürüme modunu teşvik eder, istihdama ve hizmetlere erişilebilirlikteki farklılıkların seyahat davranışı üzerinde güçlü bir etkisi vardır, merkezi yerleşim yerlerinde yaşayanların çevre yerleşim alanlarında yaşayanlara kıyasla yürüyüş ve bisiklet vb. modları kullanma olasılıkları daha yüksektir, ikamet yerinde toplu taşıma bulunması, toplu taşıma eğilimini artırma yönündedir şeklinde birçok farklı noktaya değinen çalışma çıktıları olmakla birlikte çalışma çıktıları genellikle arazi kullanım ve seyahat davranışının kordinasyonlu bir şekilde olmasını vurgulayan önemli çıktılara sahip olduğu görülmektedir.

## **Sonuç ve Değerlendirme**

Seyahat davranışına etki eden faktörlere ilişkin seyahat davranışı ve arazi kullanım arasındaki ilişkinin incelenmesine dair yapılan literatür araştırmalarında seyahat davranışına birçok farklı değişkenin etki etme ihtimali mevcut olmakla birlikte ne boyutta etki edeceği birçok farklı niteliğe göre değiştiği görülmektedir. Arazi kullanım ve seyahat davranışının ilişkisine yönelik incelenen çalışmalar doğrultusunda oldukça farklı çalışmaların olduğu gözlemlenirken yerli yazında oldukça sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Arazi kullanımı ve mod seçimi arasındaki ilişkiye ilişkin bulgular

farklılık göstermekte ve bu konuda araştırmacılar arasında genel bir fikir birliği bulunmamakla birlikte arazi kullanımının mod seçimi üzerinde çok etkisi olmadığını düşünöen araştırmacılar da bulunmaktadır. Bazı çalışmalar arazi kullanımı ile mod seçimi arasında ilişki bulsa da, bu ilişkinin gücüne ve yönüne yönelik sorular halen devam etmektedir. Diğer önemli bir konu hangi arazi kullanım özelliklerinin seyahat davranışın etkilediğinin yeterince açıklanamamasıdır. Mevcut belirsizliklere rağmen seyahat davranışı ve ulaşım altyapısının birlikte ele alınması birçok açıdan ulaşım planlama çalışmaları için önem teşkil ettiği ifade edilmekte, bu iki sistemin birbiriyle entegre olmasının gerekliliği vurgulanmaktadır. Çalışmalarda karma arazi kullanım türünün öneminden de açık bir şekilde bahsedildiği görölmektedir.

## Kaynakça

- Acker, V. V., & Witlox, F. (2009). Why land use patterns affect travel behaviour (or not). *National Committee of Geography of Belgium, Société Royale Belge de Géographie*.
- Adjei, E., & Behrens, R. (2012). Travel Behaviour Change Theories And Experiments: A Review And Synthesis. *Abstracts of the 31. Southern African Transport Conference (SATC2012)*.
- Alaylı, B. (2006). Land Use Optimization For Improved Transportation System Performance Case Study: Ankara. Orta Doğu Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Büyüknalbant, S. (2010). Kayseri Kentinde Ulaşım Altyapısının Yolculuk Davranışı Üzerine Etkilerinin Araştırılması. Ankara : azi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi .
- Demir, Y. K. (2006). Ulaşım Türü Seçiminde Esnek Hesaplama Yöntemleri. 3-27. İstanbul: Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karacasu, M. (1996). Eskişehir Kentiçi Ulaşımında Trafik Türlerine Göre Dağılımın Belirlenmesi. Eskişehir: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Küçükyıldız, E. Ş. (2020). Aktivite Tabanlı Seyahatlerin Ulaşım ve Arazi Kullanım Planlamasına Etkileri: Konya Kenti Örneği. Konya: Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Mutlu, İ. (2017, Haziran). Arazi Kullanım – Ulaşım Etkileşiminin İrdelenmesi: Sultangazi Örneği. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Mühendisliği Programı Yüksek Lisans Tezi.
- Ortuzar, j. D., & Willumsen, L. G. (1995). Modelling Transport: Second Edition. *John Wiley & Sons Ltd., West Sussex*, , 54-62.
- Özuysal, M., & Tanyel, S. (2007). Erişilebilirlik Ölçütünün Rastlantısal Fayda Fonksiyonunda Kullanımı Üzerine Bir Değerlendirme. 7. *Ulaştırma kongresi*, 65-69 .
- Reilly, M., & Landis, J. (2002). The Influence of Built-Form and Land Use on Mode Choice Evidence from the 1996 Bay Area Travel Survey Michael. Institute of Urban and Regional Development University of California, Berkeley
- .Sağlam, İ. (2001). Çocuklarda Davranışların Şekillenmesinde Etkili Olan Faktörlere Teorik Bir Yaklaşım. *Uludağ Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi* .
- Telli, R. (2020). Türkiye'de Ulaşım Altyapısının Bölgesel Kalkınmaya Etkileri. *Türk Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi / Journal of Turkish Social Sciences Research* , 54.
- Wegener, M. (2004). Overview of land use transport models. In D. Hensher, K. Haynes, & P. Stopher (Eds.), *Handbook of transport geography and spatial systems* .
- Yankaya, U. (2020). Modeling The Effects Of Land Use Characteristic On Mode Choice For Home -Based Work Trips: The Case of Istanbul. A Thesis Submitted to the Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology.



## Yalın, Katmanlar Arası ve Katman İçi Açılı Cam/Karbon Karma Kompozitlerin Çekme Yüğü Altındaki Davranışları

Mehmet Çağrı TÜZEMEN<sup>1</sup>

### Giriş

Elyaf takviyeli polimer kompozitler yüksek özgül dayanımları sayesinde rüzgâr türbinleri, demiryolları, otomotiv, denizcilik, havacılık ve uzay alanlarında sıklıkla tercih edilmektedir (al Faruque vd., 2021: 1; Jesthi ve Nayak, 2019: 467; Yalkın vd., 2020: 2999). En sık kullanılan elyaflardan biri olan cam elyaf görece ucuz ancak özgül dayanımı da daha düşük iken, karbon elyaf daha pahalı ancak özgül dayanımı da daha yüksektir. Bu nedenlerden dolayı cam veya karbon elyaf takviyeli kompozitlerin kullanım alanları sınırlanmaktadır. Ancak karma kompozitler sayesinde kullanılan cam ve karbon oranına göre maliyet ve dayanım açısından uygun kompozitler üretilebilmektedir.

Elyaf takviyeli polimer karma kompozitler katmanlar arası veya katman içi olabilmektedir (Bakhori vd., 2022: 5; R. Yan vd., 2020: 2-3). Katmanlar arası karma kompozitler yapı boyunca çeşitli katmanlarda çeşitli elyafların bulunduğu kompozitlerdir. Ancak bu tür kompozitlerde bir katmanda sadece bir çeşit elyaf bulunur. Elyaf lar ise katmanlarda simetrik ve simetrik olmayan şekillerde yerleştirilebilmektedir (Nayak vd., 2021: 2246-2247; Zafar ve Nair, 2021: 5). Katman içi karma kompozitlerde ise yapı boyunca belirli bir katmanda farklı elyaflar kullanılabilir. Örgü, boylamasına veya karışık olarak katman içi karma kompozitler oluşturulabilmektedir (Hashim vd., 2019: 447; Rajpurohit vd., 2020: 4; Yu vd., 2015: 36). Karma kompozitlerde takviye elemanı olarak cam, karbon, aramit ve doğal elyaflar gibi çeşitli elyaflar kullanılabilir (Azimpour-Shishevan vd., 2020: 2581; Bazan vd., 2021: 2; Ouarhim vd., 2020: 2). Kullanılan her bir elyaf yapıya farklı bir özellik katmaktadır. Karbon elyaf takviyeli kompozitler daha yüksek sertliğe, daha fazla yük taşıma kapasitesine, çok iyi yorulma ve kimyasal direncine sahiptir (Belingardi vd., 2006: 223-224; Cousin vd., 2019: 3651; Shan ve Liao, 2002: 848; Xian vd., 2021: 2813). Cam elyaf takviyeli kompozitler ise daha yüksek uzama sayesinde hasara karşı daha yüksek dayanıklılığa, oldukça iyi ısı yalıtımına, kimyasal dirence ve elektrik yalıtımına sahiptir (Belingardi vd., 2006: 222-224; X. Yan ve Cao, 2018: 363). Karma kompozitler ile ilgili çalışmalarda bu iki elyaf türü gerek katmanlar arası gerek katman içi karma kompozitlerde yapının her yerinde kullanıldığından ihtiyaç duyulmayan özelliklerin de yapının tamamında var olması durumu oluşmaktadır. Bu kullanım şekli maliyet artışına da neden olabilmektedir. Bu olumsuzluklar civatalı veya yapıştırma bağlantılı kompozitler ile aşmaya çalışılmıştır. Ancak bağlantılı kompozitler kullanım kısıtlaması veya dayanım azalması gibi sorunları beraberinde getirmektedir. Oysa bölgesel katman içi karma kompozit yaklaşımı ile işlevsel karma kompozitlerin yapımı mümkün olacaktır. Böylece tek parça üretilecek bir yapının veya makine parçasının bir bölgesinde istenen özelliklere uygun olarak daha dayanıklı, daha yüksek yorulma direncine ve sertliğe sahip, radyo frekansı yalıtkan, elektrik ve ısı iletken karbon elyaf kullanılabilirken diğer bölgesinde ise daha ucuz, radyo frekansı geçirgen, elektrik ve ısı yalıtkan olan cam elyaf kullanılabilir. Böylece bir bütün olarak tek parçadan üretilen ve farklı bölgelerinde farklı özellikleri barındırabilen işlevsel karma kompozitler oluşturulabilir.

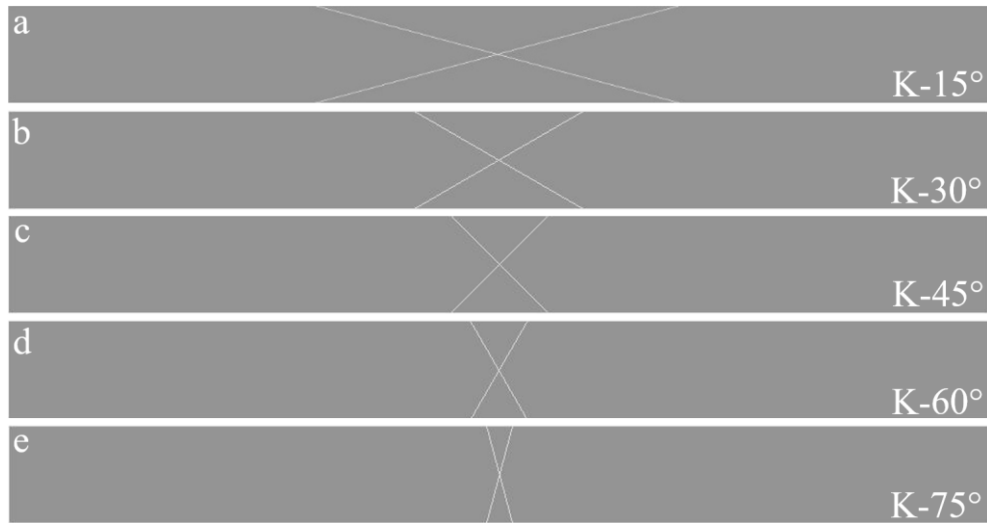
---

<sup>1</sup> Mehmet Çağrı TÜZEMEN, Arş. Gör. Dr., Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0002-1746-2864

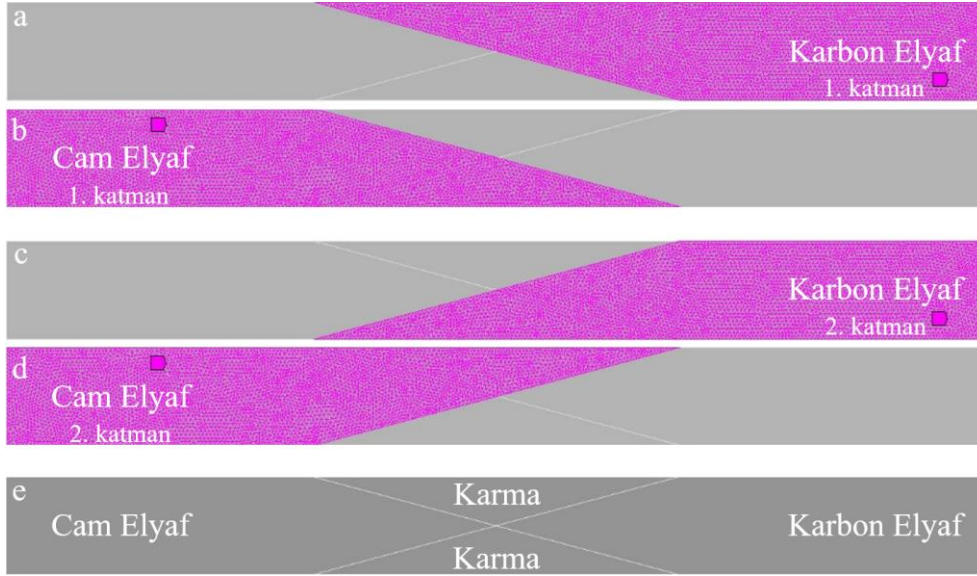
Bu çalışmada bölgesel olarak açılı bir şekilde karma yapılmış katman içi işlevsel cam/karbon elyaf kompozitlerin mekanik özellikleri sonlu elemanlar analizi yöntemi ile çekme yükü altında incelenmiştir. Yalın ve katmanlar arası karma kompozitlerin de analizi yapılarak bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın amacı fonksiyonel karma kompozitlerin yük altındaki davranışlarının belirlenmesidir.

## Yöntem

Bu çalışmada malzeme olarak tek yönlü cam ve karbon elyaf/epoksiler seçilmiştir. Analizlerde kullanılan cam elyaf/epoksinin çekme dayanımı ve elastisite modülü sırasıyla 780 MPa ve 35 GPa iken, karbon elyaf/epoksinin ise sırasıyla 1632 MPa ve 123,34 GPa'dır. Katman içi karma kompozit numunelerin üstten görünüşü numune kodlamaları ile Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu numuneler Şekil 2'de elyafları renklendirilmiş olarak gösterilen K-15° numunesindeki gibi ilk katmanda bir tarafta karbon elyaf (Şekil 2a) diğer tarafta cam elyaf (Şekil 2b) olacak şekilde tasarlanmıştır. İkinci katmanda ise açılı kesilmiş birleşim yerlerinden iç içe geçecek şekilde yine bir tarafta karbon elyaf (Şekil 2c) diğer tarafta cam elyaf (Şekil 2d) olacak şekilde modellenmiştir. Böylece iki katman oluşturulmuş ve bu katmanlar tekrarlanarak toplam dört katmanlı (Şekil 2e) yapı elde edilmiştir. Açılı birleşim bölgesinde karma kompozit yapı oluşturulurken, geri kalan yapının bir tarafı yalnızca cam elyaftan diğer tarafı ise yalnızca karbon elyaftan oluşan fonksiyonel karma kompozit yapı tasarlanmış olur. Katmanlar arası karma numune (K-Cam/Karbon) ise bir kat cam elyaf bir kat karbon elyaf olacak şekilde tasarlanmıştır. Karma kompozitlerin dışında yalın cam elyaf (Y-Cam) ve yalın karbon elyaftan (Y-Karbon) oluşan diğer numuneler de toplamda dört katman olarak tasarlanmıştır.



Şekil 1. Katman içi karma kompozitlerin tasarımı ve kodlama sistemi a) K-15°, b) K-30°, c) K-45°, d) K-60° ve e) K-75°



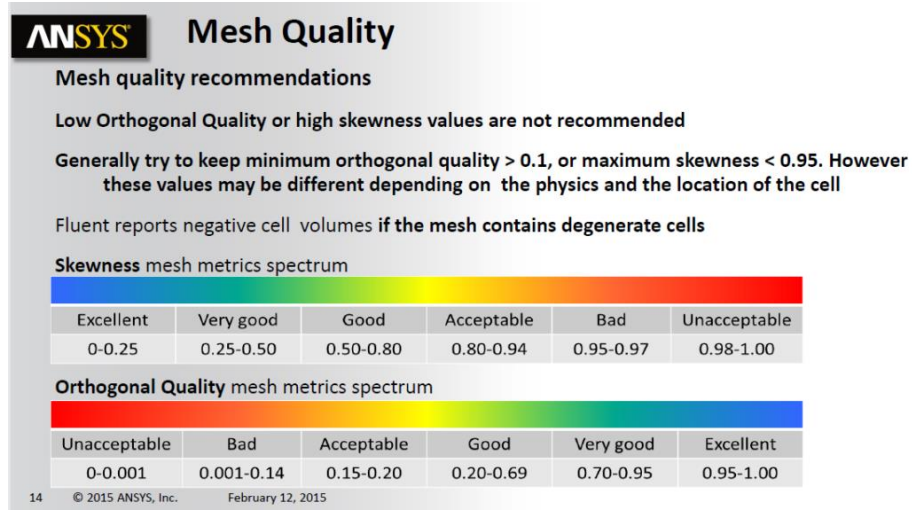
Şekil 2. Katman içi karma kompozitin katman tasarımları a) 1. katmandaki karbon elyaf, b) 1. katmandaki cam, c) 2. katmandaki karbon elyaf, d) 2. katmandaki cam elyaf ve e) fonksiyonel katman içi karma kompozit

Sonlu elemanlar analizi için Ansys programı kullanılmıştır. Tasarımlar spaceclaim ile kabuk eleman olarak oluşturulmuş ve çalışma alanına (workbench) aktarılmıştır. Oluşturulan modellerin uzunluğu ve genişliği ASTM D3039/D3039M (Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials) ile uyumlu olacak şekilde sırasıyla 250 mm ve 25 mm'dir (A.S.T.M., 2008). Burada ACP Pre modülü ile katmanlar oluşturulmuştur. Kompozit plakalar dört katman olacak şekilde tasarlanmıştır. Her bir katmanın kalınlığı 0,2 mm olup toplam kalınlık 0,8 mm'dir. Tek yönlü elyafların yönelimleri kuvvet doğrultusunda olacak şekilde tasarlanmıştır. Oluşturulan model yapısal statik modülüne aktarılmıştır. Burada modeller üzerinde ağ yapı oluşturulmuştur. Ağ yapı için üçgenler metodu ve karesel unsur sıralaması uygulanmıştır. Sonrasında oluşturulan ağ yapı üzerinde bir kademe düzeltme yapılmıştır. Daha sonra ise ağ yapı boyut çalışmaları yapılarak çözüm süresi de dikkate alınarak en iyileştirme çalışmaları tamamlanmıştır. Modellerde yaklaşık olarak 16000 unsur ve 32000 düğüm noktası bulunmaktadır. Modele bir ucundan ötelemeye ve dönmeye karşı sabit mesnetleme yapılırken diğer ucundan dönmeye karşı mesnetleme yapılmış ve eksenel kuvvet uygulanmıştır. Oluşturulan modellere Tsai-Wu hasar ölçütü uygulanarak analiz sonuçları elde edilmiştir.

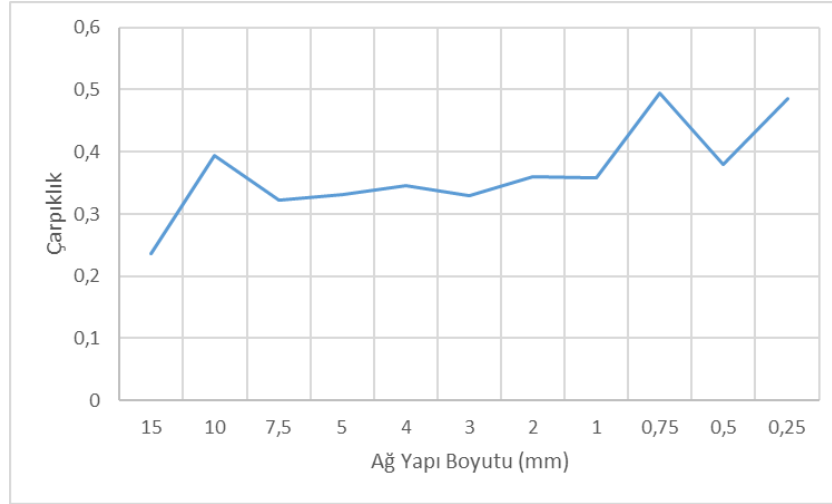
## Bulgular

Ağ yapının uygunluğu görmek için çeşitli ölçüler vardır. Çarpıklık (skewness) da ağ yapının kalitesini gösteren önemli bir ölçüdür. Çarpıklığın ölçek aralıkları Şekil 3'te verilmiştir (Adam vd., 2020: 63). Buna göre kabul edilebilir çarpıklık değeri 0,95'in altında olan değerlerdir. Modeller üzerinde oluşturulan ağ yapı boyutunun çarpıklığa olan etkisi Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde oluşturulan ağ yapı boyutunun aşırı küçültülmesinin çarpıklığa olumsuz etki edebildiği görülmüştür. Ayrıca oluşturulan ağ yapıların en yüksek çarpıklık değerinin 0,5'in altında kalarak Şekil 3'te gösterilen ölçeğe göre "çok iyi" aralığında olduğu görülmüştür. Ağ yapı boyutunun model üzerinde oluşan gerilimde yakınsama sağlanması da sonuçların ağ yapıdan bağımsız olması açısından önemli bir noktadır. Ağ yapı boyutu ile gerilme arasındaki ilişki Şekil 5'te verilmiştir. Burada da ağ yapı boyutunun belli bir değerden sonra gerilmeyi neredeyse hiç etkilemediği görülmüştür.

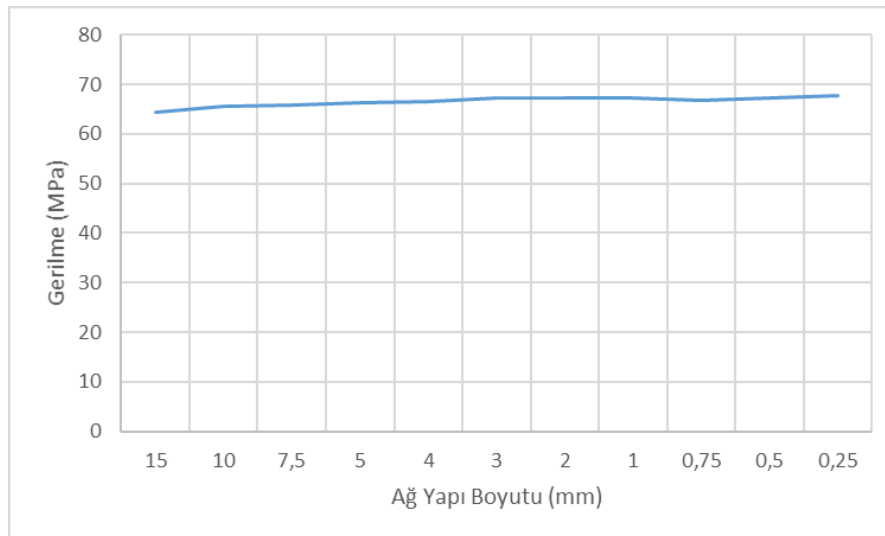




Şekil 3. Ağ yapı kalitesinin ölçekleri (Adam vd., 2020)

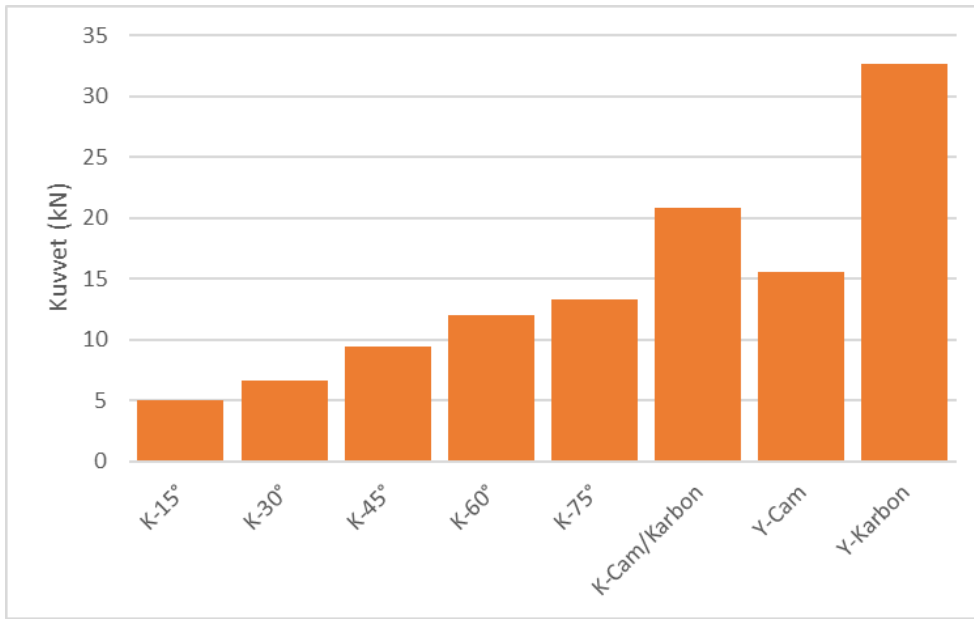


Şekil 4. Ağ yapı boyutuna göre yapıda oluşan en yüksek çarpıklık değerleri



Şekil 5. Ağ yapı boyutuna bağlı yapıdaki en yüksek gerilmeler

Yalın, katmanlar arası ve katman içi karma kompozitlerin çekme yükü altında ilk hasar aldıkları kuvvetler Şekil 6'da verilmiştir. Cam elyaf takviyeli yalın kompozit numune 15,60 kN kuvvete dayanabilirken karbon elyaf takviyeli yalın kompozit numune ise 32,64 kN kuvvete dayanabilmiştir. Cam/karbon elyaf takviyeli katmanlar arası karma kompozit numune ise beklenildiği üzere bu ikisinin arasında bir değer olan 20,84 kN'luk bir kuvvet sonrasında hasar almıştır. Katman içi karma kompozitlere bakıldığında ise açı arttıkça dayanabildiği kuvveti arttığı görülmüştür. Elyafın birbiri içine geçtiği açının 15° olduğu numune de kuvvet 5,04 bulunurken, 75° açı ile oluşturulan numunede bu değer %164 artarak 13,29 kN olarak bulunmuştur. Katman içi karma numuneler diğer numunelere kıyaslandığında daha düşük kuvvetlerde hasar almıştır. Bunun nedeni bu numunelerde bir katmanı iki farklı elyafın oluşturmasından dolayı birleşme noktalarında elyaf süreksizliğinin oluşmasıdır. Yalın ve katmanlar arası karma numunelerde ise kuvvet doğrultusunda bütün katmanlarda tek bir elyaf kullanılmıştır. Dolayısıyla numune boyunca elyaf sürekliliği bulunmaktadır. K-75° numunesi Y-Cam numuneye kıyasla yalnızca %14,8 oranında daha düşük çekme kuvvetine dayanabilmiştir. Et kalınlığının numune boyunca sabit ve tek parça kalmasını sağlayabilecek eğik bağlantılı yapıştırmalı kompozitlerle ilgili yapılan çalışmada bu düşüş yaklaşık %27 olarak bulunmuştur (Hyeon-Seok vd., 2020: 291-292). Elde edilen sonuçlar sunulan yeni işlevsel karma yönteminin mekanik özelliklerden makul oranlarda kayıpla uygulanabilir olduğunu göstermektedir.



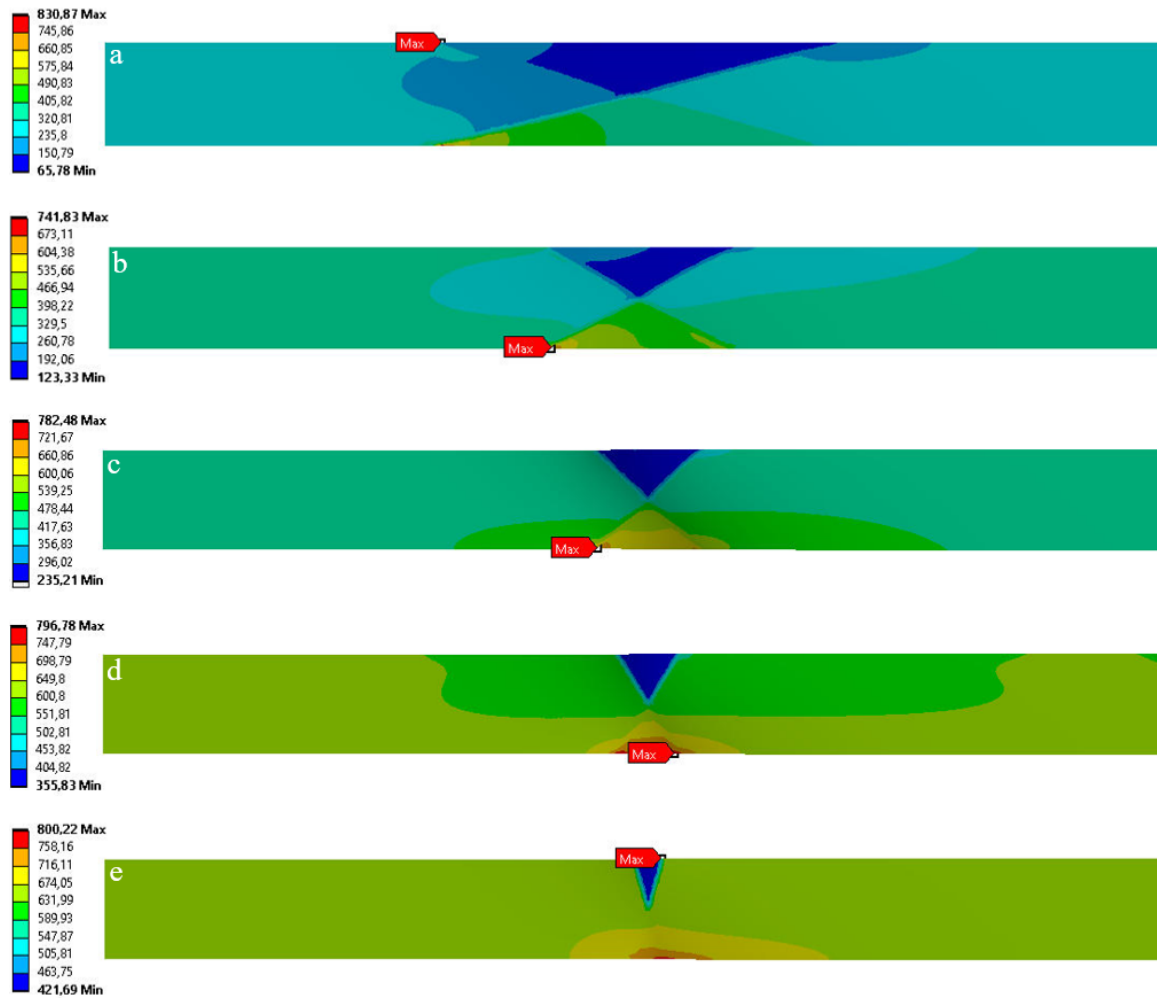
Şekil 6. Tsai-Wu ölçütüne göre ilk hasarı oluşturan çekme kuvvetleri

Şekil 6'da verilen yükler altında numunelerde oluşan gerilme, gerinim ve deformasyonlar Tablo 1'de verilmiştir. Tablo incelendiğinde, sürekli elyaflara sahip karbon elyaf takviyeli yalın ve katmanlar arası karma kompozit numunelerde diğerlerine oranla yaklaşık iki kat daha fazla gerilme olduğu gözlemlenmiştir. Cam elyaf yalın ve katman içi karma kompozitlerin ise birbirine yakın değerler verdiği görülmüştür. Katman içi karma kompozitlerde gerinim ve deformasyon değeri genel olarak açı arttıkça açmaktadır. Karma kompozitlerde gerinim değerleri cam ve karbon yalın kompozitlerin arasında bulunmuştur. Katman içi karma kompozitlerde elyaf süreksizliğinden dolayı daha düşük kuvvetlerde hasar aldığı için deformasyon sonuçlarının da daha düşük çıktığı düşünülmektedir.

Tablo 1– Numunelerde oluşan gerilme, gerinim ve deformasyonlar

Kod	Gerilme (MPa)	Gerinim (mm/mm)	Deformasyon (mm)
K-15°	831	0,0172	1,23
K-30°	742	0,0186	1,48
K-45°	782	0,0223	2,14
K-60°	797	0,0247	2,73
K-75°	800	0,0247	3,03
K-Cam/Karbon	1627	0,0165	3,29
Y-Cam	780	0,0266	5,57
Y-Karbon	1632	0,0165	3,31

Katman içi karma kompozitlerde oluşan gerilmeler incelendiğinde en yüksek gerilmelerin birleşim noktalarında olduğu görülmüştür (Şekil 7). Elyaf süreksizliği ve keskin köşelerin varlığı en yüksek gerilmelerin o bölgelerde oluşmasına neden olduğu düşünülmektedir. Yapı üzerindeki gerilme dağılımına bakıldığında elyaf süreksizliğinin olduğu bölgelerde sert değişimler gözlenirken yapının geri kalanında daha yumuşak geçişlerin olduğu görülmüştür. Ayrıca en yüksek gerilmelerin köşelerde olması keskin uçların olumsuz etkisini göstermektedir.



Şekil 7. Katman içi karma kompozitlerde oluşan gerilmeler a) K-15°, b) K-30°, c) K-45°, d) K-60° ve e) K-75°

## Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada birbiri içine açılı bir şekilde yerleştirilmiş katman içi karma kompozitlerin çekme yüğü altında davranışları sonlu elemanlar analizi yöntemi ile incelenmiştir. Bunların yanı sıra yalın cam, yalın karbon ve katmanlar arası karma kompozitler de analiz edilerek ilk hasar kuvveti ve bu kuvvet altındaki gerilme, gerinim ve toplam deformasyon değerleri karşılaştırılmıştır. Katman içi karma kompozitlerde daha yüksek kuvvetlere dayanamamasındaki en büyük etkenin elyaf süreksizliği olduğu düşünülmektedir. Yalın cam elyaf kompozitle karşılaştırıldığında K-75° numunesinin yalnızca %14,8 oranında daha düşük çekme kuvvetine dayanarak fonksiyonel karma kompozitlerin tasarlanmasının mümkün olduğu görülmüştür. Dolayısıyla birleşik yüklere ve/veya farklı ortam şartlarına maruz kalan ve tek parça üretilmesi gereken bir yapının bir bölgesinde istenen özelliklere uygun olarak daha dayanıklı, daha yüksek yorulma direncine ve sertliğe sahip, radyo frekansı yalıtkan, elektrik ve ısı iletken karbon elyaf kullanılabilirken diğer bölgesinde ise daha ucuz, radyo frekansı geçirgen, elektrik ve ısı yalıtkan olan cam elyaf kullanılabilir.

## Teşekkürler

Sonlu elemanlar analizinde sağlamış olduğu destekten dolayı Gazi Üniversitesine teşekkür ederim.

## Kaynakça

Adam, N. M., Attia, O. H., Al-Sulttani, A. O., Mahmood, H. A., As'array, A., ve Rezali, K. A. M. (2020). Numerical Analysis for Solar Panel Subjected with an External Force to Overcome Adhesive Force in Desert Areas. *CFD Letters*, 12(9), 60–75. <https://doi.org/10.37934/CFDL.12.9.6075>

al Faruque, M. A., Salauddin, M., Raihan, M. M., Chowdhury, I. Z., Ahmed, F., ve Shimo, S. S. (2021). Bast Fiber Reinforced Green Polymer Composites: A Review on Their Classification, Properties, and Applications. *Journal of Natural Fibers*. <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1958431>

Azimpour-Shishevan, F., Akbulut, H., ve Mohtadi-Bonab, M. A. (2020). Mechanical and Thermal Properties of Carbon/Basalt Intra-ply Hybrid Composites. I. Effect of Intra-ply Hybridization. *Fibers and Polymers* 2020 21:11, 21(11), 2579–2589. <https://doi.org/10.1007/S12221-020-9843-6>

Bakhori, S. N. M., Hassan, M. Z., Bakhori, N. M., Jamaludin, K. R., Ramlie, F., Daud, M. Y. M., ve Aziz, S. A. (2022). Physical, Mechanical and Perforation Resistance of Natural-Synthetic Fiber Interply Laminate Hybrid Composites. *Polymers* 2022, Vol. 14, Page 1322, 14(7), 1322. <https://doi.org/10.3390/POLYM14071322>

Bazan, P., Nosal, P., Wierzbicka-Miernik, A., ve Kuciel, S. (2021). A novel hybrid composites based on biopolyamide 10.10 with basalt/aramid fibers: Mechanical and thermal investigation. *Composites Part B: Engineering*, 223, 109125. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2021.109125>

Belingardi, G., Cavatorta, M. P., ve Frasca, C. (2006). Bending fatigue behavior of glass–carbon/epoxy hybrid composites. *Composites Science and Technology*, 66(2), 222–232. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSCITECH.2005.04.031>

Cousin, P., Hassan, M., Vijay, P. v., Robert, M., ve Benmokrane, B. (2019). Chemical resistance of carbon, basalt, and glass fibers used in FRP reinforcing bars. *Journal of Composite Materials*, 53(26–27), 3651–3670. <https://doi.org/10.1177/0021998319844306>

Hashim, N., Majid, D. L. A., Mahdi, E. S., Zahari, R., ve Yidris, N. (2019). Effect of fiber loading directions on the low cycle fatigue of intraply carbon-Kevlar reinforced epoxy hybrid composites. *Composite Structures*, 212, 476–483. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2019.01.036>

Hyeon-Seok, C., Byeong-Su, K., Seong-Min, P., Viet-Hoai, T., Young-Woo, N., ve Jin-Hwe, K. (2020). Tensile strength of composite bonded scarf joint in various thermal environmental conditions. *Advanced Composite Materials*, 29(3), 285–300. <https://doi.org/10.1080/09243046.2019.1710679>

Jesthi, D. K., ve Nayak, R. K. (2019). Improvement of mechanical properties of hybrid composites through interply rearrangement of glass and carbon woven fabrics for marine application. *Composites Part B: Engineering*, 168, 467–475. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2019.03.042>

Nayak, S., Nayak, R. K., ve Panigrahi, I. (2021). Improvement of Low-Velocity Impact and Abrasive Wear Resistance of Carbon/Glass Fiber-Reinforced Polymer Hybrid Composites. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 74(9), 2245–2254. <https://doi.org/10.1007/S12666-021-02318-2/TABLES/3>

Ouarhim, W., Essabir, H., Bensalah, M. O., Rodrigue, D., Bouhfid, R., ve Qaiss, A. el kacem. (2020). Hybrid composites and intra-ply hybrid composites based on jute and glass fibers: A comparative study on moisture absorption and mechanical properties. *Materials Today Communications*, 22, 100861. <https://doi.org/10.1016/J.MTCOMM.2019.100861>

Rajpurohit, A., Joannès, S., Singery, V., Sanial, P., ve Laiarinandrasana, L. (2020). Hybrid Effect in In-Plane Loading of Carbon/Glass Fibre Based Inter- and Intraply Hybrid Composites. *Journal of Composites Science* 2020, Vol. 4, Page 6, 4(1), 6. <https://doi.org/10.3390/JCS4010006>

Shan, Y., ve Liao, K. (2002). Environmental fatigue behavior and life prediction of unidirectional glass–carbon/epoxy hybrid composites. *International Journal of Fatigue*, 24(8), 847–859. [https://doi.org/10.1016/S0142-1123\(01\)00210-9](https://doi.org/10.1016/S0142-1123(01)00210-9)

Standard, A. S. T. M. (2008). Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials. ASTM D3039/DM3039

Xian, G., Guo, R., Li, C., ve Hong, B. (2021). Effects of rod size and fiber hybrid mode on the interface shear strength of carbon/glass fiber composite rods exposed to freezing-thawing and outdoor environments. *Journal of Materials Research and Technology*, 14, 2812–2831. <https://doi.org/10.1016/J.JMRT.2021.08.088>

Yalkın, H. E., Karakuzu, R., ve Alpyıldız, T. (2020). Experimental and numerical behaviors of GFRP laminates under low velocity impact. *Journal of Composite Materials*, 54(21), 2999–3007. <https://doi.org/10.1177/0021998320906871>

Yan, R., Zhang, Q., Shi, B., Qin, Z., Wei, S., ve Jia, L. (2020). Investigating the integral-structure of HRBP/CHP/CF consisting of non-woven flexible inter/intra-ply hybrid composites: Compression, puncture-resistance, electromagnetic interference shielding effectiveness. *Composite Structures*, 248, 112501. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2020.112501>

Yan, X., ve Cao, S. (2018). Structure and interfacial shear strength of polypropylene-glass fiber/carbon fiber hybrid composites fabricated by direct fiber feeding injection molding. *Composite Structures*, 185, 362–372. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2017.11.037>

Yu, H., Longana, M. L., Jalalvand, M., Wisnom, M. R., ve Potter, K. D. (2015). Pseudoductility in intermingled carbon/glass hybrid composites with highly aligned discontinuous fibres. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 73, 35–44. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESA.2015.02.014>

Zafar, H. M. N., ve Nair, F. (2021). Comparison of Static/Dynamic Loading and Tensile Behavior of Interply and Intraply Hybridized Carbon/Basalt Epoxy Composites. *Applied Composite Materials*, 1–22. <https://doi.org/10.1007/S10443-021-09973-0/FIGURES/15>

## Antik Tahıllar ve Günümüzdeki Kullanım Alanları

**Mehmet KÖTEN**<sup>1</sup>  
**Ali Mücahit KARAHAN**<sup>2</sup>  
**Mustafa SATOUF**<sup>3</sup>

### Giriş

Küresel iklim değişikliği, azalan tarımsal biyolojik çeşitlilik, arazi kısıtlamaları, su kıtlığı ve çevresel bozulma, dünyanın tarımsal üretimini önemli ölçüde zorlamaktadır. Mevcut tarımsal üretimin sürdürülebilirliği ile ilgili olarak endişeler yaşanmakta ve karşılaşılan zorluklarla başa çıkmak için tarıma daha sürdürülebilir bir yaklaşımın olması gerekmektedir. Sürdürülebilir tarım, gelecek nesiller için kaynakları korurken mevcut gıda taleplerini karşılamayı amaçlamaktadır. Bu, gıda üretimini artırmak, çevreyi korumak ve tarımsal sistemin devamlılığını sağlamak için geleneksel tarım tekniklerini modern teknolojilerle birleştirerek yapılabilir. Tarımsal gıda sistemlerini daha sürdürülebilir kılmak ve gıda ve beslenme güvenliğini sağlamak için tarımsal çeşitlendirme esastır (Nani ve Krishnaswamy, 2021: 1530).

Yaklaşık 30.000 yenilebilir bitki türü bilinmektedir, ancak bunlardan yalnızca 30'u dünyada beslenme amaçlı kullanılmakta ve yalnızca birkaçı büyük ölçekte yetiştirilmektedir. Küresel tarımsal üretim şu anda birkaç yüksek verimli temel tahılın – mısır, buğday, pirinç, arpa ve daha az ölçekte sorgum – yetiştirilmesine odaklanmıştır. Bu, dünya çapında tarımsal ürün sistemlerinin biyolojik çeşitliliğinde bir azalmaya ve geleneksel mahsullerin yetiştirilmesinde bir düşüşe neden olmaktadır. Sürdürülebilir bir gıda sistemi ve beslenme güvenliğini sağlamaya yönelik temel stratejiler; yeterince kullanılmayan mahsullerin (antik tahılların) üretimini yaygınlaştırmak, ürün çeşitlendirmesini teşvik etmek ve gıdanın beslenme kalitesine öncelik vermek olmalıdır (Nani ve Krishnaswamy, 2021: 1530; Longin ve Würschum, 2016: 731).

Tahıl bazlı gıda ürünleri günlük diyetin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Tahıllar tarih boyunca önemli bir protein, diyet lifi, antioksidan ve antiinflamatuvar etkileri olan biyoaktif bileşiklerin kaynağı olmuşlardır ve günümüzde de bu önemlerini korumaktadırlar. Tahıl bazlı ekme ve yulaf lapası benzeri yiyecekler, tarih öncesi çağlarda zaten insan beslenmesinin önemli bir parçası durumundaydı. Tarih öncesi insanın tahıl ve sudan yulaf ezmesi hazırlayabildiğine dair güçlü kanıtlar bulunmaktadır. Günümüzde tüketiciler genellikle bu tür gıdaların sağlıklı ve sürdürülebilir olduğunu düşündüklerinden, antik (eski) tahıllara dayalı gıdalara şu anda yeniden ilgi duymaya başlamışlardır (Zamaratskaia vd., 2021: 114).

Şu anda birçok genetik ve arkeolojik veriye rağmen antik tahıllar için evrensel olarak kabul edilmiş bir tanım bulunmamaktadır. Ancak Tam Tahıl Konseyi'ne (Whole Grains Council) göre en dar anlamda “son birkaç yüz yılda büyük ölçüde genetik olarak değişmeyen taneler” şeklinde tanımlanmıştır. Benzer ancak daha ayrıntılı bir tanım foodnavigator.com tarafından “yüzlerce yıldır geleneksel olarak yetiştirilen, tüketilen ve nispeten sınırlı bir genetik değişimden geçen belirli tahıl taneleri, tahıl benzeri taneler ve bakliyat türleridir” şeklinde yapılmıştır. Eski tahıllar için “özel

---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Orcid: 0000-0002-8232-8610

<sup>2</sup> Öğr. Gör., Adıyaman Üniversitesi, Gıda İşleme Bölümü, Orcid: 0000-0001-8779-4349

<sup>3</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Hemşirelik Bölümü, Orcid: 0000-0002-8349-4899

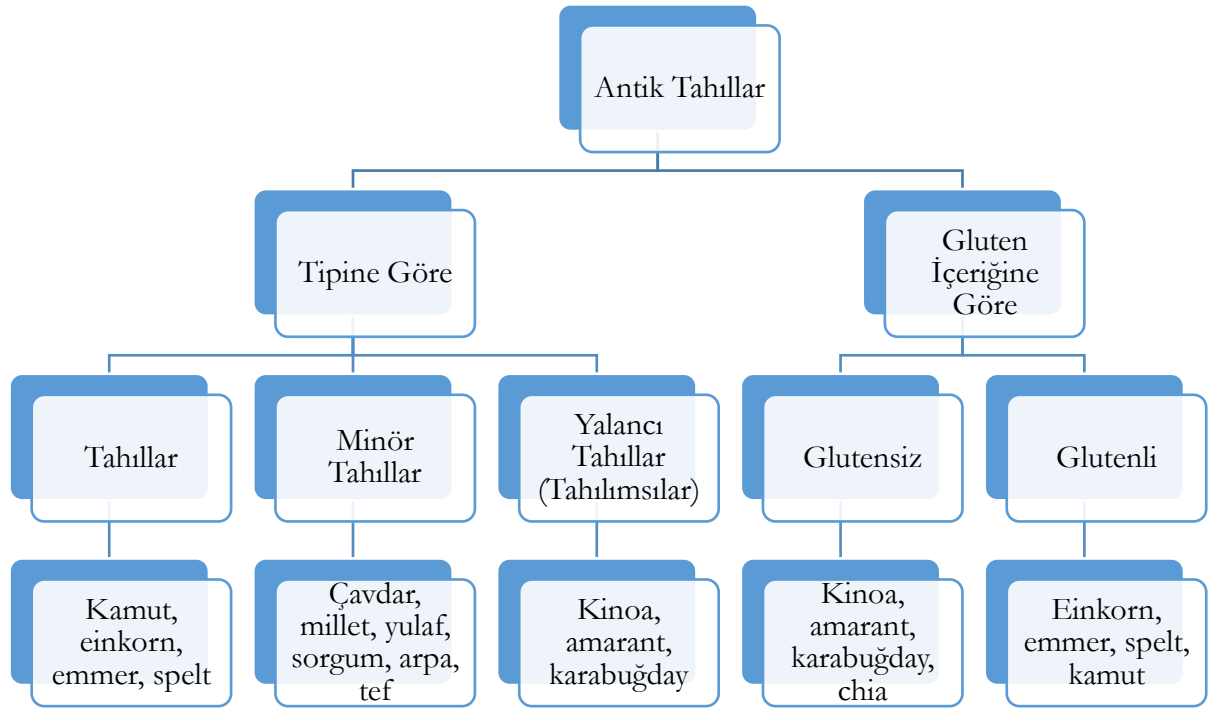
tahıllar, daha az yaygın tahıllar, yerel tahıllar, geleneksel tahıllar ve ihmal edilmiş ve az kullanılmış tahıllar” şeklinde alternatif terimler de kullanılmaktadır (Taylor, 2017: 1-3).

Antik tahıllar şu özellikleri taşımaktadırlar:

- ✓ Birçok makro ve mikro besin maddeleri için iyi kaynaklardır.
- ✓ Genellikle sağlığı geliştirici etkilere sahip yüksek düzeyde fitokimyasallar içerirler.
- ✓ Zayıf toprak, yüksek sıcaklık ve düşük yağışlı ortamlarda yetiştirilebilen dayanıklı bitkileridir.
- ✓ Dünyanın teknolojik olarak daha az gelişmiş bölgelerindeki toplulukların geleneksel temel gıda ürünleridir.
- ✓ Diğer tahıllar gibi önemli ve kasıtlı genetik değişikliklere uğramamışlardır (Taylor, 2017: 3).

Antik tahıllar birkaç kategoriye ve alt kategoriye ayrılabilir (Şekil 1). Botanik olarak, tahıllar, çiçekli bitkiler sınıfının 2 ana alt sınıfı olan monokotiledon ve dikotiledon sınıfına girmektedirler. Genel olarak; tahıllar, minör tahıllar ve yalancı tahıllar olmak üzere 3 ana kategoriye ayrılabilirler. Tahıllar kategorisinde pirinç, buğday ve mısır yer alırken, minör tahıllar grubunda çavdar, darı, yulaf, sorgum, arpa ve teff yer almaktadır. Tahıllar ve minör tahıllar, monokotiledon alt sınıfına ait *Poales* takımının en önemli familyalarından biri olan *Poaceae*'ye aittir. Öte yandan, yalancı tahıllar, *Polygonaceae*, *Amaranthaceae* ve *Lamiaceae* gibi birkaç familyaya ayrılan dikotiledon taneler olarak tanımlanmaktadır. Bu kategoride ise karabuğday, kinoa ve amarant yer almaktadır (Boukid vd., 2017: 123-125).

Yukarıda belirtilen özelliklerinden dolayı ve adaptasyona yönelik artan talepler ile genetik çeşitliliğin korunmasına yönelik acil ihtiyaçlar nedeniyle çiftçilerin ve gıda endüstrisinin antik tahıllara olan ilgisi gün geçtikçe artmaktadır. Bu bağlamda yapılan bu derleme çalışmasında antik tahılların bileşim özellikleri ve bunların insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkileri ile günümüzdeki kullanım alanlarına (potansiyellerine) ilişkin bilgiler özetlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 1. Antik tahılların sınıflandırılması (Boukid vd., 2017: 123-125)



## GELENEKSEL TAHILLAR

### Einkorn

Einkorn (siyez) (*Triticum monococcum* L. subsp. *monococcum*), Akdeniz bölgesinin antik buğdaylarından birisidir ve yaklaşık 10000 yıl önce Türkiye'nin Karacadağ bölgesinde kültüre alınmış, Neolitik Devirde Avrupa'ya yayılmıştır. Siyez, genetik olarak diploid kromozom sayısına ( $2n=14$ ) sahiptir ve günümüz buğdaylarının atası olarak kabul edilir. Tarımın yaygınlaşmasında etkili olmuş ve binlerce yıldır önemli bir besin kaynağı olarak kullanılmaktadır (Yılmaz ve Koca, 2020: 1; Hidalgo ve Brandolini, 2019: 99).

Siyez taneleri, onları böceklerle ve çevresel etkenlere karşı koruyan sert kabuklarla çevrilidir, ancak öğütmeden önce kauçuk kaplı silindirlere geçirilerek kabukları uzaklaştırılır. Bu haliyle yaygın buğday çeşitlerinin tanelerinden daha küçük boyutludurlar ve tane dokusu diğer çeşitlere göre daha yumuşaktır (Løje vd., 2003: 232).

İnsan beslenmesinde çok önemli yeri olan siyez buğdayı; protein, nişasta, lif, fitokimyasal ve antioksidan maddeleri bünyesinde bulunduran başlıca tahıldır. Tahılların içerdiği antioksidanlar (flavonoid, fenolik asit, fitik asit, tokoferoller ve karatenoid) ve besinsel lifler gibi bileşenler, hububat ürünlerinin fonksiyonel özelliklerini artırma ve kronik hastalıkları önleme potansiyeline sahiptir (Keçeli, 2019: 2112).

Kabuğundan arındırılmış siyez buğdayında kül (yaklaşık KM'de %2.2) ve protein (KM'de %12.5 - %25.2) içeriğinin yüksek olduğu, toplam diyet lifi içeriği (KM'de %8.7)'nin ekmeklik buğdaya (KM'de %12.5) kıyasla düşük olduğu ve çözünür lif içeriğinin ise aynı düzeyde (KM'de %1.7) olduğu bildirilmiştir. Diğer buğday türlerine göre daha fazla lutein (8.5 ppm) ve karotenoid (20.7 ppm) içeriği ile açıklanabilen sarımsı bir renk ile karakterize edilir (Løje vd., 2003: 232; Çakmakçı vd., 2022: 36; Abdel-Aal vd., 2002:455).

Hamurun viskoelastik özellikleri, buğday depo proteinleri olan gluteninler ve gliadinler tarafından belirlenmektedir. Monomerik gliadinler esas olarak hamurun viskozitesine katkıda bulunur. Siyez buğdayının protein içeriğinin diğer buğday türlerine göre daha yüksek olduğu, ancak gliadin ve glutenin oranlarının daha düşük olduğu belirlenmiştir (Taenzler vd., 2002: 131; Adıgüzel, 2019: 27).

*Triticum* türlerinde boyutlarına göre; A-tipi (12-24  $\mu$ m) ve B-tipi (5  $\mu$ m) olmak üzere iki nişasta granül tipi bulunur ve A-tipi granülleri, nişasta kütlelerinin büyük çoğunluğunu oluşturur. Einkorn A-tipi granülleri (13.2  $\mu$ m) ekmeklik buğdayın granüllerine (23,8  $\mu$ m) kıyasla daha küçüktür ve bu nedenle jelatinleşme, yapıştırma ve şişme özellikleri, enzim duyarlılığı ve çözünürlük gibi çeşitli un özelliklerini etkiler (Hidalgo ve Brandolini, 2019: 100).

Karotenoidlerden;  $\beta$ -Karoten,  $\alpha$ -karoten ve  $\beta$ -kriptoksantin provitamin A aktivitesine sahipken, zeaksantin ve lutein insanlarda retinanın maküler bölgesindeki (sarı nokta) başlıca karotenoidlerdir. Lutein alımı, yaşlı insanlarda geri dönüşü olmayan körlüğün önde gelen nedeni olan yaşa bağlı makula dejenerasyonu ve katarakt insidansının azalmasında etkilidir. Einkorn buğdayının lutein içeriği, ekmeklik buğdaya göre 4 kat daha fazladır (Giambanelli vd., 2013: 3490; Abdel-Aal vd., 2002: 455).

Siyez buğdayının amilaz ve lipoksigenaz aktivitesinin düşük olması, düşük glukoz ve insülin yanıtına neden olabilir. Siyez buğdayının kan glukoz, insülin ve iştah üzerine olan bu etkileri obezite, insülin direnci, tip 2 diyabet, kardiyovasküler hastalıklar gibi sağlık sorunlarının önlenmesinde ve

tedavisinde önemli potansiyel faydalar sağlayabilir. Bu nedenle tüketiminin yaygınlaştırılmasının bu tür hastalıklar açısından faydalı olabileceği belirtilmiştir (Işık ve Keser, 2020: 302).

Gıdaların tekstürel ve duyuşal özelliklerinin iyileştirilmesi ve ayrıca fonksiyonel özelliklerinin artırılması amacıyla; makarna (Brandolini vd., 2018: 62-63), erişte (Levent, 2019: 932) ve bebek mamalarında (Kızılaslan, 2020: 76) ikame tahıl olarak siyez buğdayı kullanımı araştırılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

## **Emmer**

Farro (İtalyanca kabuklu buğday) olarak da bilinen Emmer (*Triticum turgidum* ssp. *dicocum*), Orta ve Güney İtalya'nın sadece birkaç dağlık bölgesinde, organik tarım prosedürlerine uygun şekilde ve çok düşük miktarda azotlu gübre kullanılarak yetiştirilmeye devam edilmektedir (Békés vd., 2017: 361).

Emmer buğdayı, düşük yağ, kabul edilebilir protein ve vitamin içeriği, yüksek lif ve mineraller ile karakterize edilmektedir (Békés vd., 2017: 361).

Emmer tanelerinin ana bileşeni %52.7-56.8'lik oranı ile nişastadır. %10-12 toplam diyet lif (%85-88'i çözünmeyen fraksiyonlar), %2.7-2.8 lipit içermektedir. Protein oranı; buğdayın yetiştirildiği bölge, iklim şartları ve uygulanan kültürel tekniklere bağlı olarak değişmekle birlikte, %11.2-21.9 arasında tespit edilmiştir. Aminoasit profili, ekmeklik ve durum buğdayları ile benzerlik göstermektedir (Čurná ve Lacko-Bartošová, 2017: 119,121,122).

Sadece fotosentetik bitkiler tarafından sentezlenen, yağda çözünen antioksidanların bir sınıfı olan, E vitamini olarak tanınan ve tokoller olarak gruplandırılan tokoferoller ve tokotrienoller; sekiz kimyasal fraksiyondan ( $\alpha$ -tokoferol,  $\beta$ -tokoferol,  $\gamma$ -tokoferol,  $\delta$ -tokoferol ve bunların doymamış tokotrienoller:  $\alpha$ -tokotrienol,  $\beta$ -tokotrienol,  $\gamma$ -tokotrienol ve  $\delta$ -tokotrienol) oluşur. Emmer buğdayı kayda değer düzeyde  $\gamma$ -tokoferol,  $\gamma$ -tokotrienol,  $\delta$ -tokoferol veya  $\delta$ -tokotrienol içermez. Ancak, Tokotrienol/tokoferol oranı, emmer ve makarnalık buğdayda (sırasıyla 3.6 ve 3.5), spelt buğdayı ve yumuşak buğdaydan (2.0) çok daha yüksektir. Bu nedenle, bu oran, spelt buğdayı ve emmer ile durum buğdayı ve yumuşak buğday arasında ayırım yapmak için bir indeks olarak kullanılabilir (Čurná ve Lacko-Bartošová, 2017:123).

Emmer taneleri, özellikle; demir (34.1 mg/kg), çinko (22.8  $\mu$ g/kg) ve selenyum (150.6 - 325.8  $\mu$ g/kg) önemli seviyede içermektedir. Çinko konsantrasyonu (22.8 mg/kg) ise; siyez (22.4 mg/kg) ve spelt (22.9 mg/kg) buğdayları ile yakın oranlardadır (Čurná ve Lacko-Bartošová, 2017:125).

Kolit, alerji ve yüksek kan kolesterolü gibi çeşitli rahatsızlıkların tedavisinde fayda sağlayabilmekte ancak toksik epitopluları gluten polipeptitleri içerdiğinden çölyak hastalarının kullanımı için sakıncalıdır (Békés vd., 2017: 361).

Esas olarak çorbalarda kullanılmakla birlikte, beslenme açısından kaliteli bileşime sahip olması ve/veya fizyolojik özellikleri ve üretimi için kullanılan düşük girdili teknikler kullanılması nedeniyle, piyasada un, ekmek, kahvaltılık tahıllar, makarna ve krakerler dahil olmak üzere çok çeşitli emmer bazlı ürünler bulunmaktadır (Békés vd., 2017: 361; Coda vd., 2011: 526). Farklı tahıl unları ve Emmer buğdayı unu kullanılarak yoğurt benzeri içecek üretmek üzerine yapılan bir araştırmada, pirinç, arpa veya emmer unlarının karışımıyla yapılan içeceklerin, dokusal, besleyici ve duyuşal özelliklerin en iyi kombinasyonuna sahip olduğu tespit edilmiştir (Coda vd., 2012: 120).

## Spelt

Spelt (*Triticum spelta* L. syn. *Triticum aestivum* subsp. *spelta*), kültüre alınmış kabuklu buğdayların hekzaploid (42 kromozom) türüdür. Spelt buğdayı hekzaploid bir ataya sahip değildir ve yapılan araştırmalarda MÖ 6000 yıllarında Hazar bölgesinde, spelt buğdayının, kültüre alınmış emmer (tetraploid) ile *Aegilops tauschii* (diploid) çaprazlanarak üretilen bir allopoliploid olduğu belirlenmiştir (Cubadda ve Marconi, 2002: 153).

Son yıllarda, modern buğdaydan daha "sağlıklı", daha "doğal" veya daha az "aşırı yetiştirilmiş" bir tahıl olduğu algısı nedeniyle, spelt buğdayına olan ilgi artmıştır (Schober vd., 2006: 161).

*Triticum spelta* buğdayı; %62-67 karbonhidrat, %14.7-17 protein, %5.7-9.1 lif, %2.1-2.7 yağ, mineraller, vitaminler içermektedir. Yüksek oranda protein, lif ve fitokimyasallar içermesi nedeniyle, ekme ve diğer fırıncılık ürünlerinde kullanılabilme ve besinsel içerikleri artırılmış gıdaların bileşimine girme potansiyeline sahip bir tahıldır (Yüksel, 2019: 856).

Yaygın buğdaylardakine benzer şekilde, spelt buğdayında da esas bileşen nişastadır. Nişastanın jelatinizasyon sıcaklığının 87.0-93.2°C arasında olduğu belirlenmiştir (Cubadda ve Marconi, 2002: 160).

Spelt buğdayı, sahip olduğu yüksek gliadin ve düşük glutenin oranı nedeniyle, modern buğdaydan elde edilen glutenden daha fazla uzayabilme ve daha az elastikiyet kabiliyetine sahiptir. Bu nedenle spelt unundan elde edilen hamurlar daha zayıf tekstürel özellik ortaya koymaktadır. Bu nedenle; ekme ve türevleri, dürüm veya iki katlı pideler için yüksek dozda askorbik asit, daha kısa karıştırma süresi, daha az su ilavesi veya daha uzun hamur dinlenme süreleri, makarna için ise yüksek sıcaklıkta kurutma önerilmektedir (Schober vd., 2006:162).

Tahıl bazlı gıdalar, başlıca diyet lif kaynaklarından biridir ve önerilen lif tüketimi kişi başı 25 gr/gün'dür. İnsanlarda hipokolesterolemik ve hipoglisemik etkilerden sorumlu çözünür lif bileşenleri olan beta-glukanlar, spelt buğdayında düşük seviyelerde (%1.1) bulunur ve bu seviyeler modern buğdaylardakine yakın değerlerdedir (Escarnot vd., 2010: 858; Cubadda ve Marconi, 2002: 161).

Yapılan bir çalışmada, 5 farklı spelt buğdayı ile üretilen makarnaların kalite değerlendirmesi yapılmış, duyu ve kimyasal değerlendirmeler sonucu spelt buğdayının kaliteli makarna elde etmek için uygun olduğunu belirlenmiştir (Marconi vd., 1999: 25).

## Kamut

Kamut® Horasan, anavatanı Mısır olan eski bir buğday çeşidi olan Horasan buğdayının ticari markasıdır. Kamut® Horasan, tetraploid bir buğdaydır (*Triticum turgidum* ssp. *turanicum*) ve ayrıca makarna yapımında yaygın olarak kullanılan durum buğdayıdır (*Triticum durum* veya *Triticum turgidum* alt türü durum). Kamut, ağırlıklı olarak Kuzey Amerika'da yetiştirilmektedir. Son zamanlarda üretiminde artış vardır ve Tayland ve Avustralya'da özel lisans koşulları altında üretilmektedir. Pazara olan ilgi nedeniyle Avrupalı, özellikle İtalyan çiftçiler, pazarın artması nedeniyle Kamut ekimine yönelmişlerdir. (Békés vd., 2017: 361; Taneyo-Saa vd., 2014: 237).

Ekme buğdayla karşılaştırıldığında dokuz mineralden sekizini daha fazla miktarda içerir; Protein oranı %40 ve esansiyel amino asit içeriği de %65 daha fazladır. Lipit ve yağ asidi içeriği de ekme buğdaya göre daha fazladır. Karbonhidratlardan daha fazla enerji üreten daha yüksek lipit yüzdesi nedeniyle Kamut markası 'yüksek enerjili tahıl' olarak tanımlanabilir (Békés vd., 2017: 362).

Kamut® Horasan ekmeğinin fareleri oksidatif stresten tam tahıllı durum buğdayına kıyasla daha fazla koruduğu ve fermantasyon sürecinin, ekmeğin bu korumayı sağlama yeteneğini etkilediği belirlenmiştir (Taneyo-Saa vd., 2014: 237).

Kamut marka buğday, kahvaltılık tahıl, ekmeğe, kurabiye, atıştırmalık, waffle, krep, ekmeğe karışımları, unlu mamüller, kuskus, bulgur, hazır ve dondurulmuş yemeklerde kullanılabilir. Kamut marka buğday, aynı zamanda, doku ve lezzet bakımından diğer tüm tam tahıllı makarnalara kıyasla, daha üstün ve kaliteli bir son ürün verir. Gluten kalitesinin yüksek olması nedeniyle Kamut makarnası, sertliğini kaybetmeden dondurulabilir ve tekrar ısıtılabilir (Békés vd., 2017: 362).

## Sorgum

Sorgum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Afrika ve Asya'da yetiştirilen tropikal bir tahıldır. Gramineae familyasına ait  $2n=20$  kromozomlu bir diploiddir. Taneleri, kavuzsuz, yaklaşık 4 mm uzunluğunda, tohum ucunda biraz yassılaştıran, aşağı yukarı küresel şekillidir. 1000 tane ağırlığı 25-35 g arasında değişir. Tane rengi beyazdan siyaha kadar değişir, kırmızı ve kahverengi tonları da yaygındır. Tane rengi, elde edilen un rengi üzerinde etkilidir (Ratnavathi ve Komala, 2016: 1; Arendt ve Zannini, 2013: 283; Anyango ve Taylor, 2019: 137, 138).

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) verilerine göre; 2020 yılında dünya genelinde yetiştirilen toplam sorgum miktarı 58705915 tondur. Yetiştirici ilk 5 ülke; ABD, Nijerya, Etiyopya, Hindistan ve Meksika olup, bu ülkeler toplam üretimin %52'lik kısmını gerçekleştirmektedir (FAOSTAT, 2022). Sorgum, insan gıdası ve hayvan yemi olarak değerlendirilir (Ratnavathi ve Komala, 2016: 28)

Yetiştirilen sorgumun beş temel ırkı (bicolor, gine, caudatum, kafir ve durra) ve 10 ara ırk (gine-bicolor, caudatum-bicolor, kafir-bicolor, durra-bicolor, gineacaudatum, gine-kafir, gine-durra, kafir-caudatum, durra-caudatum ve kafir-durra)'ın tümünde spikelet/salkım morfolojisi gözlemlenir (Upadhyaya vd., 2015: 28)

Sorgumun temel anatomik bileşenleri; perikarp (%8), germ (%10) ve endosperm (%82)'dir. Perikarpı oluşturan dış katmanlar lif açısından zengindir, endosperm çoğunlukla nişasta ve protein ile düşük miktarda yağ ve lif içerirken embriyo özellikle ham protein, yağ ve kül açısından zengindir. (Ratnavathi ve Komala, 2016: 6; Arendt ve Zannini, 2013: 292).

Protein içeriği %6-20 arasında değişmektedir. Toplam proteinin; albümin ve globülinler %15-30, glutelinler %4-35 ve kafirinler olarak adlandırılan prolaminler ise %50-70'ini oluşturur. Kafirin, sorgumun depo proteindir ve  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  tipleri vardır. Sorgum, dünyanın en yoksul nüfusunun çoğunun temel gıda maddelerinden birisi olup, önemli bir enerji kaynağıdır. Ancak, ekmeğe yapımında, glutensiz olması nedeniyle daha az hacim, sert doku ve zayıf duyuşal özellikler gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Ekşi maya fermantasyonu ile geleneksel olmayan unların ve baklagillerin duyuşal ve pişirme özellikleri geliştirilmiştir ve bu sayede özellikle gelişmekte olan ülkelerde çekici lezzet ve dokuya sahip besleyici gıdalar üretilmektedir. Bununla birlikte sorgumun gluten proteinini içermemesi, çölyak hastalığı olanlar için talep edilen bir buğday ikamesi olmasını sağlamaktadır (Bean vd., 2019: 132, 134, 135; Taylor ve Belton, 2002: 30; Olojede vd., 2020: 1; Dube vd., 2020: 164).

Lipitlerin oranı %2.1-6.6 arasında değişmektedir ve çoğunlukla embriyoda bulunurlar. Üç ana lipid grubu; polar olmayan lipidler, glikolipidler ve fosfolipidler olarak sınıflandırılabilir.

Tanede çözünür lif, hemiselüloz ve selüloz %1.1-1.2, çözünmeyen lif %6.5-7.9, çözünür  $\beta$ -D-glukan %1.1-1.23 ve pentosan %1.3 oranında bulunur. Diyet lifi tüketiminin koroner kalp

hastalığı, felç, hipertansiyon, diyabet, obezite ve bazı gastrointestinal bozukluklar gibi problemlere karşı insan sağlığını korumada sağladığı faydalar yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur (Arendt ve Zannini, 2013: 294; Kulathunga ve Simsek 2022: 1).

Sorgum kullanılarak tam tahıllı ürünler, ekmekler ve krepler, köfte ve kuskus, biralar, alkolsüz fermente içecekler ve damıtılmış alkollü içkiler gibi gıdalar üretilmektedir (Taylor ve Belton, 2002: 48).

## Millet (Darı)

*Poaceae* familyasına ait çeşitli küçük taneli türleri içeren darı, insanlar için yaklaşık 10000 yıldır bir besin kaynağı olmuştur (Dias-Martins vd., 2018: 176).

Darı, *Poaceae* familyasına ait küçük tohumlu tahıllardır. Bunlar genel olarak Major ve Minör darı şeklinde iki gruba ayrılır: Major darılar; inci (pearl millet) (*Pennisetum glaucum*), kum (proso millet) (*Panicum miliaceum*), ragi (finger millet) (*Eleusine coracana*) ve cin (foxtail millet) (*Setaria italica*) darılarıdır. Minör darılar ise; barnyard (barnyard millet) (*Echinochloa colane*), küçük (little millet) (*Panicum miliare*), kodo (kodo millet) (*Paspalum scrobiculatum*), siyah fonio (*Digitaria iburua*), beyaz fonio (*Digitaria exilis*) ve teff (*Eragrostis tef*) darılarından oluşur (Mahajan vd., 2021: 62). İnci darı ve fonio'nun Batı Afrika'da ve ragi darı ve teff'in Kuzeydoğu Afrika'da ortaya çıkmış olması muhtemeldir (Taylor, 2017: 58).

Darı üretimi ile ilgili veriler incelendiğinde, 2020 yılında toplam üretim 30463642 tonluk miktar ile 78 ülkede gerçekleştirilmiştir. Bu ülkelerden Hindistan, 12490000 ton (%41) üretim ile ilk sırada yer alırken, onu; Nijer, Çin, Nijerya ve Mali takip etmektedir ve toplam üretimin %72.94'ü bu 5 ülkelerde gerçekleştirilmiştir. Bölgeler özelinde bakıldığında ise, üretimin neredeyse tamamı (%96.98) Asya ve Afrika'ya aittir (FAOSTAT, 2022).

Darı taneleri; en büyüğü, bin tane ağırlığı yaklaşık 8-10 g olan inci darısı ve en küçüğü, bin tane ağırlığı yalnızca 0.3-0.4 g arasında olan tef olup, boyutları türler arasında büyük farklılıklar gösterir. Tane rengi; hem türler arasında hem de tür içinde farklılık gösterir. Koyu tane renklerinden antosiyanın tipi pigmentler sorumlu olduğundan, renk, tanenin içerdiği polifenolik fitokimyasalların içeriği ile ilişkilidir (Taylor, 2017: 60, 62).

Pirinç ve yulaf haricindeki çoğu tahıldaki gibi, prolamin depo proteinleri, fonio haricindeki (ana protein glutelinler) başlıca darı türlerinde ana protein fraksiyonudur. Toplam tane proteinleri içerisindeki prolaminlerin oranları, ragi, cin, inci, kum darılar ve tefde sırasıyla yaklaşık olarak; %42, %76, %43, %58 ve %41 olarak belirtilmiştir (Taylor, 2017: 66).

Genellikle mısır, buğday, pirinç ve sorgumda eksik veya düşük olan, insan sağlığı için hayati önem taşıyan amino asitler olan metiyonin ve sistin amino asitlerini yüksek düzeyde içerirler. Metionin seviyesi ve sindirilebilirliğinin yüksek olması, bu darıları insan dahil tek mideli hayvanlar için değerli gıda maddeleri haline getirir (Obilana ve Manyasa, 2002: 177).

**Kum Darı (Proso Millet):** Kum darı (proso millet); %60-70 nişasta, %11'e kadar protein, %2-7 arasında diyet lifleri içerir. Kalsiyum, demir ve magnezyum gibi mineraller açısından zengindir. Aynı zamanda, metionin ve sistein gibi kükürt içeren esansiyel amino asitler ve B kompleksi gibi vitaminler (özellikle niasin ve folik asit) bakımından zengindir, buna karşılık lisin sınırlı düzeydedir. Kum darı nişastasının fonksiyonel ve fizikokimyasal özelliklerinden kaynaklı üstün yapılaşma niteliği, onları gıda bağlayıcı ve kıvam arttırıcı olarak kullanma olanağı sağlamaktadır. Kum darı; açık rengi, hafif aroması ve glutensiz yapısı nedeniyle, çölyak hastaları için unlu mamuller üretmek amacına uygun bir tahıldır. Düşük glikemik indeks, düşük kolesterol ve glutensiz gıdalara

olan talepteki artış, gıda endüstrisini, darı gibi alternatif gıda kaynaklarını kullanmaya zorlamaktadır (Bangar vd., 2021: 960, 961)

Dünya genelinde yetiştirilen darının yaklaşık %80'i gıda olarak, geri kalanı ise yem, bira ve kuş yemi olarak kullanılmaktadır. Darı günümüzde Kuzey Amerika ve Avrupa'da bazı gıdaların üretiminde formülasyonlara dâhil edilerek kullanılırken, yarı kurak tropikal Asya ve Afrika ülkelerinde ise ekmek gibi geleneksel birçok ürünün ana bileşeni olarak kullanılmaktadır. Pek çok gluten içermeyen unlu mamullerde, özellikle bebek mamaları ve tahıl bazlı gıdalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Bangar vd., 2021: 961; Boz, 2014: 141; Obilana ve Manyasa 2002: 177, 189).

Başlıca darı çeşitlerinden bazılarının genel özellikleri aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır.

**İnci Darı (Pearl Millet):** Darılar içerisinde dünya genelinde en yaygın yetiştirilen darı, “inci darı” (pearl millet)’dir (Obilana ve Manyasa, 2002: 179). Yaygın tahılların en besleyicilerinden biridir. %4-7 arasında yağ içeriği ile çoğu tahıldan daha fazla yağ içermektedir. Protein verimliliği ve proteinlerin biyolojik değeri %83 ve sindirilebilirlik katsayısı %89 olarak belirlenmiştir. Vitamin içeriği nispeten yüksek olmakla birlikte mısıra oranla daha düşüktür. Çoğunlukla embrio kısmında olmak üzere, yüksek miktarda fosfor, demir ve kalsiyum içerir (Obilana ve Manyasa, 2002: 191)

**Ragi Darı (Finger Millet):** Ragi darı tanesi 1-2 mm çap ile, inci darı tanesinden daha küçük boyuta sahiptir. Tohum kabuğu endosperme sıkıca satılmıştır ve tane yumuşak, kırılındır. Ragi darı, diğer tahılların çoğundan daha besleyicidir ve mineraller açısından zengin olduğu kabul edilir. Toplam külün %11.7 – 14.6'sı kalsiyum (en yüksek bileşen) olmak üzere yüksek düzeyde potasyum, demir, magnezyum, bakır, sodyum ve fosfor içermesinden dolayı eşsiz ve zengin bir mineral kaynağıdır. Çok yüksek metionin içeriği nedeniyle (proteinin %2.7-%3.7'si) özellikle vejeteryenler için ve kükürt içeren amino asitlerin eksikliğinin görüldüğü bölgelerde değerlidir. İnsan sağlığı ve büyümesinde önemli olan ve çoğu tahılda eksik olan iyi miktarda triptofan, sistin, metionin ve toplam aromatik amino asitleri yapısında bulundurur. Beyaz taneli ragi darının %12.3 protein içeriğine sahip olduğu ve tanen içermediği, kahverengi taneli ragi darının ise %8.7 protein ve %2.4 tanen içerdiği tespit edilmiştir. Ragi darı, yaklaşık %2.5 lizin, %1.3 triptofan, %2.9 metionin, %3.1 treonin, %7.8 lösin ve %4.0 izolösin ile tahıl tanesi için dengeli bir amino asit içeriğine sahip protein profili sergiler. Ragi darıdaki toplam tane ağırlığının %70-76'sını karbonhidratlar oluşturur ve yaklaşık olarak %61.8 nişasta, %7.9 selüloz, %0.8 indirgen şeker, %0.5 dekstrin ve %4.9 pentosan içerir (Obilana ve Manyasa, 2002: 189, 196, 197).

**Fonio:** Beyaz fonio (*Digitaria exilis*) ve siyah fonio (*Digitaria iburua*) olmak üzere iki çeşidi vardır. Besleyicilik değeri en yüksek tahıllardan biridir. Tane yaklaşık 1.0 mm uzunluğunda ve 0.75 mm genişliğindedir. Ortalama; %8.4 protein, %75 karbonhidrat, %2.6 lipit, %3.4 kül ve %18.2 diyet lif içermektedir. Tohumu buğday, pirinç, mısır veya sorgumda bulunmayan, insan sağlığı için önemli esansiyel amino asitler olan metiyonin, lösin, valin ve sistin bakımından zengindir. Fonio nispeten düşük serbest şekere ve düşük glisemik içeriğe sahiptir ve diyabet hastaları için uygun bir gıdadır. Toplam protein içeriğinin %60'ını glutelinler oluşturur. Buğdaydan daha az (%8.4) protein içermesine rağmen, gliadin proteinlerini içermediğinden dolayı, çölyak hastalarının diyetine girme potansiyeline sahip olması fonioya olan ilgiyi artırmaktadır. Yaygın tahıllarda eksikliği hissedilen metionin ve sistein aminoasitleri bakımından zengindir. Toplam yağ asitlerinin büyük çoğunluğunu oleik asit (%30.6), linoleik asit (%45.7), linolenik asit (%0.8) ve palmitoleik asit (%0.3) oluşturur. Oldukça yüksek seviyede luteolin (150 µg/g) ve apigenin (350 µg/g) türevi flavonoidleri içermektedir. Yaygın tahıllar ile kıyaslandığında, mineral içeriği bakımından da avantajlı bulunmaktadır. Buğday ve fonio karşılaştırıldığında; fonionun demir (3 kat), magnezyum (2-3 kat), sodyum (10 kat) ve kalsiyum içeriklerinin daha fazla olduğu bildirilmiştir. Besinlerle alınan mineral maddelerin biyoyararlılığının azalmasına neden olan fitat içeriğinin düşük olması da bir diğer avantajıdır (Karahan vd., 2019: 523, 525, 526).

## Tef

Teff [*Eragrostis tef* (Zuccagni) Trotter], Poaceae familyasının *Eragrostis* cinsine ait tropikal bir tahıl olup Etiyopya ve Eritre'ye özgü en önemli yerel bir gıda kaynağıdır. *Eragrostis* cinsinde yaklaşık 350 tür bilinmesine rağmen teff ekimi yapılan tek türdür. Ekimi 3000 B.P.'ye kadar uzandığı için antik tahıl olarak kabul edilmektedir. Kuraklığa oldukça dayanıklı olan teff üretiminin büyük bir bölümü (~%90) Etiyopya'da gerçekleşmektedir. Teff ayrıca yaygın olarak "tef" şeklinde de yazılmaktadır (Barretto vd., 2021: 3125; Nascimento vd., 2018: 74; Zhu, 2018: 403). Son yıllarda, yüksek besin özellikleri nedeniyle dünya çapında teffe olan ilgi artmaktadır. Yetiştiriciliği, ABD, Hindistan ve Avustralya gibi dünyanın diğer bölgelerinde de başarıyla yapılmaktadır. Tef tanesi glutensizdir ve çölyak hastalığı olan insanlar için birçok yiyecek/içecek formülasyonunda kullanılma potansiyeline sahiptir. Tef çok küçük tane boyutuna sahip olduğu için öğütme ürünleri tam tahıl ürünleri olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle, kepek bileşenlerinin dahil edilmesinden dolayı tef unu lif açısından oldukça zengindir. Aynı zamanda tef, polifenoller gibi biyoaktif bileşiklerin de kaynağıdır. Eşsiz kimyasal bileşimi ve tam tahıl formunun bir sonucu olarak, tef ile birçok sağlık yararı ilişkilendirilmiştir. Örneğin, tef in vitro anti-oksidatif aktiviteler göstermiş ve insan vücudundaki hemoglobin seviyesini iyileştirebileceği; sıtmayı, anemi ve diyabet insidansını önlemeye yardımcı olabileceği vurgulanmıştır. Bu tür sağlık etkileri ve besleyiciliği nedeniyle, son yıllarda laboratuvarlarda tef bazlı yiyecek/içecek ürünleri üretmek için birçok çalışma yapılmaktadır (Zhu, 2018: 403). Tef unu Etiyopyada, injera, kitta, chibito ve anebabro olarak adlandırılan farklı ekmek çeşitlerinin yapımında kullanıldığı gibi tella (düşük alkol içerikli geleneksel bira), katikala/arake ve shamit (spirit) gibi geleneksel alkollü içeceklerin yapımında da kullanılmaktadır (Karahan ve Kılınççeker, 2019: 129).

Tefin kalitesi genellikle besin bileşimine ve renk özelliklerine göre değerlendirilmektedir (Abewa vd., 2019: 2). Etiyopya Standart Ajansı (ESA) tef tanelerini renklerine göre; çok beyaz, beyaz, karışık ve kahverengi olarak sınıflandırmıştır. Gıda üretiminde daha çok, çok beyaz ve beyaz renkli olanları tercih edilmektedir (Barretto vd., 2021: 3126). Tef taneleri oval şekilli, 0.7–1.0 mm çap ve 0.9–1.7 mm uzunluğa sahip en küçük tahıllardan biridir (Bultosa, 2016: 211). Tanelerin hacimsel ve iç ağırlıkları sırasıyla 850-870 kg m<sup>-3</sup> ve 0.2-0.4 g arasında değişmektedir (Bultosa, 2007: 2044; Belay vd., 2009: 837). Tef tanesi; embriyo, perikarp ve endosperm tabakalarından oluştuğu için diğer tahıllara benzemektedir. Ayrıca proteinler ve yağ asitleri açısından zengin tek katmanlı bir aleuron içerir. Tefin endosperm tabakası, daha az protein ve diğer tahılların nişasta granüllerinden tipik olarak daha küçük olan yüksek miktarda nişasta granülü içerir (Serna-Saldivar ve Espinosa-Ramirez, 2019: 93).

Tef tanesinin %73'ü karbonhidratlardan oluşmaktadır ve bunun neredeyse tümü nişastadır. Tef nişastasının granülleri çok küçük, pürüzsüz ve üniform boyutta olduklarından, diğer küçük granül nişastalara benzer şekilde bir yağ ikamesi ve bir tat ve aroma taşıyıcı olarak kullanılabilir. Aynı zamanda, yavaş retrogradasyon eğilimi nedeniyle, fırınlanmış ve soğutulmuş yiyecekler gibi nişasta bayatlamasının daha yavaş olmasının tercih edildiği gıdalarda kullanılabilir (Bultosa, 2016: 212). Diğer tahılların aksine, tef tanelerinin embriyo tabakası tanenin daha büyük bir kısmını oluşturur ve lipidler ve protein bileşikleri açısından oldukça zengindir (Bultosa, 2007: 2042).

Protein tefte en çok bulunan ikinci bileşendir ve ortalama %10.4 oranında bulunmaktadır (Bultosa, 2007: 2044). Tef içerisindeki depo proteinleri; glutelinler (%44.55) ve albuminler (%36.6)'dir. Tef taneleri, sekiz esansiyel amino asidi (izolösin, lösin, metiyonin, lisin, fenilalanin, treonin, triptofan ve valin) de içermektedir. Esansiyel amino asitler çocuk gelişiminde önemli unsurlardır. Diyete katılan tef ile özellikle çocuklar için günlük gerekli miktarların rahatlıkla sağlanabileceği bildirilmiştir. Ayrıca tefin protein sindirilebilirliği yüksektir, çünkü ana protein

fraksiyonları en sindirilebilir tiplerdir. Ana protein fraksiyonları lisin bakımından zengindir, gluten içermemektedir. Önemli miktarda prolamin içermesine rağmen, depo protein grubu çölyak hastaları için toksik etkiye sahip değildir (Karahan ve Kılınççeker, 2019: 130; Gebremariam vd., 2012: 2884-2885).

Tef tanesinin yağ içeriği, toplam tane ağırlığının yaklaşık %2-3'ü kadardır ve mısır, yulaf, darı ve sorgum gibi diğer tahıllardan daha düşük seviyelerdedir. Serbest yağ asitlerinin çoğu, doymamış (%84) yağ asitleridir. Başlıca doymamış yağ asitleri linoleik asit (%50) ve oleik asittir (%29). Tef özellikle mineral madde bakımından zengin olup, bu grubun oransal değeri %2.8-3.4 arasındadır. Mineraller içerisinde ise en yüksek oranda olanlar beslenmede önemli sayılan demir, kalsiyum ve sodyumdur (Karahan ve Kılınççeker, 2019: 131).

Tef tanesi, demir ve çinko emiliminin güçlü inhibitörleri olan fitik asit ve diğer inositol fosfattan %1'den daha az (528-842 mg/100 g) içermektedir (Umeta vd., 2005: 806-813). Tefde bulunan vitaminler tiamin (0.390 mg/100 g), riboflavin (0.270 mg/100 g), niasin (3.363 mg/100 g), pridoksin (B6) (0.482 mg/100 g), A vitamini (9 IU), alfa tokoferol (E vitamini) (0.08 mg/100 g) ve K vitamini (1.9 ug/100g)'dir (Karahan ve Kılınççeker, 2019: 131). Bu nedenle vitamin içeriği artırılmış gıdaların üretilmesinde ve geliştirilmesinde tef önemli bir alternatif bitki olarak gözükmemektedir.

Tef tohumu antioksidan özellikteki fenolik maddeler bakımından da zengin sayılır. Tefte bulunan fenolik maddeler 600-700 mg CE (kateşin eşdeğeri) / 100 g arasındadır (Salawu vd., 2014: 5-7). Polifenol bileşimi çeşide bağlıdır. Kahverengi tefte bulunan fenolik bileşiklerden en önemlileri fenik ve gallik asitler, kuersetin ve kateşin iken, beyaz tefde ise fenik asit, rutin, kateşin ve kuersetindir (Kotaskova vd., 2016: 15).

Yukarıda bahsedilen özelliklerinden dolayı çeşitli sağlıklı gıda hazırlama formülasyonlarında kullanılabilmesi açık olan tef unu veya türevleri; ekmek (Collar, 2016: 32), injera (Assefa vd., 2018: 155), kurabiye (Inglett vd., 2016: 72), muffin (Valcarcel vd., 2012: A-58), makarna (Giuberti vd., 2016: 374), malt içeceği (Gebremariam vd., 2015: 2881) ve kek-büskivi (Coleman vd., 2013: 877) gibi gıdaların üretiminde kullanılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır.

## **PSEUDO-TAHILLAR (YALANCI TAHILLAR, TAHILIMSILAR)**

### **Karabuğday**

Karabuğday, dünya genelinde tohumları için ve yeşil yaprakları için yetiştirilen Polygonaceae familyasının Fagopyrum cinsine ait olan, dikotiledon (çift çenekli) bir bitkidir. Bu nedenle tahıl grubuna dahil olmasa da benzer kimyasal bileşimi ve kullanımı nedeniyle tahıl benzeri (pseudocereal) olarak adlandırılır (Karahan ve Kılınççeker, 2020: 158). Karabuğday, geçmişi çok eskilere dayanan bir bitki olup Orta Asya kökenlidir. İlk olarak Çin ve Japonya'da yetiştirilmeye başlanan bu bitki daha sonra Rusya ve Avrupa'ya yayılmış ve oradan da 17. yüzyıl başlarında Amerika'ya ulaşmıştır. Tarlada hızla büyüyen, geniş yapraklı, tek yıllık bir bitkidir. Mart sonunda veya Nisan başında 20-25 cm ara ile ekilen ve tohumları Eylül-Ekim aylarında hasat edilen karabuğday bitkisinin boyu yetiştirme koşullarına göre 60-120 cm arasında değişir. Bitkiler tek köke sahip olup üzerinde daha küçük dallar bulunur. Yapraklar düz olmayan üçgen şeklinde bir görünüme sahiptir. Çiçekler ise beyaz, pembe veya kırmızıdır (Şekil 2). Çiçekleri kokuludur ve bal arılarının nektar toplaması için çok caziptir. Karabuğdaydan üretilen bal koyu renklidir ve güçlü bir tat ihtiva eder (Dizlek vd., 2009: 318-319).





Şekil 2. Karabuğday Bitkisi (Dizlek vd., 2009: 318)

Yaygın karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench) ve Tatar karabuğdayı (*Tatary Buckwheat Fagopyrum tartaricum* Gaerth) gıda kaynağı olarak en çok yetiştirilen karabuğday türleridir (Dizlek vd., 2009: 319). Tatar karabuğdayı daha çok Çin'in güney batısında; yaygın karabuğday türü ise Çin'in kuzeyinde yetiştirilir (Peng vd., 2012: 5). Karabuğday Türkiye'de kültürü yapılmayan; ancak dünyanın birçok ülkesinde üretilen, ekonomik değeri yüksek olan, aynı zamanda tüketimi her geçen gün artan ve çok yönlü kullanım alanına sahip bir bitkidir. Karabuğdayın güçlü bir ekolojik uyumu olduğu için farklı yaşam ortamlarında hemen hemen her yerde yetişebilir fakat esas olarak kuzey yarım kürede olmak üzere; Çin, Rusya, Ukrayna, Kazakistan, Polonya, Brezilya, ABD, Kanada ve Fransa'da yetiştirilmektedir (Hayıt ve Gül, 2015: 124).

Sindirilebilir karbonhidratlar, %58-73 oran ile karabuğday tohumlarının ana bileşenleridir ve bunun da %54.5'i de esas olarak nişasta formunda bulunur. Karabuğdayın protein içeriği yaklaşık %12'dir. Tahıllarda, ana depo proteinleri prolaminler iken, karabuğdayda ise globulinlerdir. İçerdiği esansiyel amino asitler ile birlikte dengeli bir amino asit profili sergilemesi nedeniyle karabuğday, biyolojik değeri yüksek proteinin en iyi kaynaklarından birisidir. Yumurta proteininin biyolojik değeri (100) referans alındığında, karabuğdayın içerdiği proteinin biyolojik değeri (93), soya fasulyesi proteini (68) ve buğday proteini (63)'ne kıyasla oldukça iyi bir seviyededir. Karabuğday tanesinde lipidler, embriyoda yoğunlaşmıştır. Oleik, linoleik, palmitik, linolenik, ligoserik, stearik, behenik ve araşidonik asit, karabuğdaydaki toplam yağ asitlerinin %93'ünü oluşturur. Karabuğday zengin bir mineral içeriğine sahiptir. Diğer tahıllara göre Mg, Zn, K, P, Cu ve Mn seviyeleri oldukça yüksektir. Karabuğday unu; nişasta, protein gibi temel bileşenlerin yanında rutin, kuersetin, orientin, viteksin, isoviteksin ve isoorientin gibi flavonoidler, fitosteroller, fagopirinler, D-kiroinositol, myoinositol, fenilpropanoid glikozidler, serbest ve bağlı fenolik esitler ve proantosiyanidinler gibi terapötik (tedavi edici) bileşenler açısından zengin olması nedeniyle, sağlıklı tahıl bazlı ürünlerin geliştirilmesi için geniş bir kullanım alanı sağlar (Karahan ve Kılınççeker, 2020: 158-159). Karabuğday tohumları, çölyak hastaları için toksik olan prolamini iz miktarda içermesi nedeniyle bu hastalar ve gluten intoleransı olan kişiler tarafından rahatça tüketilebilmektedir (İnanır vd., 2019: 715). Diyet lifi açısından zengin bir kaynak olan karabuğdayın 100 g'ında 6.77 g toplam diyet lifi mevcuttur. Çözünmeyen diyet lifi, su tutma kapasitesi ve viskoziteye olan etkisi ile ilişkili olarak bağırsağın peristaltik hareketini iyileştirirken, çözünür diyet lifi bazı laktik bakteriler ve *Bifidobacteria* suşları için prebiyotik etki göstermekte, plazmatik kolesterolü düşürmekte, diyabet ve obezite riskini azaltmaktadır (Yaver ve Bilgiçli, 2020: 44).

Günümüzde karabuğdaya olan ilgi sağlıklı bir gıda olması ve organik tarım için alternatif bir ürün olarak kullanılabilmesi nedeniyle artmıştır.

Çok yönlü kullanım alanına sahip olan karabuğday: "soba", "kasha", "porridge", "crumpet", "naengmyeon" ve "pizzoccheri" gibi farklı kültürlerle ait birçok yöresel ürünün; kek, ekmek,

makarna, şehriye, muffin, kraker, kurabiye, krep, tortilla gibi temel gıda maddelerinin üretiminde, çorbalarda, pudinglerde, tatlılarda, kümes hayvanlarının içinin doldurularak pişirilmesinde, konserve et ve sebze ürünleri ile birlikte, dondurma külahı yapımında, pilav gibi çeşitli yemeklerin yapımında kullanılır (Dizlek vd., 2009: 317). Çin’de çoğunlukla pilav olarak tüketilmesi yanında karabuğday unu jeli olarak da tüketilmektedir (Jianmin ve Rongli, 1992: 511-513). Karabuğdayın yeşil ve kuru ot kısımları da hayvan beslenmesinde kullanılabilir (Kara ve Yüksel, 2014: 296).

## **Kinoa**

Kinoa olarak bilinen *Chenopodium quinoa* Willd. Kazayağgiller (Chenopodiaceae) familyasından tek yıllık bir bitki olup, son yıllarda insan ve hayvan beslenmesi açısından ele alınıp üzerinde yoğun çalışmalar yapılan bir türdür (Dağ ve Özkan, 2019: 310). Günümüzde pek çok Latin Amerika ülkesinin kültürel miras olarak benimsediği ve yaklaşık 7000 yıldır yetiştirilmekte olan kinoanın (*Chenopodium quinoa* Willd.) tarih sahnesine çıkışı, Güney Amerika’nın And Dağları bölgesi dolaylarında hüküm sürmüş hispanik dönem öncesi uygarlıkların tarımsal faaliyetlerine dayanmaktadır. Bolivya ve Peru, dünya genelindeki kinoa üretiminin yaklaşık %88’ini sağlamakla birlikte Ekvador, Şili, Arjantin ve Kolombiya’da da kinoa tarımı yapılmaktadır. Mevcut durumda kinoanın yaklaşık 250 türe karşılık gelen çeşitlilikte bir genotipe sahip olması, farklı toprak türleri ve abiyotik stres faktörlerine (don, kuraklık, tuzluluk, yüksek enlem vb.) adapte olabilmesini mümkün kılmaktadır. Kinoa, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization of the United Nations-FAO) tarafından 21. yüzyılda sürdürülebilir beslenmeyi destekleyecek besinlerden biri olarak gösterilmiş; tarımının yapılması ve araştırılmasını teşvik etmek amacıyla 2013 yılı, organizasyon tarafından “Uluslararası Kinoa Yılı” ilan edilmiştir (İlkay ve Mutlu, 2020: 93).

Çift çenekli ve geniş yapraklı bir bitki olan kinoa, tahılların temel özelliklerini taşımasına rağmen, tek çenekli buğday, arpa, pirinç gibi geleneksel/gerçek tahılların dahil olduğu Gramineae (buğdaygiller) familyasına ait değildir. Tohumlarının olması ve öğütülebilmesi nedeniyle “psödo-tahıl” olarak ifade edilen kinoadan literatürde bazen “psödo-yağlı tohum” olarak da bahsedilmektedir. Kinoanın yaprak ve tohumları yenilebilir olmakla birlikte, bilimsel ve ekonomik yönüyle araştırmalarda büyük çoğunlukla kinoa tohumları konu edilmektedir (Filho vd., 2017: 1618).

Kinoa, protein kalitesi anlamında pek çok tahıla üstün gelen yönüyle alternatif bir protein kaynağı olarak sunulmaktadır (Filho vd., 2017: 1619; Vilcacundo ve Hernández-Ledesma, 2017: 1). Uygun elzem aminoasit kompozisyonuyla birlikte kazein proteini ve tam yağlı süt tozunun kalitesi derecesinde yüksek kaliteli protein sağlayan birkaç bitkisel besinden biridir. Kuru madde üzerinden protein konsantrasyonu %13.8-16.5 arasında değişen kinoanın protein içeriği ortalama %15.0’tir. Söz konusu değer, arpa (%11.0), çavdar (%11.6), pirinç (%8.8), sorgum (%12.4) ve mısırın (%10.5) protein içeriğinden yüksek olup; buğdayın protein içeriğine (%14.8) yakındır (Filho vd., 2017: 1620). Depo proteinlerinin büyük çoğunluğunu albuminler (2S) ve globülinler (11S) oluştururken (sırasıyla %35, %37); prolaminler düşük konsantrasyonda bulunmakta ve oranları kinoa türleri arasında farklılık göstermektedir (Filho vd., 2017: 1620; Lutz ve Bascañán-Godoy, 2017: 41). Prolamini düşük konsantrasyonda içeren ve gluten içeren tahıllarla filogenetik bağının uzak olması nedeniyle glutensiz tahıl olarak kabul edilen kinoanın, glutensiz ürünler tanımına (gluten içeriği <20 mg/kg) uygun olduğu gösterilmiş; çölyak hastalarının beslenmesinde alternatif bir besin olarak yer alabileceği savunulmuştur. Ancak yine de kinoanın gliadine özgülü T hücre hatlarını ve ilgili immün yanıtları uyarma potansiyeli araştırılmaktadır (Lutz ve Bascañán-Godoy, 2017: 41).

Kinoa; B, C ve E vitaminleri içeriği yönünden zengindir. Özellikle  $\alpha$ -tokoferol içeriğinin yüksek olması, yağ içeriği ve doymamışlık derecesi yüksek olan kinoanın lipid oksidasyonuna karşı

korunmasında önemli bir avantaj olarak değerlendirilmektedir. Farklı tahıllarla karşılaştırıldığında, kinoanın riboflavin, pridoksin ve folat içeriğinin daha yüksek; arpa ve yulafa kıyasla tiamin konsantrasyonunun ise düşük olduğu gösterilmiştir. Kinoa taneleri, geleneksel tahılların çoğuna kıyasla daha yüksek miktarda kalsiyum, magnezyum, potasyum, demir, bakır ve çinko içermektedir. Ayrıca kinoanın bileşimindeki kalsiyum, magnezyum ve potasyum mineralleri biyoyararlılık açısından uygun bir formda bulunurken; diğer geleneksel tahıllarla karşılaştırıldığında (1:7.8-54.0), kalsiyum:fosfor oranının (1:0.7-3.9) ideal aralıkta olduğu belirlenmiştir. Kinoanın demir içeriği de geleneksel tahıllara kıyasla daha yüksektir (Filho vd., 2017: 1623-1624; Lutz ve Bascuñán-Godoy, 2017: 42; Vilcacundo ve Hernández-Ledesma, 2017: 2).

Fitoekdisteroidler, fitosteroller, saponinler, skualen, peptitler, betalainler, izoflavonlar, flavonol glikozitleri, lektinler, polisakaritler, karotenoidler ve fagopritoller, kinoanın yapısındaki başlıca biyoaktif bileşikler olarak tanımlanmıştır. Kinoanın özellikle biyoaktif bileşiklerle ilgili kompozisyonu ve söz konusu bileşiklerin etkileri çevresel stres faktörlerine göre farklılaşmaktadır. Örneğin, tuz oranının yüksek olduğu bir çevrede yetiştirilen kinoanın fenolik içeriğinin ve antioksidan kapasitesinin arttığı; soğuk ve yağmurlu bir bölgede yetiştirilen kinoaya kıyasla sıcak ve kurak bir ortamda yetiştirilen kinoanın ise fenolik içeriği ve proksimat analizi bileşenlerinin (protein hariç) arttığı gösterilmiştir (İlkay ve Mutlu, 2020: 95).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Birleşmiş Milletler Üniversitesi (United Nations University-UNU) konsensusunun ilgili raporunda, insan beslenmesinde 100 g protein alımı için saptanan standart aminoasit profiliyle yapılan karşılaştırmaya göre, kinoanın aminoasit içeriğinin yetişkin bireylerin günlük gereksinme miktarlarını karşılayabilecek yeterlilikte (izolöysin %274'ü, lisinin %338'i, triptofanın %228'i, metionin ve sisteinin %212'si, fenilalanin ve tirozinin %320'si, treoninin %331'i, histidinin %180'i, valinin %323'ü) olduğu vurgulanmıştır (Bastidas vd., 2016: 3). Tahıllarda genellikle birinci derecede sınırlı olan lizin ve ikinci derecede sınırlı olan triptofanın yanı sıra kuru baklagillerde sınırlı olan kükürtlü aminoasitler kinoada yüksek konsantrasyonda bulunmaktadır (Filho vd., 2017: 1620; Vilcacundo ve Hernández-Ledesma, 2017: 2). Ayrıca 2S protein fraksiyonları arjinin, histidin ve sistein bakımından zengin bir aminoasit kompozisyonu anlamına gelmektedir. Bu nedenle söz konusu protein fraksiyonları, bebek ve çocuk beslenmesinin desteklenmesinde diğer yandan besin destek ürünlerinin besin ögesi içeriklerinin zenginleştirilmesinde potansiyel önem taşımaktadır (Filho vd., 2017: 1620; Bastidas vd., 2016: 3).

Kinoanın temel karbonhidrat içeriğini, yapısında %52-69 konsantrasyonunda bulunan nişasta oluşturmaktadır. Kinoanın toplam diyet posası içeriği, diğer tahıllarinkine benzer oranda %7.0-9.7, çözünebilir posa içeriği ise %1.3-6.1 arasındadır (Filho vd., 2017: 1621; Vilcacundo ve Hernández-Ledesma, 2017: 2). Kinoanın glisemik indeks (Gİ) değerinin, pişirme süresine bağlı olarak 35-53 değerleri arasında değiştiği gösterilmiş; en yüksek Gİ değeri ise 150 g kinoanın pişirilip, dondurulup ve sonrasında 1.5 dakika mikrodalga fırında ısıtıldıktan sonra tüketimiyle elde edilmiştir. Kinoanın posa içeriğinin etkisi de vurgulanarak, referans skalaya (0-100) göre kinoanın glisemik indeksi düşük olarak tanımlanmıştır (Lutz ve Bascuñán-Godoy, 2017: 42; Bastidas vd., 2016: 3).

Kinoa, özellikle niteliksel anlamda güçlü bir lipit fraksiyonu sağladığı için alternatif yağlı tohum olarak da tanımlanabilmektedir. Kinoanın lipit içeriği ortalama %7.0 (%5.0-9.0) olup; mısır (%4.7) ve diğer tahılların lipit içeriğinden fazla, soya fasulyesinin lipit içeriğine (%19.0) kıyasla düşüktür. Linoleik asit, oleik asit ve  $\alpha$ -linolenik asit içerikleri değerlendirilerek karşılaştırma yapıldığında; kinoanın doymamış yağ asitleri profilinin, soya fasulyesinin söz konusu kompozisyonuyla benzerlik gösterdiği bildirilmiştir. Doymamış yağ asitleri ise kinoanın toplam yağ asidi içeriğinin yaklaşık %88'sini oluşturmaktadır. Linoleik asit, kinoanın yağ asitleri içinde miktar olarak en büyük paya sahipken (%49.0-56.4); onu sırasıyla oleik asit (%19.7-29.5) ve palmitik asit (%10.0) izlemektedir. Kinoanın  $\alpha$ -linolenik asit konsantrasyonu da (%8.7-11.7) önemli düzeydedir (Filho vd., 2017: 1622; Lutz ve Bascuñán-Godoy, 2017: 41; Vilcacundo ve Hernández-Ledesma,

2017: 2). Çok sayıda hastalıkla ilişkilendirilen yüksek n-6/n-3 oranı ise kinoada ideal bir aralıkta (5.3-10.6) bulunmaktadır (Tang ve Tsao, 2017: 5-6).

Kinoa'nın tohumu, genç yaprakları ve genç başakları besin olarak kullanılırlar. Bütün bu kısımları genellikle acı saponinleri uzaklaştırmak için suya batırılır ve durulanır. Tohumlar geleneksel olarak kavrulur veya öğütülerek toz haline getirilir. Pirinç gibi pişirilebilir, toz haline getirilerek lapa olarak da kullanılabilir. Aynı zamanda kaynatılarak çorbalara eklenebilir, tahıl ya da mısır gevreklerine eklenerek kahvaltıda tüketilebilir; makarna, pankek ve ekmek yapımında kullanılabilir. Kinoa ayrıca bira, yumuşak fermente içecekler ile sıcak ve soğuk içecekler haline getirilebilir. Hafif fermente bir kinoa içeceği olan "chicha", "İnkaların İçeceği" olarak saygı görür. Besin eksikliği görülen çocuklar için, kinoa ve iki farklı legümandan (*Prosopis chilensis*, *Lupinus albus*) elde edilen ekstre ile ahududu aromalı, yüksek protein içerikli bir içecek geliştirilmiştir (Demir ve Kılınç, 2016: 105; Lim, 2013: 116-118).

Kinoa, bal, badem veya çilekle karıştırılarak yüksek proteinli bir yiyecek olarak kahvaltıda tüketilebilir. Peru ve Bolivya'da, kinoa; un, gevrek, ekmek, krep ve kabartılmış tahıl halinde kullanılmak üzere ticari olarak üretilmektedir. Glutensiz ve mayasız ekmek, kek ve kurabiyeleri zenginleştirmek için ya da glutensiz gıda ürünlerinde buğday ikamesi olarak kullanılmaktadır. %30'a varan buğday unu karışımı ile somun ekmeği üretiminde kullanılabilir. Kinoa'nın mısır, buğday, arpa veya patatesle karıştırılmasıyla hem dolgun hem de besleyici gıdalar üretilmiştir. Peru ve Bolivya'da beslenme yetersizliği olan çocukların bu tür gıdalarla beslenmesi ile iyi sonuçlar alınmıştır (Lim, 2013: 116). Ekmek ve makarna formülasyonlarına da giren kinoanın bu gıdaların besin değerlerini olumlu yönde etkilediği kanıtlanmıştır (Stikic vd., 2012: 132; Lorusso vd., 2017: 215).

## **Amarant**

Amarant (*Amaranthus* spp.), Peru'daki And Dağları bölgesinde "kiwicha" ve Orta Meksika'daki Mezoamerikan halkının dili olan Nahuatl'da "huauhtli" olarak bilinen Amerika'ya özgü bir bitkidir. Kolomb öncesi Amerikan medeniyetleri Aztek, Maya ve İnka uygarlıklarında temel gıda maddesi olarak tüketilmiştir. Meksika'nın merkezine yakın Tehuacan ve Tlapacoyan'daki arkeolojik buluntular, amarantın 5000-7000 yıl önce Mesoamerika'da ekilmekte olduğunu göstermiştir (Velarde-Salcedo vd., 2019: 212). Latin Amerika'da çok ekilen ve tüketilen amarant, İspanyol fethinden sonra yasaklanmış ve sadece küçük ölçekte üretilmeye devam etmiştir. Son yıllarda besleyici ve fonksiyonel özelliklerinin tanınmasıyla amaranta olan ilgi artsa da, günümüzde hala amarant yetiştiriciliği düşüktür. FAO istatistiklerinde üretim miktarı listelenmemektedir (Baykut, 2021: 92).

Amarant bitkisine genelde yabancı ot gözü ile bakılırken; Hindistan, Çin, Güneydoğu Asya, ABD ve Rusya'da ticari olarak üretimi yapılmaktadır. Ülkemizde ise bilinçli bir yetiştiriciliği yapıldığı söylenemez. Genel olarak sulanabilen bahçe ve tarla kenarlarında kendiliğinden yetişmekte ve halk tarafından bitkinin sadece yeşil kısmı tüketilmektedir. Amarant türleri boy olarak 2 m'nin üzerine çıkabilen bitkilerdir. Taneleri küresel şeklinde olup yaklaşık 1 mm çapındadır ve renkleri kremi sarıdan kırmızımsıya kadar değişmektedir. *A. hypochondriacus* türleri kremi sarı tanelere sahipken, *A. caudatus* türleri kırmızı tanelere sahiptir (Şekil 3). En yaygın renkler kestane rengi ve koyu kırmızıdır. Ayrıca, kurak iklim koşullarına oldukça dayanıklıdırlar (Kılınççeker ve Büyük, 2019: 38; Singh vd., 2019: 124). Amarant taksonomik olarak Caryophyllales takımının Amaranthaceae familyasında *Amaranthus* cinsine aittir. Ulusal Biyoteknoloji Bilgi Merkezi (NCBI, [www.ncbi.nlm.nih.gov](http://www.ncbi.nlm.nih.gov)), *Amaranthus* cinsine ait 50 türün kaydına sahiptir, ancak yaklaşık 60'ı yerli olan yaklaşık 70-80 tür olduğu tahmin edilmektedir. Bu türler içinde 400'den fazla çeşit dünya çapında hem ılıman hem de tropik iklimlerde yetişebilmektedir. Sadece üç amarant türünün insan tüketimi için uygun olduğu düşünülmektedir: Güney And Dağları'nda yetişen *Amaranthus*

caudatus, Meksika ve Orta Amerika'da yetişen *Amaranthus cruentus* ve Meksika'da yetişen *Amaranthus hypochondriacus*. Diğerleri ekstrem koşullarda büyüeyebilen yabancı türlerdir (Velarde-Salcedo vd., 2019: 213).



Şekil 3. İki farklı amarant türünün taneleri (Singh vd., 2019: 124)

İnsan tüketimi için uygun olan amarant türleri diğer tahıllar, baklagiller ve yağlı tohumlara karşılaştırıldığında üstün besin dengesine sahiptirler (Tablo 1). Bu nedenle, diyet ve egzersize dayalı sağlıklı bir yaşam konusundaki endişeler nedeniyle gıda olarak amaranta ilgi artmıştır (Velarde-Salcedo vd., 2019: 217).

Tablo 1. Amaranth türlerinin yaklaşık bileşimi\*

Özellik	Amarant Türü		
	<i>hypochondriacus</i>	<i>cruentus</i>	<i>caudatus</i>
Protein	17.9	15.7	18
Yağ	7.7	7.2	7.5
Lif	2.2	4.0	4.5
Kül	4.1	3.3	3.7

\*Kuru ağırlık bazında yüzde olarak

Amarant yaklaşık %65 karbonhidrat içermektedir. Ana bileşen olan nişastanın boyutları amarantın türüne göre 1-3.5  $\mu$ m arasında değişmektedir. Nişastanın *A. cruentus* türünde %48 ve *A. hypochondriacus* türünde %62 olduğu bildirilmiştir. Mısır ve buğday nişastaları ile kıyaslandığında bu iki türün nişastasının daha yüksek şişme gücüne, daha düşük çözünürlüğe, amilazlara karşı daha düşük duyarlılığa ve daha düşük amilaz içeriğine (%4.7-12.5) sahip olduğu bilinmektedir. Amarantta bulunan lif miktarı ise %6.7 olarak bildirilmiştir. Amaranttaki lif oranı buğdaydan biraz düşüktür (Baykut, 2021: 92).

Amarant yaklaşık %13-14 oranında protein içerir. Amarantın protein miktarı genellikle tahıllardan yüksektir. Tohumundaki proteinler, diğer tahılların aksine (mısır ve pirinçte proteinlerin %80'i endospermde bulunur) esas olarak embriyoda (%65) bulunmaktadır. Amarant proteinleri %40 albumin, %20 globulin, %2-3 prolamin ve %25-30 glutelinden oluşur. Amarant globulinlerinin emülsifiye edici özellikler gibi bazı fonksiyonel özelliklere de sahip olduğu bildirilmiştir. Amarantın lizin aminoasiti içeriği mısır, pirinç ve buğday gibi tahıllara kıyasla zengindir. Ayrıca amarantta bulunan kükürtlü aminoasit miktarı (%2-5), normalde bakliyat ürünlerinde %1.4 oranında bulunan kükürtlü aminoasit miktarından daha yüksektir. Zengin aminoasit kompozisyonuna sahip olan amarantın protein içeriği, yumurta proteini ile benzerdir. Alanin, valin, lösin, arginin, fenilalanin, pralinler, metiyoninler,  $\alpha$ -aminobütirik asit, triptofan, izolösin ve serin gibi aminoasitler içeren amarant, kaliteli bir protein kaynağıdır. Bebekler için esansiyel olan histidin ve arginin

aminoasitlerini içermesi de amarantı bebek beslenmesinde önemli kılmaktadır (Baykut, 2021: 92; Velarde-Salcedo vd., 2019: 217).

Amarant yaklaşık olarak %7 oranında yağ içermektedir. Amarantın içerdiği yağ miktarı, diğer tahılların içerdiği yağ miktarından 2-3 kat daha yüksektir. Amarantta bulunan doymuş yağ asitlerinin doymamış yağ asitlerine oranı 1:4'tür (Maurya ve Arya, 2018: 2259). Oldukça yüksek olan doymamış yağ asiti içeriğinin büyük kısmını linoleik asit oluşturur. Toplam yağın %50'si linoleik asit, %20'si oleik asit, %20'si palmitik asit ve yaklaşık %1'i linolenik asit şeklindedir. Yağın %5'ini ise fosfolipidler oluşturmaktadır (Baykut, 2021: 93).

Amarant tahıl türlerine göre yaklaşık iki kat daha fazla mineral içermektedir. Bu minerallerin %66'sı kepek ve embriyo katmanlarında bulunur. Özellikle yüksek miktarda kalsiyum, fosfor, demir, magnezyum, potasyum, sodyum ve çinko içermektedir. Amarant bitkisinde bulunan fosfor, fitik asit varlığında üretilmektedir. Amarantta bulunan fitik asit miktarı %0.3-0.6 arasında değişmektedir. Fitik asidin ayrıca insanlardaki kolesterol seviyesini düşürücü etkisi de görülmüştür. Amarant önemli düzeyde vitamin içerir ve günlük gerekli vitaminleri almak için önemli bir kaynaktır. Tahıllardan daha fazla riboflavin ve C vitamini içermektedir. Ayrıca antioksidan özelliği olan E vitamini için de iyi bir kaynaktır (Baykut, 2021: 93).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, kronik hastalık riskini azaltmadaki potansiyelleri nedeniyle, amarantın içerdiği biyoaktif bileşenler üzerine yoğunlaşmıştır. Amarant, fenolik bileşikler, betaninler ve karotenoidler gibi biyoaktif fitokimyasalları içermektedir. Fitokimyasallar esas olarak tohumların dış katmanlarında bulunur ve böcekler ile mikroorganizmalara karşı bir savunma işlevi görür (Tang ve Tsao, 2017: 3-5).

Amarantın bugüne kadar incelenen antibesinsel bileşenlerinin herhangi bir sağlık problemine sebep olacak seviyelerde olmadığı bildirilmiştir. Amaranttaki tanen ve fitik asit seviyeleri tahıllar ile benzerdir, tripsin ve kimotripsin aktivitesi ise tahıllara göre daha düşüktür. Aflatoksin ve zearalenon üretim potansiyeli de tahıllara benzer veya daha düşük seviyelerdedir. Amarant düşük miktarda saponin içermektedir ve üretilen saponinler düşük toksisitededir. Amarant ile yapılan çalışmalarda okzalot konsantrasyonunun yüksek olduğu bulunmuştur. Fakat bu okzalotların çoğu çözünmez okzalot olarak bulunmaktadır. Ayrıca düşük okzalot/kalsiyum oranı ve yüksek kalsiyum konsantrasyonu ile amarantın iyi bir kalsiyum kaynağı olabileceği belirtilmiştir (Baykut, 2021: 93).

Amarant tane olarak veya öğütülerek yemeklerde farklı şekillerde kullanılabilir. Amarant taneleri çorbalara, yemeklere, salatalara veya pilavlara katılmaktadır. Amarant taneleri kaynatıldığında nişasta jale haline gelerek pişirme suyunun kıvamını yoğunlaştırmakta ve lapa şeklini almasına sebep olmaktadır. Amarant bira yapımında da kullanılmaktadır. Amarant tanelerinin çimlendirilmesiyle elde edilen malt, özellikle Peru'da geleneksel bira (chicha) yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca amarant fermente edilerek ogi (Afrika'da laktik asit fermentasyonu ile elde edilen tahıl lapası) yapımında veya soya yerine shoyu (Japonya'da kullanılan soya sosu) yapımında kullanılmaktadır. Yüksek protein içeriğinden dolayı protein konsantrelerinde, müsli ve granola barlarda da kullanılabilir. Amarant tohumları çimlendirilerek ya da sadece öğütülüp un haline getirildikten sonra pankek, ekmekek, tortilla, kek, köfte, kraker, kurabiye, puding vb. ürünlerin yapımında farklı un karışımlarına ilave edilebilir (Guardianelli vd., 2019: 1; Mlakar vd., 2009: 43). Son yıllarda makarna, ekmekek, bisküvi ve kraker gibi glutensiz ürünlerin formülasyonlarında da amarant ununun kullanımı artmıştır. Amarant ile yüksek kaliteli ve lezzetli glutensiz gıdalar üretebilmek için gerekli emülgatör, maya, protein izolatları vb. içeriği tanımlamak ve optimize etmek için çok sayıda denemeler yapılmaktadır (Ballabio vd., 2011: 12969). Amarant unu ile buğday unu karışımı Hindistan'da çapati ve Latin Amerika'da tortilla olarak bilinen mayasız ekmekeklerin hazırlanmasında da kullanılmaktadır. Hindistan'da amarant, en yaygın olarak laddoos olarak bilinen şeker formunda kullanılmaktadır (Singh vd., 2019: 130).

## Chia

Chia olarak bilinen *Salvia hispanica* L., Lamiaceae (Nanegiller) familyasına ait, tek yıllık otsu, yazlık ve diğer kültür bitkilerine göre daha az su gerektiren subtropikal bir bitkidir (Zettel ve Hitzmann, 2018: 43). *Salvia* cinsi yaklaşık 900 türden oluşur ve adı şifalı bir bitki olan *Salvia officinalis*'in iyileştirici özelliklerine atıfta bulunan Latince "salvere" kelimesinden gelmektedir (de Falco vd., 2017: 745). Kuzey Guatemala ve Orta Meksika orijinli olan Chia tohumları, Aztek ve Mayalar tarafından gıda maddesi, boya, tıbbi ilaç ve dinsel törenlerinde tanrılara armağan olarak kullanılırdı. Ayrıca, enerji verdiğinden ve dayanıklılığı arttırdığından, Aztekler, savaş zamanlarında yanlarında taşırlardı. İlk medeniyetlerin günlük beslenmesini oluşturan bu bitki, İspanyollar Orta Amerika'yı fethettiğinde, din ile yakından ilişkili olduğunu görünce, imha edilmeye çalışılmış ve yerine o zamanlar büyük rağbet gören buğday, arpa havuç gibi, yabancı türleri getirerek dünyaya yayılması engellenmiştir. Ülkemizde henüz adı yeni yeni duyulmaya başlanılan bitkinin, son yıllarda üzerinde yapılan yoğun çalışmalarda, insan sağlığı ve beslenmesine büyük katkı sağladığı görülmüş ve dünyada tekrar rağbet görmeye başlamıştır. Hatta 2009 yılında, Avrupa Parlamentosu tarafından "fonksiyonel bir gıda" olarak açıklanmış; Meksika, Arjantin, Şili, Yeni Zelanda, Japonya, ABD, İngiltere, Kanada, Avustralya gibi ülkelerde diyetlerin bir parçası olarak kullanılmaya başlanmıştır (Çiçek ve Özel, 2017: 324).

Tablo 2. Chia tohumunun enerji ve besin ögesi bileşimi

Besin ögesi	Miktar (100g)
Enerji (kkal)	569
Karbonhidrat (g)	40.62
Protein (g)	15.62
Yağ (g)	31.25
Diyet posası (g)	34.4
Kalsiyum (mg)	625
Demir (mg)	7.5
Magnezyum (mg)	335
Fosfor (mg)	860
Potasyum (mg)	406
Sodyum (mg)	16
Çinko (mg)	4.5
C vitamini (mg)	1.5
Tiamin (mg)	0.62
Riboflavin (mg)	0.2
Niasin (mg)	8.8
A vitamini (IU)	54
E vitamini (a-tokoferol)	0.5

Günümüzde popülaritesi gittikçe artmakta olan ve "süper besin" olarak isimlendirilen Chia bitkisinin (*Salvia hispanica*) iklim değişiklikleri, toprak koşulları, ekim alanı, hasat yılı gibi faktörler bileşenlerinde değişikliğe neden olmakla birlikte protein, yağ, karbonhidrat, diyet posası, niasin, A vitamini, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve fosfor içeriği açısından yüksek; sodyum, demir çinko ve C vitamini içeriği açısından ise düşüktür. Genel olarak kompozisyonu Tablo 2'deki gibidir (Sur ve Çiçek, 2021: 972). Chia tohumunun antimikrobiyel ve antioksidan kapasitesinden sorumlu ve temel bileşenlerinden olan esansiyel yağ asitlerinin %55-60'ını  $\alpha$ -linolenik yağ asidi (omega-3) ve %18-20'sini linoleik yağ asidi (omega-6) oluşturmaktadır. İşlevsel besin bileşenlerini yüksek oranda sağlaması nedeniyle Chia tohumunun kardiyovasküler hastalıklar, diyabet, kanser ve obezite gibi kronik hastalıklardan korunmaya önemli ölçüde yardımcı olmada etkili olduğu belirtilmiştir. Chia

tohumunun n-3 içeriği kinoa tohumundan, protein içeriği pirinç, mısır, buğday ve yulaftan fazla bulunmuştur. Chia tohumu (1 g) başta klorojenik asit, kafeik asit, kuersetin ve kamferol olmak üzere, antioksidan özelliğe sahip toplam 0.75 g fenolik bileşen içermektedir. Chia tohumunun içerdiği antioksidanların lipid peroksidasyonunu C vitamininden daha iyi baskıladığı bilinmektedir. Antioksidanlar, yaşlanma belirtileri, kanser, kalp rahatsızlıkları, Alzheimer hastalığı, beyin nöronları dejenerasyonu, katarakt hastalıkları üzerinde etkileri bilimsel çalışmalara konu olmuş işlevsel besin bileşenleridir (Özbek ve Yeşilçubuk, 2018: 92).

Chia tohumu %35 oranında karbonhidrattan oluşmaktadır ve bu içeriğin %34'ü diyet lifidir. Diyet lifi içeriğinin, çözünmeyen fraksiyonu yaklaşık %85-93'ü temsil ederken, çözünür fraksiyonu %7 ile %15 arasındadır. Çözünür liflerin postprandial glisemiyi düşürdüğü, ayrıca hem çözünür hem de çözünmez lifin, iştahı ve/veya sonraki gıda alımını azalttığı görülmüştür (Sur ve Çiçek, 2021: 973).

Chia tohumu yaklaşık olarak %15-23 oranında protein içerir. Bu oran diğer tahıllardan oldukça yüksek iken, elzem amino asitleri önemli oranda içermesi kayda değer bir özelliğidir. Ayrıca protein yapısında gluten bulunmaması önemli avantajlarından bir tanesidir. Chia tohumu proteinlerinin %52'si globülin, %17.3'ü albümin, %14.5'i gliadin ve %12.7'si prolaminden ibarettir. Bununla birlikte glutamik asit, aspartik asit ve arjinin bakımından zengin olup, glutamik asit; metabolik aktiviteler, sinir sistemi ve immün sistem için, aspartik asit; sinir sistemi için, arjinin ise kardiyovasküler hastalıklardan korunmak için önemli bileşiklerdir. Bazı çalışmalarda ise tohumun kan basıncını dengeleyici peptitler bakımından zengin olduğunu belirten veriler de mevcuttur (Kılınççeker ve Karahan, 2019: 224).

Yapılan son çalışmalar, chia tohumunun diyet posası, mineral, protein ve yağ (özellikle alfa-linolenik asit) gibi sağlıklı bileşenleri içermesinden dolayı, tüketiminin postprandiyal kan şekerini düşürdüğünü ve sistolik kan basıncını azalttığını, doyumluk indeksini arttırdığını göstermiştir. Bu nedenle de kilo kaybı için kullanılabilir bir ek gıda olmaktadır (Sur ve Çiçek, 2021: 973).

Chia tohumu, kendi ağırlığının 27 katı kadar su tutma özelliğine sahiptir. Tohumun su teması ile kabuktaki polisakkarit yapı suyu tutarak yapısında ksiloz, glikoz ve 4-metil glukuronik asit gibi bileşenler bulunduran ve tohum etrafında jelatin kapsül gibi bir yapı oluşturmaktadır. Oluşan bu jel yapının guar gum, aljinat ve jelatinle kıyaslandığında, daha iyi su ve yağ tutma kapasitesine sahip olduğu, bunun yanında emülsiyon stabilizasyonu sağlama özelliğine de sahip olduğu belirtilmektedir. Chia tohumu sahip olduğu bu özelliklerinden dolayı gıdalarda emülsifiyer, su tutucu ve stabilizatör olarak kullanılmaktadır (Sur ve Çiçek, 2021: 973).

Chia tohumu ve Chia tohumundan elde edilen ürünler, besin sanayinde işlevsel hammadde olabilmelerinin yanında, formülasyonlarına katıldıkları besinlerin besin değerini de arttırmaları. Chia tohumu, bu bağlamda, genelde unlu mamuller ve süt ürünleri formülasyonlarına katılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Chia tohumu ülkemizde, günlük diyetin bir parçası olarak, beslenmeye katkı sağlamak amacıyla doğrudan tüketildiği gibi, besin endüstrisinde de kullanılmaya başlanmıştır. Bunlardan ilki ekmeğin besin kalitesini arttırmak amacıyla ekmeğin yapımında kullanımıdır. Ülkemiz dışında, Chia tohumu daha yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Sporcu içeceklerinde, barlarda, unlu mamüllerde doğrudan besin formülasyonunda bulunmaktadır. Bu ürünler Chia tohumu eklenmesi ile yüksek protein, diyet posası, n-3 içeriğiyle "işlevsel besin" sınıfına girmektedir. Chia tohumundan elde edilen bileşenler ticari olarak uluslararası pazarda da yerini bulmuştur. n-3 yağ asidi (%60) içeren Chia tohumu yağı "n-3 kaynağı" etiketiyle, chia tohumu proteini "protein kaynağı" etiketiyle satılmaktadır. Chia tohumu, hayvansal besinlerin kalitesini arttırmak için hayvan yemi olarak da kullanım alanı bulmuştur. Aztek'ler tarafından yüksek enerji sağlama için atlara yedirilen Chia tohumu, günümüzde yumurta ve et kalitesini arttırmak için yapılan çalışmalara konu olmuştur (Özbek ve Yeşilçubuk, 2018: 95).



## Sonuç

Dünyada 50.000'den fazla yenilebilir bitki türü vardır, ancak, 3 önemli tahıl (pirinç, mısır ve buğday) dahil sadece 15 mahsul dünya genelinde insanların gıda enerjisi ihtiyacının %90'ına karşılık ve toplam üretimin 2/3'ünü bu bitkiler oluşturur. Tahıl taneleri binlerce yıldır insan beslenmesinin önemli bir bileşeni olmuştur ve insan uygarlığının şekillenmesinde önemli bir rol oynamıştır. Antik tahıllar ise, yaygın buğday çeşitleri dışındaki diğer buğdayları (einkorn, emmer, kamut ve spelt), diğer tahıllar (darı, sorgum, tef) ve tahıl benzeri (kinova, amarant, karabuğda) bitkileri kapsamaktadır. Bu grubun yaygın olan tahıllara kıyasla bilinirliği daha az ve üretim miktarları da daha düşüktür. Ancak; kimyasal yapısında bulunan bileşenlerin niteliksel ve niceliksel farklılıkları, yaygın tahıllara karşı onlara üstünlük sağlamakta ve fonksiyonel gıda özelliği kazandırmaktadır. Bu nedenle, sağlık kaygıları nedeniyle daha da bilinçlenen tüketicilerin bu bitkilere karşı ilgisi de her geçen gün artmaktadır. Sürdürülebilir bir gıda sistemi ve beslenme güvenliğini sağlamaya yönelik temel stratejiler; yeterince kullanılmayan mahsullerin (antik tahılların) üretimini yaygınlaştırmak, ürün çeşitlendirmesini teşvik etmek ve gıdanın beslenme kalitesine öncelik vermek olmalıdır. Bu bağlamda antik tahılların tarımsal üretimde çeşitliliğin artmasına yardımcı olacağı, çiftçilerin farklı ürünler yetiştirmesi ve ekonomik kazançlarının artması gibi konularda pozitif etki yaratacağı düşünülmektedir. Aynı zamanda yapılarında bulundukları kimyasal bileşiklerle oluşturdukları fonksiyonel gıda üretme potansiyeli de antik tahıllara ayrı bir avantaj sağlamaktadır. Bu nedenle üretimi devam eden antik tahılların üretiminin artırılması, başta tahıl benzeri bitkiler olmak üzere üretimi olmayanların üretim olanaklarının araştırılması ve antik tahıllardan üretilen gıdaların çeşitliliğinin artırılmasına yönelik çalışmalara ağırlık verilmesinin faydalı olacağı da düşünülmektedir.

## KAYNAKÇA

- Abewa, A., Adgo, E., Yitafere, B., Alemayehu, G., Assefa, K., Solomon, J.K.Q., Payne, W. (2019). Teff grain physical and quality responses to soil physicochemical properties and the environment. *Agronomy*, 9(6), 283. doi:10.3390/agronomy9060283
- Abdel-Aal, E.-S.M., Young, J.C., Wood, P.J., Rabalski, I., Hucl, P., Falk, D., Fre'geau-Reid, J., (2002). Einkorn: a potential candidate for developing high lutein wheat. *Cereal Chemistry*, 79, 455-457.
- Adıgüzel, E. (2019). Siyez buğdayı (*Triticum Monococcum*) çölyak hastaları için alternatif olabilir mi?. *Sağlık Bilimleri Dergisi (Journal of Health Sciences)*, 28(1), 27-32.
- Anyango, J.O., Taylor, J.R.N. (2019). Sorghum flour and flour products: production, nutritional quality, and fortification. *Flour and Breads and Their Fortification in Health and Disease Prevention* (p.137-151). UK: Elsevier, Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-814639-2.00010-1
- Arendt, E.K., Zannini, E. (2013). Sorghum. *Cereal Grains for the Food and Beverage Industries* (p.283-311). UK: Woodhead Publishing. doi: 10.1533/9780857098924.283
- Assefa, Y., Emire, S., Villanueva, M., Abebe, W., Ronda, F. (2018). Influence of milling type on tef injera quality. *Food Chemistry*, 266, 155-160. doi:10.1016/j.foodchem.2018.05.12
- Ballabio, C., Uberti, F., Di Lorenzo, C., Brandolini, A., Penas, E., Restani, P. (2011). Biochemical and immunochemical characterization of different varieties of amaranth (*Amaranthus L. ssp.*) as a safe ingredient for gluten-free products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(24), 12969-12974. doi:10.1021/jf2041824
- Bangar, S.P., Ashogbon, A.O., Dhull, S.B., Thirumdas, R., Kumar, M., Hasan, M., Chaudhary, V., Pathem, S. (2021). Proso-millet starch: Properties, functionality, and applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 190, 960-968. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.09.064
- Barretto, R., Buenavista, R.M., Rivera, J.L., Wang, S., Vara Prasad, P.V., Siliveru, K. (2021). Teff (*Eragrostis tef*) processing, utilization, and future opportunities: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(7), 3125–3137. doi:10.1111/ijfs.14872
- Bastidas, E.G., Roura, R., Rizzolo, D.A.D., Massanés, T., Gomis, R. (2016). Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*), from nutritional value to potential health benefits: an integrative review. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 06(03), 1-10. doi:10.4172/2155-9600.1000497
- Baykut, E.D. (2021). Bazı tahıl benzeri ürünlerin besin içeriği ve gıda endüstrisinde kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23, 89-98. doi: 10.31590/ejosat.789955
- Bean, S.R., Zhu, L., Smith, B.M., Wilson, J.D., Ioerger, B.P., Tilley, M. (2019). Starch and protein chemistry and functional properties. *Sorghum and Millets: Chemistry, Technology, and Nutritional Attributes* (p.131-170). UK: Elsevier: Woodhead Publishing. doi: 10.1016/B978-0-12-811527-5.00006-X

Békés, F., Schoenlechner, R., and Tömösközi, S. (2017). Ancient wheats and pseudocereals for possible use in cereal-grain dietary intolerances. *Cereal Grains: Assessing and Managing Quality* (p.359-368). UK: Elsevier: Woodhead Publishing.

Belay, G., Zemedu, A., Assefa, K., Metaferia, G., Tefera, H. (2009). Seed size effect on grain weight and agronomic performance of tef (*Eragrostis tef*) Trotter. *African Journal of Agricultural Research*, 4(9), 836–839.

Boukid, F., Folloni, S., Sforza, S., Vittadini, E., Prandi, B. (2017). Current trends in ancient grains-based foodstuffs: insights into nutritional aspects and technological applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(1), 123–136. doi:10.1111/1541-4337.12315

Boz, H. (2014). Darı: kimyasal bileşimi ve insan sağlığı açısından potansiyel faydaları. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(1), 140-146.

Brandolini, A., Lucisano, M., Mariotti, M., Hidalgo, A., (2018). A study on the quality of einkorn (*Triticum monococcum* L. ssp. *monococcum*) pasta. *Journal of Cereal Science*, 82, 57-64. doi:10.1016/j.jcs.2018.05.010.

Bultosa, G. (2016). Tef: Overview. *Encyclopedia of food grains* (p.209-220). Oxford, Waltham: Elsevier Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-394437-5.00018-8

Bultosa, G. (2007). Physicochemical characteristics of grain and flour in 13 tef (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) grain varieties. *Journal of Applied Sciences Research*, 3(12), 2042–2051.

Coda, R., Rizzello, C.G., Trani, A., Gobetti, M. (2011). Manufacture and characterization of functional emmer beverages fermented by selected lactic acid bacteria. *Food Microbiology*, 28, 526-536.

Coda, R., Lanera, A., Trani, A., Gobetti, M., Di Cagno, R. (2012). Yogurt-like beverages made of a mixture of cereals, soy and grape must: Microbiology, texture, nutritional and sensory properties. *International Journal of Food Microbiology*, 155, 120-127. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2012.01.016

Collar, C. (2016). Impact of visco-metric profile of composite dough matrices on starch digestibility and firming and retrogradation kinetics of breads thereof: Additive and interactive effects of non-wheat flours. *Journal of Cereal Science*, 69, 32–39. doi:10.1016/j.jcs.2016.02.006

Coleman, J., Abaye, A.O., Barbeau, W., Thomason, W. (2013). The suitability of teff flour in bread, layer cakes, cookies and biscuits. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 64(7), 877–881. doi:10.3109/09637486.2013.800845

Cubadda, R., Marconi, E., (2002). Spelt Wheat. *Pseudocereals and Less Common Cereals* (p.153-175). US: Springer. doi: 10.1007/978-3-662-095447.

Čurná, V., Lacko-Bartošová, M. (2017). Chemical composition and nutritional value of Emmer wheat (*Triticum dicoccon* Schrank): a review. *Journal of Central European Agriculture*, 18(1), 117-134.

Çakmakçı, D., Konak, Ü.İ., Yavuz Abanoz, Y. (2022). Physical, nutritional, textural and sensory qualities of Turkish noodles produced with siyez wheat (*Triticum monococcum*), kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) and chia seed (*Salvia hispanica* L.). *Food and Health*, 8(1), 35-45.

Çiçek, E., Özel, A. (2017). Türkiye için yeni bir bitki: Chia (*Salvia hispanica* L.). Türkiye 12. Tarla Bitkileri Kongresi, 12-15 Eylül, Kahramanmaraş, Türkiye, s.324-329.

Dağ, Ş.M.O., Özkan, A.M.G. (2019). Kinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.) üzerine bir derleme. *Ankara Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 43(3), 309-333. doi:10.33483/jfpau.487757

Demir, M.K., Kılıç, M. (2016). Kinoa: besinsel ve antibesinsel özellikleri. *Journal of food and health Science*, 2(3), 104-111.

Dias-Martins, A.M., Pessanha, K.L.F., Pacheco, S., Rodrigues, J.A.S., Carvalho, C.W.P. (2018). Potential use of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) in Brazil: Food security, processing, health benefits and nutritional products. *Food Research International*, 109, 175-186 doi:10.1016/j.foodres.2018.04.023

Dizlek, H., Özer, M.S., İnanç, E., Gül, H. (2009). Karabuğday'ın (*Fagopyrum esculentum* Moench) bileşimi ve gıda sanayinde kullanım olanakları. *Gıda*, 34(5): 317-324.

De Falco, B., Amato, M., Lanzotti, V. (2017). Chia seeds products: an overview. *Phytochemistry Reviews*, 16(4), 745-760. doi:10.1007/s11101-017-9511-7

Dube, N.M., Xu, F., Zhao, R. (2020). The efficacy of sorghum flour addition on dough rheological properties and bread quality: A short review. *Grain & Oil Science and Technology* 4, 164-171.

Escarnot, E., Agneessens, R., Wathélet, B., Paquot, M. (2010). Quantitative and qualitative study of spelt and wheat fibres in varying milling fractions. *Food Chemistry*, 122, 857-863. doi:10.1016/j.foodchem.2010.02.047

FAOSTAT (2022). Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. Data – Production Quantity. (2017). <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (Erişim 15.03.2022).

Filho, A.M., Pirozi, M.R., Borges, J.T., Pinheiro Sant'Ana, H.M., Chaves, J.B., Coimbra, J.S. (2017). Quinoa: Nutritional, functional, and antinutritional aspects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(8), 1618-1630. doi:10.1080/10408398.2014.1001811

Gebremariam, M.M., Hassani, A., Zarnkow, M., Becker, T. (2015). Investigation of fermentation conditions for teff (*Eragrostis tef*) malt-wort by *Lactobacillus amylolyticus*. *LWT-Food Science and Technology*, 61(1), 164-171. doi:10.1016/j.lwt.2014.11.008

Gebremariam, M., Zarnkow, M., Becker, T. (2012). Teff (*Eragrostis tef*) as a raw material for malting, brewing and manufacturing of gluten-free foods and beverages: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 51(11), 2881-2895. doi:10.1007/s13197-012-0745-5

Giambanelli, E., Ferioli, F., Koçaoglu, B., Jorjadze, M., Alexieva, I., Darbinyane, N., D'Antuono, L.F. (2013). A comparative study of bioactive compounds in primitive wheat populations from Italy, Turkey, Georgia, Bulgaria and Armenia. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93, 3490–3501. doi:10.1002/jsfa.6326

Giuberti, G., Gallo, A., Fiorentini, L., Fortunati, P., Masoero, F. (2015). In vitro starch digestibility and quality attributes of gluten free “tagliatelle” prepared with teff flour and increasing levels of a new developed bean cultivar. *Starch - Stärke*, 68(3-4), 374-378. doi:10.1002/star.201500007

Guardianelli, L. M., Salinas, M.V., Puppo, M.C. (2019). Hydration and rheological properties of amaranth-wheat flour dough: Influence of germination of amaranth seeds. *Food Hydrocolloids*, 97, 105242. doi:10.1016/j.foodhyd.2019.105242

Hayıt, F., Gül, H. (2015). Karabuğday'ın sağlık açısından önemi ve unlu mamüllerde kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(1), 123-132.

Hidalgo, A., Brandolini, A., (2019). Nutritional, technological, and health aspects of einkorn flour and bread. *Flour and Breads and Their Fortification in Health and Disease Prevention* (p.99-110). UK: Elsevier Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-814639-2.00010-1

Inglett, G. E., Chen, D., Liu, S.X. (2016). Physical properties of gluten free sugar cookies containing teff and functional oat products. *Journal of Food Research*, 5(3), 72-84. doi:10.5539/jfr.v5n3p72

İşık, F., Keser, A. (2020). Siyez buğdayının sağlık üzerine etkileri. *Sürekli Tıp Eğitim Dergisi*, 29(4), 299-304

İlkay, H.Ö., Mutlu, A.A. (2020). Fonksiyonel bir besin: kinoa. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 48(3), 92-101. doi:10.33076/2020.BDD.1350

İnanır, C., Albayrak, S., Ekici, L. (2019). Karabuğdayın fitokimyası, farmakolojisi ve biyofonksiyonel özellikleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 16, 713-722.

Jianmin, Y., Rongli, M. (1992). Processing technique and service methods of buckwheat flour jelly. *Shanxi Academy of Agricultural Science*, 4, 511-513.

Kara, N., Yüksel, O. (2014). Karabuğdayı hayvan yemi olarak kullanabilir miyiz? *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(3), 295-300.

Karahan, A.M., Kılınççeker, O. (2019). Tef (*Eragrostis Tef*)'in bazı özellikleri ve gıdalarda kullanımı. 4th International Anatolian Agriculture, Food, Environment and Biology Congress-2019, 20-22 April, Afyonkarahisar, Turkey, p.128-134. E-ISBN: 978-605-80461-0-8

Karahan, A.M., Kılınççeker, O. (2020). Karabuğday (*Fagopyrum Esculentum* Moench)'ın bazı özellikleri ve tahıl ürünlerinde kullanımı. 6th International Conference on Engineering & Natural Sciences, 24-26 January, Sanliurfa, Turkey, p.157-160. ISBN: 978-605-7811-49-3

Karahan, A.M., Köten, M., Akın, M.B. (2019). Fonio: bileşimi, özellikleri ve gıdalarda kullanımı. International Engineering and Science Symposium, 20-22 June, Siirt, Turkey, p.523-527.

Keçeli, A. (2019). Siyez (*Triticum monococcum* L. ssp. *monococcum*) popülasyonlarının biyoaktif, antioksidan özellikleri ve organik tarımda kullanımı üzerine bir derleme. *Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(12), 2111-2120. doi:10.24925/turjaf.v7i12.2111-2120.2833

Kılınççeker, O., Büyük, G. (2019). Amarant (*Amaranthus* spp)'ın bazı özellikleri ve et ürünlerinde kullanımı. *ADYÜTAYAM Dergisi*, 7(2), 36-42. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/adyutayam/issue/61048/906447>

Kılınççeker, O., Karahan, A.M. (2019). Chianın (*Salvia hispanica*) bazı özellikleri ve et ürünlerinde kullanımı. International Engineering and Science Symposium, 20-22 June, Siirt, Turkey, p.223-228.

Kızılaslan, Y. (2020). Siyez unu ile üretilen bebe bisküvilerinde protein ve karbonhidrat sindirilebilirliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Sebahattin Zaim Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kotaskova, E., Sumczynski, D., Mlcek, J., Valasek, P. (2016). Determination of free and bound phenolics using HPLC-DAD, antioxidant activity and in vitro digestibility of *Eragrostis tef*. *Journal of Food Composition and Analysis*, 46, 15-21. doi:10.1016/j.jfca.2015.11.001

Kulathunga, J., Simsek, S. (2022). Dietary fiber variation in ancient and modern wheat species: Einkorn, emmer, spelt and hard red spring wheat. *Journal of Cereal Science*, 104, 103420. doi:10.1016/j.jcs.2022.103420

Levent, H. (2019). Performance of einkorn (*triticum monococcum* l.) flour in the manufacture of traditional turkish noodle. *Gıda*, 44(5), 932-942. doi:10.15237/gida.GD19068

Lim, T.K. (2013). Chenopodium quinoa. *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants: Fruits* (p.115-131). US: Springer Science+Business Media Dordrecht. doi:10.1007/978-94-007-5653-3

Løje, H., Møller, B., Laustsen, A.M., Hansen, Å. (2003). Chemical composition, functional properties and sensory profiling of einkorn (*Triticum monococcum* L.). *Journal of Cereal Science* 37, 231-240 doi:10.1006/jcrs.2002.0498

Longin, C. F. H., Würschum, T. (2016). Back to the future – tapping into ancient grains for food diversity. *Trends in Plant Science*, 21(9), 731–737. doi:10.1016/j.tplants.2016.05.005

Lorusso, A., Verni, M., Montemurro, M., Coda, R., Gobetti, M., Rizzello, C.G. (2017). Use of fermented quinoa flour for pasta making and evaluation of the technological and nutritional features. *LWT-Food Science and Technology*, 78, 215-221. doi:10.1016/j.lwt.2016.12.046

Lutz, M., Bascuñán-Godoy, L. (2017). The revival of quinoa: a crop for health. *Superfood and Functional Food - An Overview of Their Processing and Utilization* (p.37-54). Zagreb: Croatia, InTech. doi: 10.5772/65451

Mahajan, P., Bera, M.B., Panesar, P.S., Chauhan, A. (2021). Millet starch: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 180, 61-79 doi:10.1016/j.ijbiomac.2021.03.063

Marconi, E., Carcea, M., Graziano, M., Cubadda, R. (1999). Kernel properties and pasta-making quality of five european spelt wheat (*Triticum spelta* L.) cultivars. *Cereal Chemistry*, 76(1), 25-29.

Maurya, N.K., Arya, P. (2018). Amaranthus grain nutritional benefits: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2), 2258-2262.

Mlakar, S. G., Turinek, M., Jakop, M., Bavec, M., Bavec, F. (2009). Nutrition value and use of grain amaranth: potential future application in bread making. *Agricultura*, 6(4), 43-53.

Nani, M., Krishnaswamy, K. (2021). Physical and functional properties of ancient grains and flours and their potential contribution to sustainable food processing. *International Journal of Food Properties*, 24(1), 1529-1547. doi:10.1080/10942912.2021.1975740

Nascimento, K.O., Paes, S.N., Oliveira, I.R., Reis, I.P., Augusta, I.M. (2018). Teff: suitability for different food applications and as a raw material of gluten-free, a literature review. *Journal of Food and Nutrition Research*, 6(2), 74-81. doi:10.12691/jfnr-6-2-2

Obilana, A.B., Manyasa, E. (2002). Millets. *Pseudocereals and Less Common Cereals* (p.177-217). US: Springer. doi: 10.1007/978-3-662-095447.

Olojede, A.O., Sanni, A.I., Banwo, K. (2020). Effect of legume addition on the physiochemical and sensorial attributes of sorghum-based sourdough bread. *LWT - Food Science and Technology*, 118, 108769. doi:10.1016/j.lwt.2019.108769

Özbek, T., Yeşilçubuk, N.Ş. (2018). Süper besin: chia tohumu (*Salvia Hispanica* L.). *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 46(1), 90-96. doi:10.33076/2018.BDD.292

Peng, L., Wang, S., Zou, L., Zhao, J., Zhao, G. (2012). HPLC fingerprint of buckwheat from different habitats and varieties. *Pharmacognosy Journal*, 4(31), 5-10. doi:10.5530/pj.2012.31.2

Ratnavathi, C.V., Komala, V.V. (2016). Sorghum grain quality. *Sorghum Biochemistry: An Industrial Perspective* (p.1-61). UK: Elsevier Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-803157-5.00001-0

Salawu, S.O., Bester, M.J., Duodu, K.G. (2014). Phenolic composition and bioactive properties of cell wall preparations and whole grains of selected cereals and legumes. *Journal of Food Biochemistry*, 38(1), 62-72. doi:10.1111/jfbc.12026

Schober, T.J., Bean, S.R., Kuhn, M. (2006). Gluten proteins from spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) cultivars: A rheological and size-exclusion high-performance liquid chromatography study. *Journal of Cereal Science*, 44, 161-173. doi:10.1016/j.jcs.2006.05.007

Serna-Saldivar, S.O., Espinosa-Ramirez, J. (2019). *Grain structure and grain chemical composition, Sorghum and Millets* (p.85–129). St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists. doi:10.1016/B978-0-12-811527-5.00005-8.

Singh, N., Singh, P., Shevkani, K., Viridi, A.S. (2019). Amaranth; potential source for flour enrichment. *Flour and Breads and Their Fortification in Health and Disease Prevention* (p.123-135). UK: Elsevier Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-814639-2.00010-1

Stikic, R., Glamoclija, D., Demin, M., Vucelic-Radovic, B., Jovanovic, Z., Milojkovic-Opsenica, D., Jacobsen, S., Milovanovic, M. (2012). Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations. *Journal of Cereal Science*, 55, 132-138.

Sur, E.B., Çiçek, Ş.K. (2021). Chia tohumunun kimyasal, antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri. *Gıda*, 46(4), 971-979. doi:10.15237/gida.GD21055

Taenzler, B., Esposti, R. F., Vaccino, P., Brandolini, A., Effgen, S., Heun, M., Schafer-Pregl, R., Borghi, B., Salamini, F. (2002). Molecular linkage map of Einkorn wheat: mapping of storage-protein and soft-glume genes and bread-making quality QTLs. *Genetics Research*, 80(02), 131-143. doi:10.1017/s001667230200575x

Taneyo-Saa, D., Turrioni, S., Serrazanetti, D.I., Rampelli, S., Maccaferri, S., Candela, M., Severgnini, M., Simonetti, E., Brigidi, P., Gianotti, A. (2014). Impact of Kamut® Khorasan on gut microbiota and metabolome in healthy volunteers. *Food Research International*, 63, 227–232. doi:10.1016/j.foodres.2014.04.005

Tang, Y., Tsao, R. (2017). Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti-inflammatory, and potential health beneficial effects: A review. *Molecular Nutrition & Food Research*, 61(7), 1600767. doi:10.1002/mnfr.201600767

Taylor, J.R.N., Belton, P.S. (2002). Sorghum. *Pseudocereals and less Common Cereals : Grain Properties and Utilization Potential* (p.25-91). US: Springer-Verlag.

Taylor, J.R.N. (2017). Millets: their unique nutritional and health-promoting attributes. *Gluten-Free Ancient Grains: Cereals, Pseudocereals, and Legumes: Sustainable, Nutritious, and Health-Promoting Foods for the 21st Century* (p.55-105). UK: Elsevier Woodhead Publishing. doi: 10.1016/B978-0-08-100866-9.00004-2

Umeta, M., West, C.E., Fufa, H. (2005). Content of zinc, iron, calcium and their absorption inhibitors in foods commonly consumed in Ethiopia. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18(8), 803-817. doi:10.1016/j.jfca.2004.09.008

Upadhyaya, H.D., Sharma, S., Dwivedi, S.L., Singh, S.K. (2015). Sorghum genetic resources: conservation and diversity assessment for enhanced utilization in sorghum improvement. *Genetics, Genomics And Breeding of Sorghum* (p. 28-55). US: CRC Press.

Valcarcel, M., Ghatak, R., Bhaduri, S., Navder, K.P. (2012). Physical, textural and sensory characteristics of gluten-free muffins prepared with teff flour (*Eragrostis Tef* (zucc) Trotter). *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 112(9), A58. doi:10.1016/j.jand.2012.06.210

Velarde-Salcedo, A.J., Bojórquez-Velázquez, E., de la Rosa, A.P.B. (2019). Amaranth. *Whole Grains and their Bioactives* (p.211–250). UK: Wiley.

Vilcacundo, R., ve Hernández-Ledesma, B. (2017). Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Current Opinion in Food Science*, 14, 1-6. doi:10.1016/j.cofs.2016.11.007

Yaver, E., Bilgiçli, N. (2020). Tahıl benzeri ürünler: bileşimi, beslenme-sağlık üzerine etkileri ve tahıl ürünlerinde kullanımı. *Food and Health*, 6(1), 41-56. doi:10.3153/FH20006

Yılmaz, V.A., Koca, A.F. (2020). Quality, sensorial and textural properties of einkorn and durum bulgur produced with several methods. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 22, 100263. doi: 10.1016/j.ijgfs.2020.100263

Yüksel, F. (2019). Agar ve selüloz gam ilavesinin kavılca (*Triticum Spelta* L.) un ve ekmeğinin reolojik ve dokusal özellikleri üzerine etkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2), 855-861. doi: 10.21597/jist.441336

Zamaratskaia, G., Gerhardt, K., Wendin, K. (2021). Biochemical characteristics and potential applications of ancient cereals - An underexploited opportunity for sustainable production and consumption. *Trends in Food Science & Technology*, 107, 114–123. doi:10.1016/j.tifs.2020.12.006

Zettel, V., Hitzmann, B. (2018). Applications of chia (*Salvia hispanica* L.) in food products. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 43-50. doi:10.1016/j.tifs.2018.07.011

Zhu, F. (2018). Chemical composition and food uses of Teff (*Eragrostis tef*). *Food Chemistry*, 239, 402–415. doi:10.1016/j.foodchem.2017.06.101

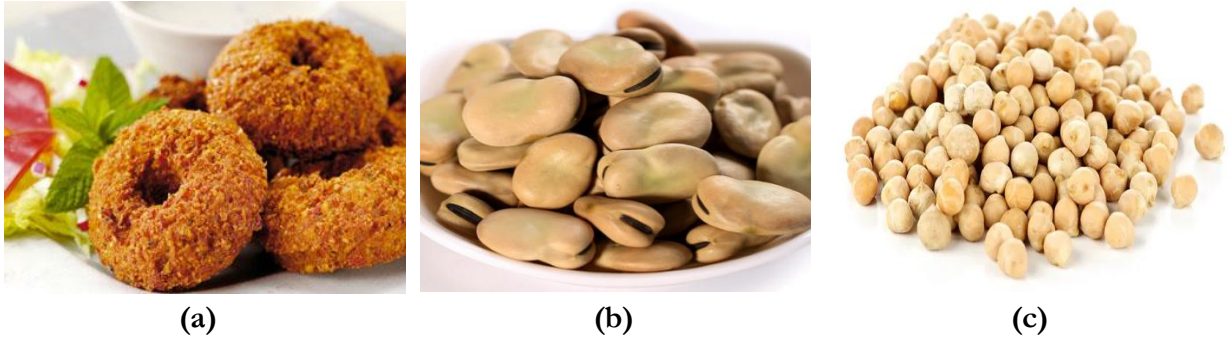


## Suriye'de Tüketilen Besleyici Özel Bir Yemek: Falafel

Mustafa SATOUF<sup>1</sup>  
Mehmet KÖTEN<sup>2</sup>  
Ali Mücahit KARAHAN<sup>3</sup>

### Giriş

Falafel, nohut, bakla veya her ikisinin bir süre suda bekletildikten sonra ezilip yoğrulmasıyla hazırlanan hamurun baharatlar da eklenip şekillendirildikten (tablet şeklinde) sonra derin yağda kızartılmasıyla elde edilen bir köftedir (Şekil 1). Falafel hamuruna baharatlar dışında bazen maydanoz, kırmızıbiber ve susam eklenebilmektedir. Köfteler daha hafif ve kabarık olsun diye ayrıca hamura kabartma tozu (bikarbonat) da ilave edilmektedir (İsmail ve Kucukoner, 2017: 1022).



Şekil 1. (a) Kızarmış falafel topları (b) Bakla (*Vicia faba*) (c) Nohut (*Cicer arietinum*)

Falafel yapımında ana malzeme olan baklanın bir insan gıdası olduğunu ilk bilenlerin Mısırlılar olduğu ve falafelin ilk kez o bölgede yapıldığı bildirilmektedir. Ayrıca falafel kelimesinin, Mısır falafelinin acı tadının kaynağı olan "biber" kelimesinden türeyen Mısır kökenli bir kelime olduğu da belirtilmektedir. Falafel'in diğer adı olan Ta'amia'nın çok sayıda Mısırlı tarafından, Arapça'da "tat" anlamına gelen "ta'am" kelimesinden türetildiği ve Mısır lehçesinden geldiği söylenmektedir. Öte yandan, falafel'in ilk olarak orta çağda Suriyeliler tarafından bilindiği ve ticaret yoluyla Ürdün, Filistin, Lübnan ve Mısır'a yayıldığı ve gezginler aracılığıyla diğer tüm ülkelere taşındığına da inanılmaktadır. Başka bir inanışa göre, falafelin ilk kez Filistin'de bilindiği ve zaman içinde evrim geçirerek bugünkü şeklini aldığı ve bu görüşün birçok Filistinli bilim adamı tarafından desteklendiği bildirilmektedir. Menşei konusundaki anlaşmazlıklara rağmen bu ucuz ve besleyici yemek, hem falafel hem de ta'amiya olarak uluslararası bir ün kazanmıştır. Dünyanın birçok bölgesinde falafel, insanlar tarafından beğenilerek tüketilmekte ancak kökeni konusunda hala bir bilinmezlik yaşanmaktadır (İsmail vd., 2018: 191; Abdullah, 2015: 114).

Mısır'da Ta'amia olarak bilinen ve genellikle bakladan ve nohuttan (Filistin'e özgü ve bugün İsrail'de karşılaşılan şekli) veya ikisinin bir kombinasyonundan yapılan Falafel'in çok eskiden, belirli tatillerde özellikle de paskalya öncesi oruç tutma (Lent'te) zamanlarında et yemelerine izin

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Hemşirelik Bölümü, Orcid: 0000-0002-8349-4899

<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Orcid: 0000-0002-8232-8610

<sup>3</sup> Öğr. Gör., Adıyaman Üniversitesi, Gıda İşleme Bölümü, Orcid: 0000-0001-8779-4349

verilmeyen Mısır Hıristiyanları tarafında tüketildiğine dair bilgiler mevcuttur. Ta'amiya'nın bu şekilde bir et ikamesi olarak kullanıldığı anlaşılmaktadır. Falafel'in daha sonra Orta Doğu'nun diğer bölgelerine yayıldığında, bakla yerine bazen nohutla yapıldığı ve böylece Filistin'deki Yahudi nüfusun (ilk halutzimler) nohutla yapılan yerel Arap versiyonunu benimsedikleri de bildirilmektedir. 1920'lerde falafel genç nesil arasında popüler bir atıştırma haline gelmiş ve 1950'lerde İsrail toplumunda yaygınlaşarak İsrail kültürünün simgelerinden biri haline gelmiştir (Raviv, 2003: 20).

Falafel, Ortadoğu'da geleneksel bir fast-food ve sokak yemeği olarak tüketilmektedir. Günümüzde Filistin, Ürdün, Lübnan, Suriye ve diğer birçok Orta Doğu ülkesi, kahvaltıda ve akşam yemeğinde yenen bu en popüler fast food'u hazırlamak için genellikle nohut kullanmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı USDA'ya göre, ev yapımı falafel %13.3 protein, %17.8 toplam yağ, %31.8 karbonhidrat içeren ve kalsiyum, magnezyum, fosfor, potasyum, sodyum gibi mineraller ile folat, C vitamini, A vitamini gibi vitaminler açısından zengin bir kaynaktır (Al-Asmar vd., 2019: 1).

Suriye'de sadece nohut kullanılarak hazırlanan falafel, tahinli bir sos ve sebzeli salata ile Suriye ekmeğine sarılarak yenmektedir. Ürdün'de ise falafel yapımında en çok nohut ve bakla karışımı tercih edilmekte ve Suriye usulü tüketilmektedir. Öte yandan Mısır'da ise bakla ile hazırlanan falafel (Ta'amiya) kendi geleneksel ekmeklerinin arasında sandviç şeklinde tüketilmektedir (Malouf ve Malouf, 2010: 175; İsmail ve Kucukoner, 2017: 1022-1023). Irak'ta diğer Arap ülkelerinden farklı olarak falafel yapımında sadece nohut kullanılmakta, geleneksel ekmeklerinin arasında özel bir Hint baharatı ile eşsiz bir tat ve lezzet kazandırılarak tüketilmektedir. Falafel hamuru kızartılmadan hemen önce küçük yuvarlak toplar haline getirilip, hem süslemek hem de lezzet katmak için susamla kaplanmaktadır (İsmail vd., 2018: 191) (Şekil 2).

Orta Doğunun vazgeçilmez lezzeti olan falafel, Türkiye'de öncelikli olarak vejeteryenler tarafından keşfedilerek, hayvansal ürün tüketmeyenlerin ilgi odağı olmuştur. Arapların fast-foodu olarak adlandırılan bu lezzet, Suriye'deki iç savaştan kaçıp Türkiye'ye sığınan göçmenler sayesinde Anadolu'da da tanınmaya ve yaygınlaşmaya başlamıştır. Özellikle Suriyeli sığınmacıların yaşadığı bölgelerde yerel halk tarafından beğenilerek tüketilmektedir.



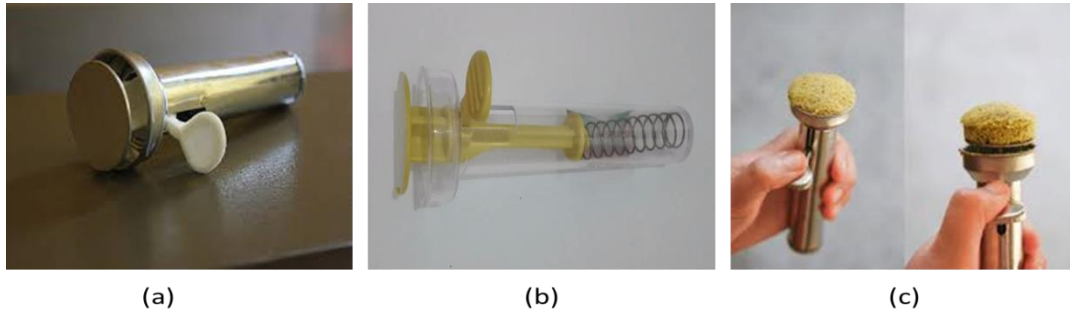
Şekil 2. (a) Suriye falafeli (b) Mısır falafeli (Ta'amiya) (c) Irak falafeli

## FALAFELİN BESİNSEL ÖZELLİKLERİ

Son zamanlarda Avrupalı bilim adamları, lif bakımından zengin sebze ve baklagil içeren Falafel'in ideal kiloyu koruduğu, obeziteyi önlediği, diyabet ve hipertansiyon riskini azalttığı için insan sağlığına oldukça faydalı bir ürün olduğunu bildirmektedirler. Amerika'daki Tıp Merkezi başkanı, Falafel'in yüksek besin özellikli doğal malzemelerden yapıldığına dikkat çekerek, hızlı ve hareketli bir yaşam şekli olan insanlar için en uygun ve sağlıklı bir yiyecek olduğunu vurgulamıştır (Ayat, 2018: 1). Ayrıca falafel, bitkisel bazlı içeriği nedeniyle vitaminler ve biyoaktif bileşenlerce oldukça zengin bir ürün olarak kabul edilmektedir (Fikry vd., 2021: 2). Falafel formülasyonunda baklagil ve yeşil yapraklı sebzelerin yanı sıra yapısında allisin (bağışıklık sistemini güçlendiren ve kalp hastalığı riskini azaltan bir bileşik) barındıran sarımsak içermesi nedeniyle vücuda yüksek anti-oksidatif etki de sağlamaktadır. Fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum, çinko, demir gibi birçok mineral açısından da oldukça zengin bir kaynaktır. Baklagil bazlı bir yiyecek olmasından dolayı falafel, az miktarda karbonhidrat içermesinin yanı sıra önemli miktarda B vitamini, K vitamini, A vitamini ve beta-karoten içermektedir. Yüksek lif içeriği nedeniyle bağırsak hareketlerini geliştirip kabızlığı önleyerek zararlı toksinleri ve atıkları vücuttan atmaya yardımcı olmaktadır (İsmail ve Kucukoner, 2017: 1026). Bitkisel kaynaklı protein açısından oldukça zengin olan falafelin ortalama besin bileşimi Tablo 1'de verilmiştir.

## SURİYE TİPİ FALAFEL YAPIMI

Falafel yaklaşık 150–160°C'de 3 dakika kızartıldıktan sonra tüketilmektedir ve Falafel'e özgü şeklini vermek için özel bir kalıp kullanılmaktadır (Şekil 3). Falafel'i koyulaşmış ve artık köpürmeye başlamış yağda kızartmak, rengini ve lezzetini oldukça olumsuz yönde etkilediğinden, çoğu restoranda genel bir uygulama olarak bu şekildeki yağ tekrar kullanılmayarak geri dönüşüme gönderilmektedir (Al-Degs vd., 2011: 541).



Şekil 3. (a) Geleneksel falafel kalıbı (b) Modern falafel kalıbı (c) Falafelin şekillendirilmesi

Tablo 1. Ev yapımı falafelin ortalama bileşimi (100 g için) (USDA, 2022)

Su (g)	34.60
Protein (g)	13.30
Yağ (g)	17.80
Karbonhidrat (g)	31.80
Kül (g)	2.43
Diyet lif (g)*	5.88
Enerji (kcal)	333
Kolesterol (mg)	0
Kalsiyum, Ca (mg)	54
Magnezyum, Mg (mg)	82
Demir, Fe (mg)	3.42
Çinko, Zn (mg)	1.50
C vitamini (mg)	1.60
Tiamin, B1 (mg)	0.15
Riboflavin, B2 (mg)	0.17
Niasin, B3 (mg)	1.04
Pantotenik asit, B5 (mg)	0.29

\* verywellfit.com sitesinden alınmıştır (Anonymous, 2022)

Falafel, nohut, bakla veya her ikisinin bir süre suda bekletildikten sonra ezilip yoğrulmasıyla hazırlanan hamurun baharatlar da eklenip şekillendirildikten (tablet şeklinde) sonra derin yağda kızartılmasıyla elde edilen bir köftedir. Suriye tipi üretim; nohuttan hazırlanan hamurun, iki saat buzdolabında bekletilip daha sonra şekillendirme, derin yağda kızartma ve sıcak bir şekilde servis edilmesi işlemlerini içermektedir. Falafel sıcak sıcak, üzerine salata da eklenip ekmek arası dürüm yapılarak ya da doğrudan tüketilebilmektedir (Mustafa Satouf, kişisel görüşme, Nisan 2022)

### **Kullanılan malzemeler**

#### **a) Temel malzemeler**

- 500 g nohut
- 10 g sarımsak
- 10 g kimyon
- 15 g öğütülmüş kişniş
- 10~15 g tuz
- 10 g bikarbonat
- 1 litre kızartma yağ

#### **b) İsteğe bağlı malzemeler**

- 30~50 g susam
- 1~2 adet maydanoz
- 50~ 200 g kuru soğan
- 1~2 adet taze yeşil soğan
- 3~5 g karabiber
- 3~5 g kırmızı toz biber
- 30~50 g un

Kullanılan malzemeler bölgeden bölgeye hatta şehirden şehire değiştiğinden malzemeler temel malzemeler ve isteğe bağlı malzemeler şeklinde listelenmiştir. Nohut derin bir kaba koyulur ve üzerini kapatacak kadar soğuk su eklenir ve 10-12 saat (bir gece) ıslatılır. Sonra ıslatılan nohutların suyu süzülür ve birkaç defa yıkanır. Ardından süzülen nohut, maydanoz, kuru soğan, taze yeşil soğan ve sarımsak ile hamur haline gelene kadar robottan geçirilir. Kimyon, karabiber, kırmızı toz biber, tuz, kişniş, bikarbonat ve susam da ilave edilerek istenilen kıvamda ve lezzette hamur elde edilir. Hamur üzeri kapalı bir şekilde buzdolabında iki saat bekletilir. Süre sonunda buzdolabından alınan hamur falafel kalıbıyla küçük toplar haline gerilir. Daha sonra derin yağda 180°C'yi geçmeyecek şekilde altın kahverengi rengi alana kadar yaklaşık 5-6 dakika kızartılır. Kızartılmış falafel topları yağdan çıkartılır ve fazla yağı gidermek için kağıt havlu üzerine koyulur. Bu şekilde hazırlanmış falafel köfteleri (topları) doğrudan sıcak sıcak servis edilebildiği gibi suriye ekmeği (yassı ekme) arasında dilimlenmiş domates, rendelenmiş marul, kızarmış patates, humus, dilimlenmiş salatalık ve turşu eklenerek dürüm şeklinde de servis edilebilmektedir (Şekil 4). Ayrıca çoğu zaman bu dürüme tahinli bir sos da eşlik eder. Tahinli sosu hazırlamak için süzme yoğurt, limon suyu ve tahin bir kaseinin içinde karıştırılır (Mustafa Satouf, kişisel görüşme, Nisan 2022).



Nohutun ıslatılması



Nohutun süzülmesi



Malzemelerin ilavesi



Malzemelerin yoğrulması



Hamur



Şekillendirme



Derin yağda kızartma



Sıcak servis



Ekmek arası servis

Şekil 4. Suriye tipi falafel yapımı

## SONUÇ

Menşei konusundaki anlaşmazlıklara rağmen ucuz ve besleyici bir yemek olan falafel (ta'amiya) uluslararası bir ün kazanmıştır. Hazırlaması da oldukça kolay olan falafelin yüksek miktarda protein içermesinin yanı sıra mineraller ve vitaminler de içermesi onu diğer fast-food yemeklerin yerine tercih edilen bir yemek durumuna getirmiştir. Özellikle vejetaryenler için de uygun bir yemek olarak kabul edilmiştir. Suriye'deki iç savaştan kaçan Suriyelilerin Türkiye'de yerleştikleri şehirlerde kendi kültürlerini devam ettirdikleri görülmektedir. Suriyeli mültecilerin sığındıkları büyük kentlerde hayatlarını idame ettirme çabaları en çok yemek kültürleri üzerine olmaktadır. Özellikle Türklerin de damak tadına hitap eden falafel gibi ürünlerin üretilip satıldığı mekanlar dikkat çekmektedir. Falafel'in sağlık üzerindeki etkilerini, besin değerini ve yapısını ortaya koyabilmek için Falafel hakkında daha fazla bilimsel araştırmaya ihtiyaç vardır. Yapılan bu çalışmayla Suriye'nin geleneksel yemek kültüründe önemli bir yere sahip olan falafelin tanıtımına katkıda bulunmak ve ilgili konuda araştırma yapmak isteyen araştırmacılara kaynak olmak amaçlanmıştır.

## KAYNAKÇA

Abdullah, T. (2015). Reduction of oil uptake in deep fat fried falafel. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*, 2(4), 114–117.

Al-Asmar, A., Giosafatto, C., Panzella, L., Mariniello, L. (2019). The effect of transglutaminase to improve the quality of either traditional or pectin-coated falafel (fried middle eastern food). *Coatings*, 9(5), 331. doi:10.3390/coatings9050331

Al-Degs, Y.S., Al-Ghouti, M., Salem, N. (2011). Determination of frying quality of vegetable oils used for preparing falafel using infrared spectroscopy and multivariate calibration. *Food Analytical Methods*, 4(4), 540–549. doi:10.1007/s12161-011-9201-9

Anonymous. (2022). Falafel nutrition facts and health benefits. (Erişim adresi: <https://www.verywellfit.com/falafel-nutrition-facts-and-health-benefits-5199956>) (Erişim tarihi: 14.04.2022)

Ayat, T. (2018). Falafelin yararları ve zararları. Almrslcom (Erişim adresi: <http://www.almrsl.com/post/300940>, Erişim tarihi: 14.04.2022)

Ismail, M.M., Turgut, S.S., Karacabey, E., Kucukoner, E. (2018). Determination of physical properties of falafel (fried chickpea balls) under the effect of different cooking techniques. *International Journal of Food Engineering*, 4(3), 191–194. doi:10.18178/ijfe.4.3.191–194

Ismail, M., Kucukoner, E. (2017). Falafel: a meal with full nutrition. *Food and Nutrition Sciences*, 8, 1022–1027.

Fikry, M., Khalifa, I., Sami, R., Khojah, E., Ismail, K.A., Dabbour, M. (2021). Optimization of the frying temperature and time for preparation of healthy falafel using air frying technology. *Foods*, 10, 2567. doi:10.3390/foods10112567

Malouf, G., Malouf, L. (2010). *Arabesque: Modern Middle Eastern Food*. Australia: Hardie Grant Books Press, p.557

Raviv, Y. (2003). Falafel: a national icon. *Gastronomica. The Journal of Food and Culture*, 3(3), 20–25.

USDA. (2022). USDA, U.S. Department of Agriculture. (Erişim adresi: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/172455/nutrients>) (Erişim tarihi: 14.04.2022)

## Mermer Blok Üretiminde Kullanılan Zincirli Kollu Kesme Makinesinin Maliyetinin Faaliyet Tabanlı Maliyetleme Yöntemi İle Değerlendirilmesi: Bir Uygulama

Merve KARAABAT VAROL<sup>1</sup>  
M.Saim SARAÇ

### Giriş

Globalleşen dünyada firmaların yüksek kalitede ve olabilen en düşük maliyet ile üretim yapmaları gerekmektedir. Bu nedenle, rekabet ortamındaki işletmelerin dikkat etmesi gereken en önemli unsurlardan birisi en uygun maliyetleme sistemini kullanarak maliyetlerini doğru bir şekilde belirlemeleridir. Basitliğinden dolayı daha yaygın olarak kullanılan geleneksel maliyetleme sisteminde girdiler toplu halde kayıt altına alınmaktadır. Örneğin elektrik gideri tüm işletmenin elektrik gideri olarak tutulduğu için, elektrik ile çalışan bir ekipmanın elektrik gideri bilgisine ulaşmakta ve o ekipmanın maliyet analizinin yapılmasında güçlükler yaşanmaktadır. Bu güçlüğü aşılmasına ve daha ayrıntılı/güvenilir maliyet bilgilerine ulaşılmasına yönelik olarak “Faaliyet Tabanlı Maliyetleme (FTM)” yöntemi geliştirilmiştir. İşletmeler, karla sonuçlanan faaliyetler ile katma değer yaratmayan faaliyetler arasındaki farklılığı çıkarabilmek için maliyet yönetimi yaklaşımlarından biri olan Faaliyet Tabanlı Maliyetleme (FTM) yöntemini uygulamaktadırlar. Cooper ve Kaplan (1988), faaliyet tabanlı maliyetleme kavramının popülerliğini arttırarak bu kavramı, stratejik karar vermede ve bazı operasyonel yetersizliklerde kullanılan bir araç olarak tanımlamaktadır (Akın, 2013).

FTM yönteminin maliyet dağıtım yönü ve süreç yönü olmak üzere iki yönü vardır. Süreç yönü çoğunlukla finansal olmayan operasyonel bilgi verir. Maliyet dağıtım yönü ise kaynaklar, faaliyetler ve maliyet objeleri hakkında bilgi sağlar (Ülker ve İskender, 2005). Faaliyet tabanlı maliyetleme sistemi modelinin bileşenleri; kaynak, faaliyet ve maliyet objeleridir (Şekil 1). Burada amaç, bileşenlerin maliyetini tespit ederek işletmenin performansını değerlendirmektir.

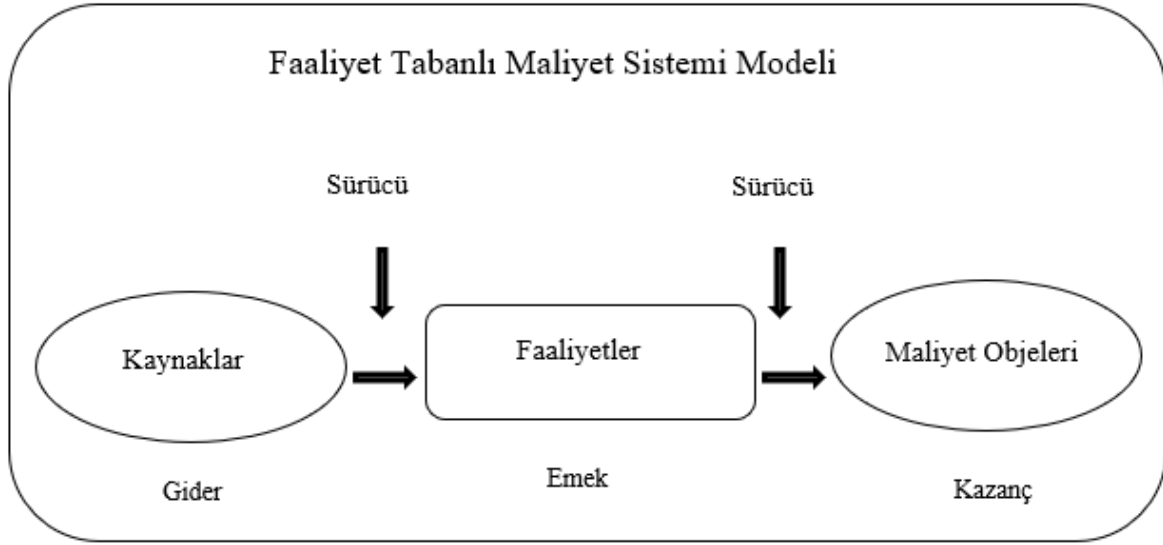
Bir üretim işletmesinde kaynaklar; direkt işçilik, ilk madde ve malzeme, üretime ilişkin endirekt maliyetler ve üretim dışındaki maliyetleri kapsayan ekonomik unsurlardır. Metrekare, kilowatt, işçilik saati, makine süresi ve adet gibi ölçüler faaliyet tarafından tüketilen kaynakların miktarını gösterirler. Bu ölçüler kaynakların maliyetini faaliyetlere dağıtırlar (Karaman, 2010).

FTM’de faaliyetler kaynaklar ile ürünleri birbirine bağlar. Faaliyetler maliyet etkenleri olarak kaynakları tüketir, ürünler de faaliyetleri tüketir. Böylece faaliyetlerin yani kaynakların tüketilmesi maliyetleri ortaya çıkartır. Faaliyet analizinde, tüketilen kaynaklar belirlenir ve işletme faaliyetlerinin etkinliğini ve verimliliğini arttırmak işletme başarısını etkiler (Ülker ve İskender, 2005).

---

<sup>1</sup> Merve KARAABAT VAROL, Arş.Gör., Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü





Şekil 1. Faaliyet tabanlı maliyet muhasebesi sisteminin bileşenleri (Kantekin, 2019)

Faaliyet Tabanlı Maliyetleme, üretim sürecini faaliyetlere ayırıştırarak, işletmenin tüm faaliyetlerini tanımlayan, maliyetleri faaliyete göre sınıflandıran, katma değer yaratmayan faaliyetleri azaltan/ortadan kaldıran ve maliyetlerin sebebi çerçevesinde maliyet tahsis etmeye yönelik bir yaklaşımdır (Kantekin, 2019). İşletmelerin kendilerine göre faaliyet tanımı ve sayısı vardır. FTM yönteminin diğer tanımları ise şu şekildedir:

- FTM, işletmelerin değişen ortam koşullarında faaliyetlerine bağlı sermaye tüketimini açıklamak üzere kurulmuş yeni maliyetleme yöntemlerinden biridir.
- FTM, değişen veya gelişen üretim ortamlarında maliyetin mevcut faaliyetlerle ilişkilendirilmesinde kullanılan etkin bir maliyetleme yöntemidir.

Faaliyet Tabanlı Maliyetleme sisteminde faaliyetler esas alınır. Maliyetlerin tespitinde faaliyetler önemli bir yer almaktadır. Faaliyetler, işletmedeki sadece üretim sürecini değil bu süreci destekleyen tüm olayları da ele almaktadır. Faaliyetlerin tümünü tek bir havuzda toplamak ekonomik olmamaktadır. Bu yüzden, genellikle birbirine yakın/birbirini tamamlayan faaliyetler birleştirilerek maliyet havuzları oluşturulmaktadır. Maliyet havuzları homojendir. Maliyet havuzlarını oluşturmanın avantajı, sadece kullanılan ürün maliyetinin havuza dahil edilmesidir (Karaman, 2010; Akın, 2013). Oluşturulan maliyet havuzları işletmenin oluşturduğu faaliyetlerin durumuna göre; işçilik maliyet havuzu, makine maliyet havuzu, genel maliyet havuzu, kalite kontrol maliyet havuzu şeklinde olabilir.

Mermere olan talebin yükselmesi ve gelişen teknoloji ile birlikte mermer üretimi yıllar içinde önemli derecede artmıştır. Üretimde homojenliğin sağlanamaması, kalite ve standardizasyonda sorunlar yaşanması, ekipmanların etkin kullanılmaması mermer işletmeciliğinde öne çıkan sorunlardır. Sektörün daha çok gelişebilmesi ve bu sorunların minimize edilebilmesi için mermer işletmelerinde maliyetlerin daha ayrıntılı ele alınması gerekmektedir. Böylece işletmelerin karlarını yükseltmeleri ve rekabet edebilmeleri mümkün olacaktır. Mermer işletmelerindeki üretim maliyetleri; ham madde, malzeme, işçilik ve genel üretim giderlerinden oluşmaktadır (Akın, 2013).

Bu çalışmada, bir mermer ocağında üretimde çalışan zincirli kollu kesme makinelerinin etkinlikleri üzerine değerlendirme yapılarak ekipmanların oluşturduğu maliyet analizi Faaliyet

Tabanlı Maliyetleme yöntemi ile yapılmıştır. Hangi ekipmanın maliyeti en çok etkilediği üzerinde durulmuş ve tartışılmıştır.

## **Yöntem**

Mermer ocaklarında blok üretimi, kullanılan ekipmanlara göre adlandırılmaktadır. Bu çalışmada incelenen mermer ocağında zincirli kollu kesme makineleri ve elmas tel kesme makineleri birlikte kullanılmaktadır. Burada zincirli kollu kesme makinelerinin maliyet analizi yapılması amacıyla faaliyet tabanlı maliyetleme sistemi kullanılmıştır.

Faaliyet Tabanlı Maliyetlemeyi Geleneksel Maliyetten ayıran en önemli fark; Geleneksel Maliyetlemede tek bir maliyetleme kaleminin altında ürün maliyeti hesaplanırken, faaliyet tabanlı maliyetlemede işletmenin faaliyetlerine ilişkin çeşitli maliyet havuzları oluşturularak ürün maliyetleri hesaplanmaktadır. Bu çalışmada bir mermer işletmesindeki zincirli kollu kesme makinelerine yönelik olarak faaliyet tabanlı maliyetleme yöntemi uygulanmıştır.

Genel üretim faaliyetlerine uygun olarak 3 farklı maliyet havuzu oluşturulmuştur. Bu havuzlar; işçilik kaynak havuzu, makine kaynak havuzu ve idari kaynak havuzu şeklindedir. Geleneksel Maliyetleme sistemi ile değerlendirilen faaliyet kalemleri, uygun olan maliyet havuzlarına dağıtılmıştır. Genel üretim hattında faaliyet sürücü etkenleri ekipmanların çalışma süreleri üzerinden değerlendirilmiştir. Ekipmanların toplam çalışma süresinin üretim aşamaları belirlendikten sonra bu çalışmada incelenen zincirli kollu kesme makinelerinin çalışma süreleri üzerinden her bir havuz için maliyet dağılımı yapılmıştır. Daha sonra her havuz kaynak sürücü etkenleri, bir diğer ifade ile ekipman sayısı ve ekipmanın toplam çalışma süresine göre kaynak maliyetleri hesaplanmıştır. Daha sonra bir mermer firmasından alınan maliyet kalemleri değerlendirilerek maliyet havuzları oluşturulmuştur.

## **Bir Mermer Ocağına Ait Faaliyet Tabanlı Maliyetleme**

Bir mermer ocağı işletmesinin tuttuğu muhasebe kayıtlarına göre mermer ocağının gider kalemlerini 3 farklı maliyet havuzu altında toplamak mümkündür. Gider kalemlerini oluşturan faaliyetler; iş gücü kaynak havuzu, idari kaynak havuzu ve makine kaynak havuzu olarak gruplandırılmış ve Çizelge 1’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 1. Maliyet havuzlarının oluşturulması

Maliyet Kalemleri	Oluşturulan kaynak havuzu
Maaş giderleri	İş gücü kaynak havuzu
Akaryakıt giderleri	Makine kaynak havuzu
Araç iş makinesi tamir bakım gideri	Makine kaynak havuzu
Elektrik gideri	İdari kaynak havuzu
Mutfak gideri	İdari kaynak havuzu
Madeni yağ gideri	Makine kaynak havuzu
Sarf malzeme giderleri	Makine kaynak havuzu
Nakliye giderleri	İdari kaynak havuzu
Sigorta kasko giderleri	İdari kaynak havuzu

Çeşitli giderler	İdari kaynak havuzu
Maden devlet hakkı	İdari kaynak havuzu
Amortisman giderleri	Makine kaynak havuzu

Çalışılan mermer ocağında 7 adet Fantini marka zincirli kollu kesme makinesi bulunmaktadır. Üretim planına göre hepsi aktif olarak kullanılmaya çalışılmaktadır.

Mermer ocaklarında üretim Çizelge 2’de belirtildiği sırasıyla Delme, Zincirli Kollu Kesme Makinesi ile Üretim, Devirme, Sayalama, Yükleme, Ekskavatör ve Nakliye şeklinde sıralanmaktadır. Bu çalışmada üretim döngüsü boyunca her bir faaliyet için aktif çalışma sürelerine dikkat edilmiş ve bu süreler göre işçilik oranı, makine oranı ve idari oran hesaplanmıştır.

Çizelge 2. Üretim aşamalarının faaliyet havuzlarına dağılımı

FAALİYETLER	İŞÇİ SAYISI	İŞÇİLİK ORANI	MAKİNE SAATİ	MAKİNE ORANI	ÜRÜN MİKTARI (m <sup>3</sup> )	İDARİ ORAN
DELME	2	0,22	6397	0,11	7800	0,14
ZKK	2	0,22	12500	0,22	7800	0,14
DEVİRME	1	0,11	2132	0,04	7800	0,14
SAYALAMA	1	0,11	13038	0,23	7800	0,14
YÜKLEME	1	0,11	9750	0,17	7800	0,14
EKSKAVATÖR	1	0,11	6691	0,12	7800	0,14
NAKLIYE	1	0,11	5351	0,10	7800	0,14
<b>TOPLAM</b>	<b>9</b>	<b>1,00</b>	<b>55859</b>	<b>1,00</b>	<b>54600</b>	<b>1,00</b>

Çizelge 2’de bir blok üretimi için yapılan faaliyetler işçi sayısı, makine çalışma saati ve üretilen ürün miktarı üzerinden ayrı ayrı hesaplanarak oranlanmıştır. Buna bağlı olarak Zincirli Kollu Kesme makinesine düşen maliyet paylarının %22’si işgücü kaynak havuzu, %22’si makine kaynak havuzu, %14’ü idari kaynak havuzu olarak hesaplanmıştır.

- **İşgücü Kaynak Havuzu**

İşgücü kaynak havuzunu sadece maaş giderleri oluşturmaktadır. Çizelge 3’de aylık toplam işgücü maliyetleri ile sadece zincirli kollu kesme makinelerine düşen maliyet payları verilmiştir.

Çizelge 3. Ekipmanlara ait işgücü kaynak havuzunun aylık maliyetleri (TL)

	Toplam Maliyet	ZKK makinelerine düşen maliyet
<b>KASIM</b>	988.548,00	217.480,56
<b>ARALIK</b>	691.702,00	152.174,44
<b>MART</b>	946.899,00	208.317,78
<b>NİSAN</b>	974.112,00	214.304,64
<b>MAYIS</b>	1.021.935,00	224.825,70
<b>HAZİRAN</b>	969.183,00	213.220,26

- **Makine Kaynak Havuzu**

Mermer firmasına ait makine kaynak havuzunu akaryakıt giderleri, araç iş makinesi tamir bakım gideri, madeni yağ gideri, sarf malzeme gideri ve amortisman gideri oluşturmaktadır. İşgücü kaynak havuzunda uygulanan adımlar makine kaynak havuzunda da aynen uygulanmış, ortaya çıkan sonuçlar Çizelge 4'te belirtilmiştir.

Çizelge 4. Ekipmanlara ait makine kaynak havuzunun aylık maliyetleri (TL)

	Toplam Maliyet	ZKK makinelerine düşen maliyet
<b>KASIM</b>	988.548,00	328.318,32
<b>ARALIK</b>	691.702,00	324.919,10
<b>MART</b>	946.899,00	285.903,20
<b>NİSAN</b>	974.112,00	394.369,58
<b>MAYIS</b>	1.021.935,00	330.813,56
<b>HAZİRAN</b>	969.183,00	265.518,66

- **İdari Kaynak Havuzu**

Mermer firması muhasebesi tarafından tutulan aylık maliyet çizelgesindeki elektrik gideri, mutfak gideri, nakliye gideri, sigorta kasko gideri, çeşitli giderler ve maden devlet hakkı kalemleri ise idari kaynak havuzu altında toplanmıştır. İdari kaynak havuzuna ait hesaplamalar da işgücü kaynak havuzu ve makine kaynak havuzu gibi eşit olacak şekilde dağılım yapılmıştır (Çizelge 5).

Çizelge 5. Ekipmanlara ait idari kaynak havuzunun aylık maliyetleri (TL)

	Toplam Maliyet	ZKK makinelerine düşen maliyet
<b>KASIM</b>	988.548,00	110.960,50
<b>ARALIK</b>	691.702,00	47.721,38
<b>MART</b>	946.899,00	89.983,88
<b>NİSAN</b>	974.112,00	147.028,00
<b>MAYIS</b>	1.021.935,00	220.047,24
<b>HAZİRAN</b>	969.183,00	106.538,88

Her bir ekipman için oluşan toplam gider sahada çalışan tüm zincirli kollu kesme makinelerinin toplam çalışma saatine bölünmüş, ortaya çıkan sonuç ekipmanın çalışma saati ile çarpılarak faaliyet tabanlı maliyeti hesaplanmıştır. Değerlendirme Çizelge 6'da verilen ekipmanların net operasyon sürelerine göre yapılmıştır.

Çizelge 6. Ekipmanların net operasyon süreleri (dak.)

<b>EKİPMANIN ADI</b>	<b>KASIM</b>	<b>ARALIK</b>	<b>MART</b>	<b>NİSAN</b>	<b>MAYIS</b>	<b>HAZİRAN</b>
6467	12.500	12.645	7.630	14.675	4.375	1.455
6481	13.080	12.240	11.100	8.085	960	-
6406	13.596	12.360	11.124	13.596	14.956	13.596
6390	13.860	12.600	11.340	13.860	15.246	13.860
6470	10.428	9.480	8.532	10.428	11.471	10.428
6361	14.982	13.620	12.258	14.982	16.480	14.982
6405	15.906	14.460	13.014	15.906	17.497	15.906
<b>TOPLAM ÇALIŞMA SAATİ</b>	<b>94.352</b>	<b>87.405</b>	<b>74.998</b>	<b>91.532</b>	<b>80.984</b>	<b>70.227</b>

6 ay boyunca sahada ekipmanların çalışma süreleri üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Bu süre boyunca 7 adet zincirli kollu kesme makinelerine düşen maliyet Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. Ekipmanlara ait toplam faaliyet tabanlı maliyeti (TL)

<b>EKİPMANIN ADI</b>	<b>İŞGÜCÜ KAYNAK HAVUZU</b>	<b>MAKİNE KAYNAK HAVUZU</b>	<b>İDARİ KAYNAK HAVUZU</b>	<b>TOPLAM</b>
6406	198.388	306.739	103.183	608.310
6390	202.240	312.696	103.183	618.118
6470	152.161	235.266	103.183	490.610
6361	218.612	338.009	103.183	659.803
6405	232.094	358.855	103.183	694.132
6467	122.943	206.190	103.183	432.316
6481	103.886	172.087	103.183	379.155
<b>TOPLAM</b>	<b>1.230.323</b>	<b>1.929.842</b>	<b>722.280</b>	<b>3.882.446</b>

Mermer firmasına ait mermer ocağının blok üretiminden gelen gelirin hem elmas tel kesme makinelerinin hem de zincirli kollu kesme makinelerinin aktif olarak kullanılması ile elde edildiği göz önüne alındığından eşit oran olarak değerlendirilmiştir. Çizelge 8'de aylık üretime göre satışı yapılan blok üretiminin, zincirli kollu kesme makinesine düşen payı gösterilmektedir. Her bir zincirli kollu kesme makinesine ait gelir dağılımı ise Çizelge 9'da gösterilmektedir.

Çizelge 8. Üretime göre gelen gelirin ekipmanlara dağılımı

	Kasım 2018	Aralık 2018	Mart 2019	Nisan 2019	Mayıs 2019	Haziran 2019
ÜRETİM (ton)	7.800,00	7.800,00	7.800,00	7.800,00	7.800,00	7.800,00
ETK nin üretimdeki payı	%50	%50	%50	%50	%50	%50
ZKK nin üretimdeki payı	%50	%50	%50	%50	%50	%50
Blok fiyatı (\$/ton)	385,00	385,00	385,00	385,00	385,00	385,00
\$ kuru (TL/\$)	5,4275	5,3863	5,4662	5,7856	6,0638	5,8810
GELİR (TL)	16.298.782,5	16.175.058,9	16.414.998,6	17.404.186,8	18.209.591,4	17.660.643,0
ZKK' ya düşen pay (TL)	8.149.391,25	8.087.529,45	8.207.499,30	8.702.093,40	9.104.795,70	8.830.321,50

Çizelge 9. Zincirli kollu kesme makinelerinin gelire göre dağılımı (TL)

EKİPMANIN ADI	GELİR
6406	8.218.909
6390	8.378.500
6470	6.303.824
6361	9.056.759
6405	9.615.326
6467	5.154.679
6481	4.353.634
<b>TOPLAM</b>	<b>51.081.631</b>

## Sonuç

Günümüz koşullarında maliyet muhasebesi, yöneticilerin üretim planlaması için çok önemlidir. Bu çalışmada, 6 ay boyunca bir mermer ocağında çalışan zincirli kollu kesme makinelerine ait maliyet analizi Faaliyet Tabanlı Maliyetleme yöntemi uygulanarak yapılmıştır. FTM'de, ürün başına maliyeti bulurken, bu ürünü üretmek için kullanılan faaliyetleri belirleyerek, bu faaliyetlerin maliyetleri hesaplanmaktadır.

Bu çalışmada üretimde aktif rol oynayan zincirli kollu kesme makinelerine ait maliyet ve gelir analizi yapılmıştır. Geleneksel maliyetleme yöntemi ile direkt malzeme, işçilik ve hammadde maliyetleri belirlenirken, bu çalışmada ekipmanlara ait maliyetler ayrı ayrı analiz edilmiştir. Böylece

ekipmanların neden olduğu maliyetlerin ne kadarının hangi maliyet havuzunda olduğu tespit edilebilmektedir.

Bu çalışmada zincirli kollu kesme makinelerinin üretime olan katkısını daha doğru bir biçimde belirlemek için Faaliyet Tabanlı Maliyetleme yöntemi yapılmıştır. Burada üretimin % 50 oranındaki payı zincirli kollu kesme makinelerinden oluşmaktadır. Üretim zincirinde zincirli kollu kesme makinelerine düşen pay, iş gücü kaynak havuzu için %22, makine kaynak havuzu için %22 ve idari kaynak havuzu için %14'den oluşmaktadır. Bu durumda 6 aylık maliyet sistemine bakıldığında 1.230.323,38 TL işgücü kaynak havuzunu, 1.929.842,42 TL makine kaynak havuzunu ve 722.279,88 TL idari kaynak havuzunu oluşturmaktadır. Zincirli kollu kesme makinelerine düşen Faaliyet Tabanlı Maliyetleme analizinde en yüksek payı %49,7 ile makine kaynak havuzu yer almaktadır. Daha sonra %31,7 ile iş gücü kaynak havuzu ve %18,6'lık kısmı da idari kaynak havuzunu oluşturmaktadır.

Bu çalışmada zincirli kollu kesme makinelerinin çalışma sürelerinin maliyete olan etkisi incelenmiştir. Zincirli kollu kesme makineleri arasında 6405 kodlu ekipman en çok maliyete neden olmakta ve en çok geliri getirmektedir. Bu durum 6405 kodlu ekipmanın aktif bir şekilde devamlı üretim planında olduğunu göstermektedir.

Söz konusu bu çalışma işletmeler açısından maliyetleri değerlendirme ve minimuma indirerek karı arttırmak için önemlidir. Bu nedenle her işletme benzer çalışmaları yürüterek çıkan sonuçları değerlendirmelidir. Özellikle mermer işletmelerinde düzgün tutulmayan maliyetler işletmelerin gelir-gider analizlerinde yanlışlıklara yol açabilmektedir. Maliyetlerin benzer şekilde analiz edilmesi işletme idarecilerine ışık tutacak, maliyet artışlarının önüne geçerek karın artırılabilmesinin yolunu açabilecektir.

## Kaynakça

Akın, O., 2013. Geleneksel Maliyet Muhasebe Sistemi ile Faaliyet Tabanlı Maliyetleme Sisteminin Karşılaştırılması Mermer İşletmesi St Örneği. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 5(8), 21-49.

Kantekin, A., 2019. Bir Mermer Ocağında Faaliyet Tabanlı Maliyet Analizi. *Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 50s, Ankara.

Karaman, D., 2010. Faaliyet Tabanlı Maliyetleme Sistemi ve bir Mermer İşletmesinde Uygulama Örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 106s, Isparta.

Ülker, Y., İskender, H., 2005. Doğru Maliyet Hesaplamada Güvenilir Bir Sistem Faaliyet Tabanlı Maliyetleme ve John Deere Örneği. *Balikesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(13), 189-217.



## Eklemeli İmalat Yöntemiyle Üretilen Parçalarda Rassal Titreşim Tabanlı Topoloji Optimizasyonu

Merve YILDIZ<sup>1</sup>  
Oğuzhan YILMAZ<sup>2</sup>

### Giriş

Deniz araçlarında titreşim ve mekanik deformasyonların temel kaynağı dinamik yük döngüleridir. Bu yükler mekanik yapıların zarar görmesine ve servis ömrünün azalmasına neden olmaktadır. Statik ve dinamik yüklerin varlığı deniz platformlarına yerleştirilen radar anten yapılarının performansını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bundan dolayı anten yapılarının sahip olduğu mekanizmaların ve elektronik birimlerin titreşimden zarar görmeyecek şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, antenin yapısal titreşimlerinin fonksiyonel performansı üzerindeki etkilerini en aza indirmek için, belirli bir radar anten yapısının deniz aracına bağlantısını sağlayan ve eklemeli imalat yöntemi kullanılarak üretilen yapının titreşim ve optimizasyon analizlerini yaparak dinamik özelliklerini iyileştirmektir. Bu radar anteni insansız çalışan bir deniz üstü platformuna entegre edilecektir.

Topoloji optimizasyonu, belirli bir tasarım alanı içerisindeki malzeme dağılımını belirli bir yük ve sınır koşulları için optimize eden ve istenilen tasarıma ulaşmada büyük kolaylık sağlayan bir yaklaşımdır. Bu sayede hafif ve imalata uygun tasarımlar yapılabilmektedir. Eklemeli imalat ile tasarımda meydana gelen esneklik sayesinde optimizasyon çalışmalarından elde edilen karmaşık geometri yapıları üretmek mümkündür. Optimizasyon çalışmaları ve eklemeli imalat yöntemlerinin uygulama alanları artarken yapıların mekanik özelliklerini belirlemek zorunlu hale gelmiştir. Bunun için mevcut literatürde statik çalışma durumundaki mekanik davranışını incelemek ve yapının doğal frekansını maksimize etmek amacıyla birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak yapıların rassal titreşime maruz kalması durumunda nasıl bir davranış gösterdiği üzerinde durulmamıştır.

Kumar ve Arumaikkannu çalışmasında, bir yolcu aracına montajlanan alternatör braketinin ilk doğal frekansı 450 Hz üzerine çıkarmak amacıyla topoloji analizi ile yeniden tasarlanmış ve modal test uygulayarak topoloji optimizasyonu ile elde edilen nihai ürünün daha iyi yük taşıma kapasitesine sahip olduğunu doğrulamıştır. (Kumar G.A., 2020)

Wilner ve arkadaşları, eklemeli imalat ve topoloji optimizasyonunu kullanmanın avantajlarını değerlendirmek amacıyla bir uydu aracının gözlemeleme sistem braketinde çalışmalar yürütmüştür. %30 oranında ağırlıkta düşüş, rijitlik/mukavemet oranında artış sağlamak amaçlanmıştır. Statik analizler üzerinden topoloji optimizasyonu çalışmaları yürütülmüş ve nihai tasarıma ulaşıldıktan sonra rastgele titreşim testleri uygulanmış. Testler esnasında herhangi bir hasar veya plastik deformasyon gözlemlenmemiştir. (Wilner R., 2020)

Cheng ve arkadaşları, doğada dikkat çeken bambunun mikro ölçekteki aynı birim desenine sahip hücresel yapıyı, eklemeli imalat yöntemini kullanarak elde etmeyi amaçlamıştır. Doğal frekans

---

<sup>1</sup> Merve YILDIZ, Öğrenci, Gazi Üniversitesi, Makine Mühendisliği

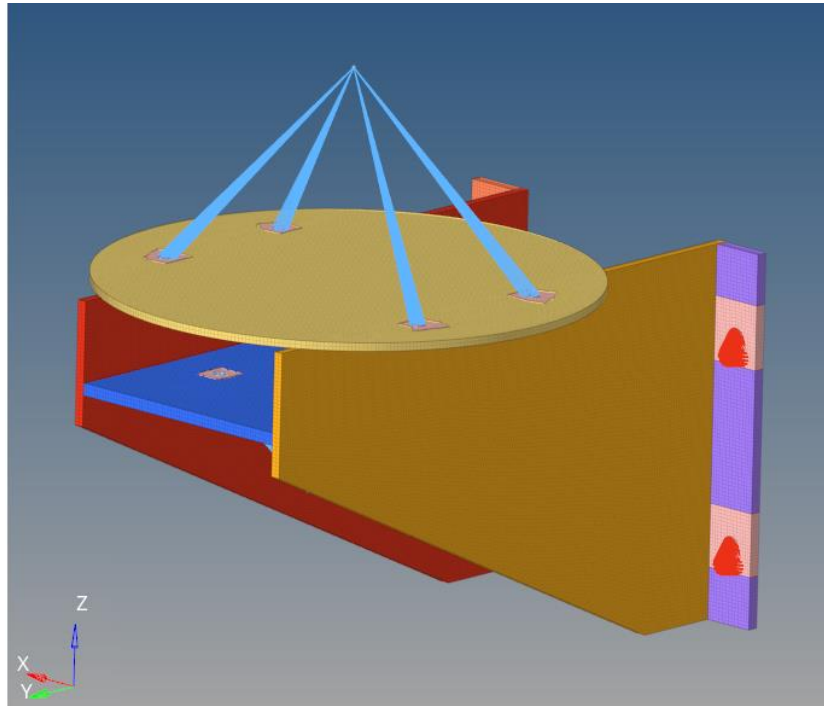
<sup>2</sup> Oğuzhan YILMAZ, Prof. Dr., Gazi Üniversitesi, Makine Mühendisliği

değerini maksimum seviyeye çıkararak, değişken yoğunluklu kafes yapılar tasarlamıştır. Topoloji optimizasyon, homojenleştirme ve test çalışmaları sonucunda kafes yapıların titreşime maruz kaldığındaki rijitliği ispatlanmıştır. (Cheng L., 2018)

## Yöntem

### Sonlu Elemanlar Analiz Çalışmaları.

Radar antenin deniz platformuna bağlantısını sağlayan yapının optimum tasarımı elde edilene kadar modal analiz, rastgele titreşim analizi, topoloji optimizasyon ve yeniden tasarım şeklinde bir döngü olarak analiz çalışmaları yürütülmüştür. Bu sonlu elemanlar analiz çalışmaları Hypermesh (Optistruct) veya Ansys programları kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 8: Sonlu Elemanlar Modeli

Yapının sonlu elemanlar modeli oluşturulurken katı elemanlar kullanılmıştır. Parçalar arasındaki kontaklardan kaynaklı ekstra matris oluşturulmaması amacıyla yapıya kontak tanımlaması yapılmamıştır. Parçalar arasında eleman devamlılığı sağlanarak yapı bir bütünlük gibi çözdürülmüştür. Radar anten yapısı ağırlık merkezi ve ataleti noktasal kütle olarak RBe2 rijit elemanlar ile üst tabla yapısına bağlanmıştır. Yapı 4 civata deliğinin tüm serbestlik derecelerinden sınırlandırılmıştır. Tüm yapıya Ti6Al4V malzemesi tanımlanmıştır. Analizlerde kullanılan malzemenin mekanik özellikleri ANSYS malzeme kütüphanesinden alınmıştır.

İlk olarak modal analiz yapılarak yapının doğal frekansları ve mod şekilleri bulunmuştur. Modal katılım faktörlerine bakılarak  $x$ ,  $y$  ve  $z$  eksenlerinde yapının en çok tahrik olacağı doğal frekans değerleri elde edilmiştir. (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**)

Tablo 12: Modal Katılım Faktörleri

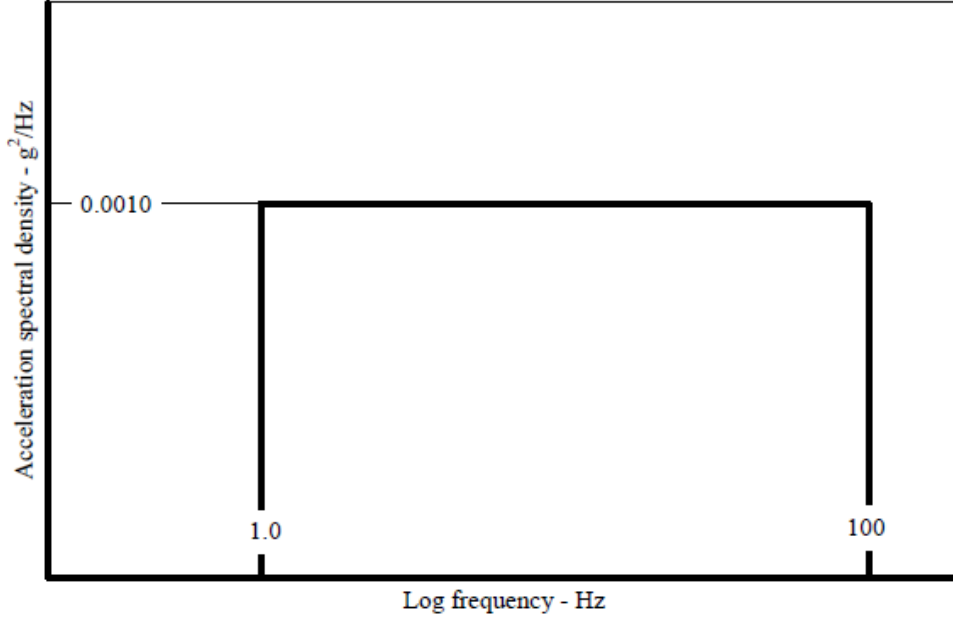
Mod	Frekans [Hz]	X	Y	Z	Rot X	Rot Y	Rot Z
1	158,99	30,46%	0,00%	0,00%	0,00%	66,45%	28,69%
2	178,96	0,00%	26,37%	35,74%	90,14%	2,80%	2,54%
3	295,75	48,32%	0,00%	0,00%	0,00%	17,02%	56,83%
4	326,6	0,00%	15,79%	46,31%	0,50%	3,58%	1,53%
5	553,73	0,00%	2,01%	0,30%	0,90%	0,02%	0,19%
6	589,48	4,21%	0,00%	0,00%	0,00%	1,23%	0,57%
7	699,91	0,00%	1,23%	0,19%	0,00%	0,01%	0,12%
8	762,54	0,00%	21,76%	0,21%	3,94%	0,02%	2,11%
9	886,06	0,33%	0,00%	0,00%	0,00%	0,76%	2,60%
10	952,52	0,00%	0,14%	0,15%	0,06%	0,01%	0,01%
11	1137	0,00%	0,02%	1,02%	0,00%	0,08%	0,00%
12	1185,2	0,00%	4,02%	0,01%	0,99%	0,00%	0,39%
13	1189,3	1,96%	0,00%	0,00%	0,00%	0,80%	0,59%
14	1382,7	0,00%	0,05%	0,11%	0,02%	0,01%	0,00%
15	1407,6	0,13%	0,00%	0,00%	0,00%	0,11%	0,41%
<b>Toplam</b>		<b>85,40%</b>	<b>71,39%</b>	<b>84,04%</b>	<b>96,54%</b>	<b>92,90%</b>	<b>96,59%</b>

Modal analiz sonuçlarına göre; yapının  $x$  ekseninde en çok hareket ettiği mod 296 Hz,  $y$  ekseninde en çok hareket ettiği mod 179 Hz ve  $z$  ekseninde en çok hareket ettiği mod 327 Hz bulunmuştur.

Rassal titreşim, içerisinde sistemin tahrik frekanslarının tümünü aynı anda uyuracağı bant genişliğine sahip olduğu için en gerçekçi sonuç veren salınım şeklidir. Rassal titreşim, güç spektral yoğunluğu (PSD) adı verilen grafik ile ölçülendirilir. Rassal titreşim analizleri, doğrudan integrasyon veya mod birleştirme yöntemi ile 2 farklı şekilde yapılabilmektedir. Doğrudan integrasyon yönteminde direngenlik matrisi köşegen (diyagonal) olmadığı için çözülmesi gereken denklem sayısı yüksektir. Büyük yapıların bu yöntemle çözülmesinde önemli miktarda zaman ve bilgisayar kaynağı gerekmektedir. Mod birleştirme yönteminde, modal analizle elde edilen modlar kullanılmaktadır. Modal analizde mod şekillerinin bulunmasına yardımcı olan öz vektörlerin ortogonal özellikleri kullanılarak direngenlik matrisi köşegen olmaktadır. Ayrıca sönümleme matrisi, kütle ve direngenlik matrislerinin kombinasyonu olarak kabul edilmektedir. Bu şekilde matrislerin köşegen olması kullanılarak çözülmesi gereken denklem sayısı azalmaktadır. Bundan dolayı mod birleştirme yönteminin kullanılması zaman ve bilgisayar kaynaklarından tasarruf sağlamaktadır. Ancak bu

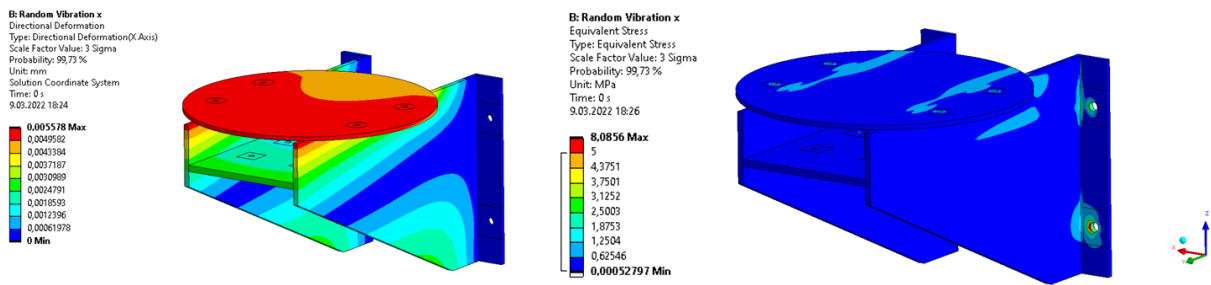
yöntemde dirençlik matrisinin köşegen kabul edilmesi ve yeterli miktarda mod sayısının çıkarılmaması hataya neden olabilmektedir. (Bathe, 2001)

Bu çalışmada yürütülen rassal titreşim analizleri mod birleştirme yöntemi kullanılarak çözdürülmüştür. Modal analizle elde edilen modlar üzerine titreşim yükleri uygulanmıştır. Titreşim analizleri  $x$ ,  $y$  ve  $z$  eksenleri için ayrı ayrı yürütülmüştür. Radom anten yapısı deniz platformuna entegre edileceğinden dolayı MIL-STD-810G-CHG-1 askeri standardında tanımlı, 514.7D-9 grafiğinde verilen deniz taşıtları titreşim profili (Şekil 9) uygulanmıştır. Yapıya %5 oranında yapısal sönümleme uygulanmıştır.



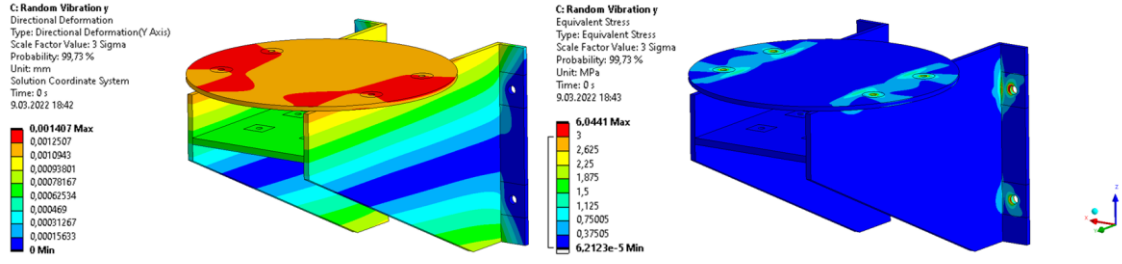
Şekil 9: Deniz Taşıtları Titreşim Profili (MIL-STD-810G-Change1, 2014)

$x$  eksenini için yürütülen rassal titreşim analizi sonucuna göre  $3\sigma$  toplam deplasman miktarı 0.006 mm,  $3\sigma$  eşdeğer gerilme değeri 8.1 MPa bulunmuştur. (Şekil 10)



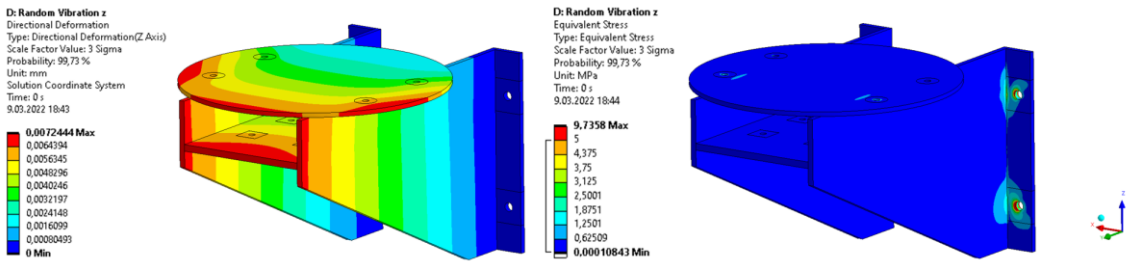
Şekil 10:  $x$  Eksenini Rassal Titreşim Analizi Sonuçları

$y$  eksenini için yürütülen rassal titreşim analizi sonucuna göre  $3\sigma$  toplam deplasman miktarı 0.001 mm,  $3\sigma$  eşdeğer gerilme değeri 6 MPa bulunmuştur. (Şekil 11)



Şekil 11: y Eksenli Rassal Titreşim Analizi Sonuçları

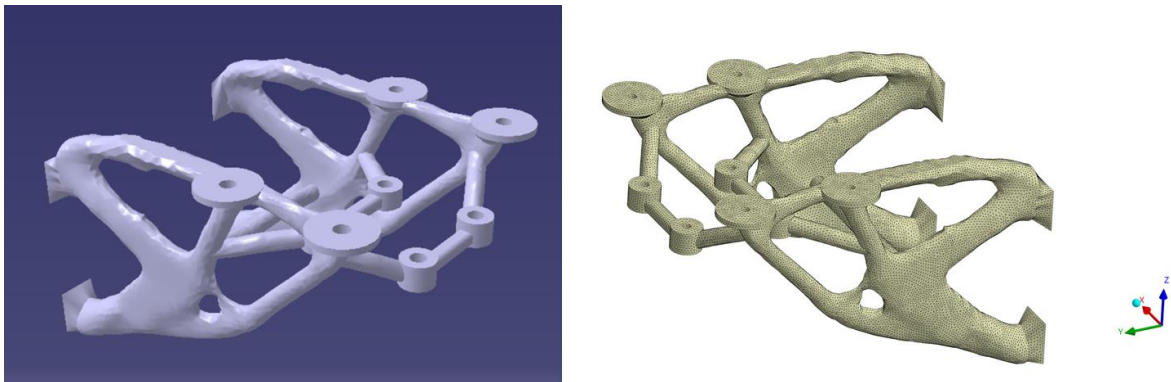
z eksenine için yürütülen rassal titreşim analizi sonucuna göre  $3\sigma$  toplam deplasman miktarı 0.007 mm,  $3\sigma$  eşdeğer gerilme değeri 9.7 MPa bulunmuştur. (Şekil 12)



Şekil 12: z Eksenli Rassal Titreşim Analizi Sonuçları

### Topoloji Optimizasyonu.

Topoloji optimizasyon çalışmalarının ilk aşaması tasarım değişkenlerini tanımlamaktır. Optimizasyon tasarım değişkenleri dışında kalması gereken 3 önemli bölge bulunmaktadır. Bunlar; radar anten yapısının bağlantısını sağlayan 4 adet civata deliği, kameranın bağlantısını sağlayan 4 adet civata deliği ve yapının deniz platformunun direğine bağlantısını sağlayan 4 adet civata deliği olarak belirlenmiştir. Amaç fonksiyonu ağırlığı azaltmak olarak tanımlanmıştır. Aynı zamanda sınır fonksiyonu olarak maksimum gerilme değeri tanımlanmıştır. Optimizasyon çalışmaları sonucunda elde edilen stl uzantılı model doğrulama analizleri yapmak için yeniden düzenlenmiştir.



Şekil 13: Optimizasyon Sonrası Yeniden Tasarlanmış Model

### Analizler ile Doğrulama.

Optimizasyon sonrası yeniden tasarlanmış modeli doğrulamak için sonlu elemanlar analiz çalışmaları yapılmıştır. İlk olarak modal analiz yapılarak yapının doğal frekansları ve mod şekilleri

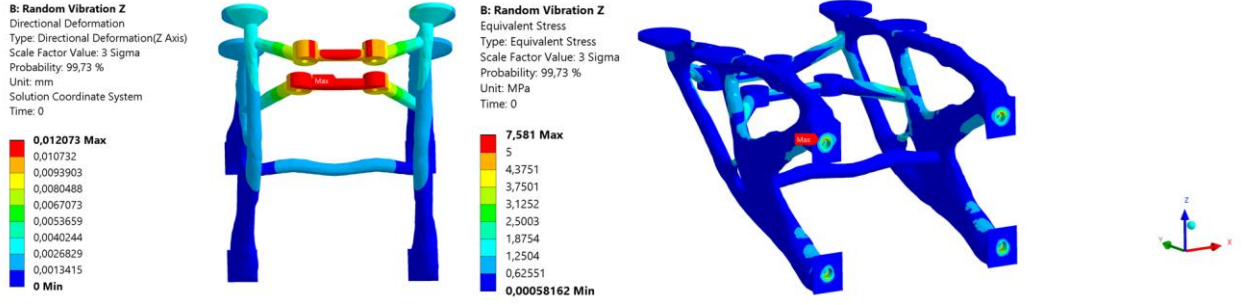
bulunmuştur. Modal katılım faktörlerine bakılarak  $x$ ,  $y$  ve  $z$  eksenlerinde yapının en çok tahrik olacağı doğal frekans değerleri elde edilmiştir.

**Tablo 13:** Modal Katılım Faktörleri

Mod	Frekans [Hz]	X	Y	Z	Rot X	Rot Y	Rot Z
1	90,19	<b>82,41%</b>	0,00%	0,00%	0,00%	81,20%	82,96%
2	182,06	0,00%	15,77%	0,01%	1,83%	0,00%	1,60%
3	294,75	0,00%	4,8%	31,72%	39,23%	2,17%	0,05%
4	336,04	0,00%	<b>38,78%</b>	3,45%	52,26%	0,02%	3,93%
5	365,45	1,58%	0,00%	0,00%	0,00%	5,61%	2,34%
6	773,18	6,56%	0,00%	0,00%	0,00%	1,43%	0,05%
7	782,68	0,00%	6,21%	5,63%	0,03%	0,04%	0,06%
8	908,38	0,00%	4,97%	<b>48,96%</b>	2,98%	0,02%	0,05%
9	943,16	0,61%	0,00%	0,00%	0,00%	0,09%	0,00%
10	1350,8	0,00%	0,00%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%
11	1433,7	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,00%
12	1464,3	0,00%	1,58%	0,00%	0,03%	0,00%	0,02%
13	1746,4	1,15%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%
14	1843,1	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%	0,00%	0,00%
15	1986,7	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%
<b>Toplam</b>		<b>92,52%</b>	<b>72,22%</b>	<b>90,16%</b>	<b>96,90%</b>	<b>95,49%</b>	<b>92,53%</b>

Modal analiz sonuçlarına göre; yapının  $x$  ekseninde en çok hareket ettiği mod 90 Hz,  $y$  ekseninde en çok hareket ettiği mod 336 Hz ve  $z$  ekseninde en çok hareket ettiği mod 908 Hz bulunmuştur. Modal analizle elde edilen modlar üzerine MIL-STD-810G-CHG-1 askeri standardında tanımlı, 514.7D-9 grafiğinde verilen deniz taşıtları titreşim profili (Şekil 9) uygulanmıştır. Titreşim analizleri  $x$ ,  $y$  ve  $z$  eksenleri için ayrı ayrı yürütülmüştür. Yapıya %5 oranında yapısal sönümleme uygulanmıştır.

$z$  eksenini için yürütülen rassal titreşim analizi sonucuna göre  $3\sigma$  toplam deplasman miktarı 0.01 mm,  $3\sigma$  eşdeğer gerilme değeri 7.6 MPa bulunmuştur. (Şekil 14)



Şekil 14: z Eksenli Rassal Titreşim Analizi Sonuçları

Topoloji optimizasyon çalışmaları sonucunda yapıda %45 oranında ağırlık hafiflemesi elde edilmiştir. Analizler tekrarlanıp sonuçlar incelendiğinde yapı kalıcı olarak zarar görmemektedir. (Tablo 14)

Tablo 14: Orijinal Parça ile Optimize Edilmiş Parça Kıyaslaması

	Optimizasyon Öncesi	Optimizasyon Sonrası
Ağırlık (kg)	4	1.8
3σ Toplam Deplasman (mm)	0.007	0.01
3σ Eşdeğer Gerilme (MPa)	9.7	7.6

## Sonuç

Bu çalışma belirli bir radar antenin deniz platformuna bağlantısını sağlayan yapının titreşim karakteristiğini geliştirmek ve ağırlık hafifletmek amacıyla yürütülmüştür. Eklemeli imalat ile üretilen yapıların mekanik titreşim yükleri altında görevini yerine getirebileceği analizlerle gösterilmiştir. Rassal titreşim analizlerine topoloji optimizasyon çalışmaları yapılabileceği gösterilmiştir. Bu sayede eklemeli imalat ile üretilebilecek tasarımlar elde edilerek amacı doğrultusunda kullanılabilen daha hafif bir yapı elde edilmiştir.

## Kaynakça

Bathe, K. J. (2001). *Finite element procedures*. New Jersey: Prentice Hall.

Cheng L., v. (2018). Natural Frequency Optimization of Variable-Density Additive Manufactured Lattice Structure: Theory and Experimental Validation. *Manufacturing Science and Engineering*, 15.

Kumar G.A., A. G. (2020). Multi Objective Topology Optimization of Additive Manufactured Alternator Bracket. *Materials Today*, 12.

MIL-STD-810G-Change1. (2014). Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests. *US Department of Defense*, 514.7D-21.

Wilner R., v. (2020). Potential and Challenges of Additive Manufacturing for Topology Optimized Spacecraft Structures. *Journal of Laser Application*, 20.



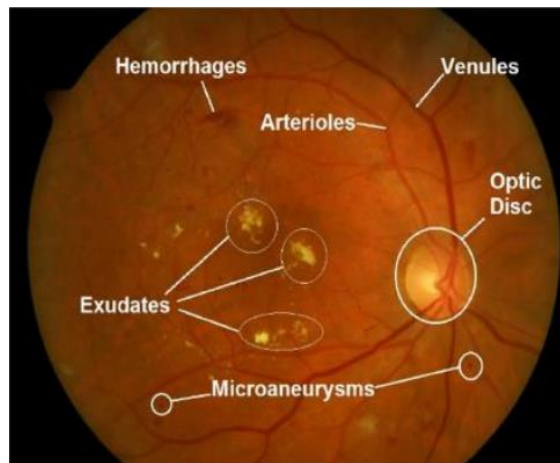
## Resnet50 ve Xception Derin Öğrenme Modellerinin Diyabetik Retinopati'nin Derecelendirilmesindeki Başarı Seviyelerinin Karşılaştırılması

Muhammed Akif Yenikaya<sup>1</sup>  
Erdal Güvenoğlu<sup>2</sup>

### 1. Giriş

Diyabet, kan şekeri (glikoz) seviyesinin tehlikeli derecede yüksek seviyelere çıktığı kronik bir durumdur. Diyabet, insülin sentezi eksikliğinden veya vücudun insülini doğru şekilde kullanamamasından kaynaklanmaktadır. Diyabet teşhisi konan kişi sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Uluslararası Diyabet Federasyonu (IDF) Atlas'ın 7. baskısına göre 2015 yılında dünya çapında 415 milyondan fazla insanın diyabetten etkilendiği tespit edilmiştir. Vakaların %54' ünden fazlasında herhangi bir tanı bulunmamaktadır. Uluslararası Diyabet Federasyonu'nun resmî web sitesine göre, 2017 yılında Malezya'da yaklaşık 3.492.600 diyabet vakası bulunmakta ve bu sayı gün geçtikçe artmaktadır (IDF, 2022).

Diyabetik Retinopati (DR), şeker hastalarının retinasını etkileyen bir durumdur. Retina, gözün sinirlerinin çoğunu barındıran gözün arkasındaki tabakadır. Bu bölüm görüntünün yakalanması ve beyne iletilmesinden sorumludur. DR, en kötü senaryoda tam körlükle sonuçlanabilecek ciddi bir hastalıktır. Dünya çapında DR, körlüğün %2,6'sına neden olmaktadır (Bourne vd., 2013). Uzun süreli diyabet hastalığına maruz kalan kişilerde DR varlığı olasılığı artmaktadır. DR hastalığı zamanla ilerlemekte ve iki aşamaya ayrılmaktadır. İlk aşaması Şekil 1'de verilen Proliferatif Olmayan Diyabetik Retinopati (NPDR), ikinci aşaması ise Proliferatif Diyabetik Retinopati (PDR) dir (Raklin, 2017). Diyabet hastalarının körlük riskinden kaçınmak için DR'yi erken bir aşamada teşhis etmesi ve tedavi etmesi için düzenli retina taraması şarttır (Harper ve Keeffe, 2012).



Şekil 1. Retinadaki NPDR İşaretleri (Raklin, 2017)

<sup>1</sup> Muhammed Akif Yenikaya, Arş. Gör., Kafkas Üniversitesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü

<sup>2</sup> Erdal Güvenoğlu, Dr. Öğr. Üyesi, Maltepe Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Retina fundus görüntülerini anlamak kolay olmamakla birlikte iyi eğitimli uzmanlar için bile zaman almaktadır (Kaggle, 2022). Tespit ve teşhis edilmesinin ne kadar zor ve uzun bir süreç olduğu düşünüldüğünde, bu hastalığı tespit etmek için otomatik bir yaklaşıma duyulan ihtiyaç göz ardı edilemeyecektir. DR tespiti için otomatik yöntemler maliyet ve zaman tasarrufu sağlamakta ve manuel bir teşhisten daha verimli olmaktadır (Scotland vd., 2010). Manuel tanı, yanlış tanıya yatkın olmakla birlikte otomatik yöntemlerden daha fazla çaba gerektirmektedir.

Bu çalışmada, DR'yi tespit etmek ve sınıflandırmak amacıyla Evrişimli Sinir Ağları (ESA) modellerinden yaygınca kullanılan ResNet ve Xception ağı kullanılmıştır. Aynı veri seti üzerinde yapılan karşılaştırmalardan sonra başarı oranları karşılaştırılmıştır.

## **2. Literatür Taraması**

Bu bölüm, DR veri setinin bir veya birçok sınıfa ayrıldığı çalışmaları gözden geçirmektedir. Bu amaçla gerçekleştirilen bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Gulshan ve ark. (2016), ESA modelini kullanarak DR ve Diyabetik Maküler Ödem (Diabetic Macular Edema - DME) saptamak için bir yöntem tanıtmışlardır. Modeli test etmek için sırasıyla 1748 görüntü ve 9963 görüntü içeren Messidor-2 (Decencière vd.,2014) ve eyepacs-1 veri setlerini kullanmışlardır. Bu görüntüler ilk önce normalleştirilmiş ve çapları, ESA'yı beslemeden önce 299 piksel genişliğinde yeniden boyutlandırılmıştır. 10 ESA'yı çeşitli sayıda görüntü ile önceden eğitilmiş Inception-v3 (Szegedy vd., 2016) mimarisıyla eğitmişlerdir. Nihai sonuç doğrusal bir ortalama fonksiyonla hesaplanmıştır. Görüntüler, yönlendirilebilir DME, orta veya daha kötü DR, şiddetli veya daha kötü DR veya tamamen derecelendirilebilir olarak sınıflandırılmıştır. Her iki veri setinde de %93 özgüllük ve Messidor-2 ve eyepacs-1 veri setleri için sırasıyla %96,1 ve %97,5 duyarlılık elde etmişlerdir. Ancak, DR olmayan veya beş DR aşamalı görüntü açıkça tespit edilememiştir.

M. Abramoff ve ark. (2016), DR görüntülerini algılamak ve sınıflandırmak için bir ESA'yı bir IDX-DR cihazıyla entegre etmişlerdir. 1748 görüntü içeren Messidor-2 (Decencière vd.,2014) veri kümesine veri büyütme uygulanmıştır. Çeşitli ESA'ları retina normal anatomisinin yanı sıra DR lezyonlarını tespit etmek için bir Rastgele Orman sınıflandırıcısı kullanılarak entegre edilmiştir. Bu çalışmadaki görüntüler DR yok, yönlendirilebilir DR veya görmeyi tehdit eden DR olarak sınıflandırılmıştır. 0,980 eğrisi altında bir alan, %96,8 duyarlılık ve %87,0 özgüllük bildirilmiştir. Ne yazık ki, hafif DR aşamasının görüntüleri DR yok olarak kabul edilmiş ve beş DR aşaması dikkate alınmamıştır.

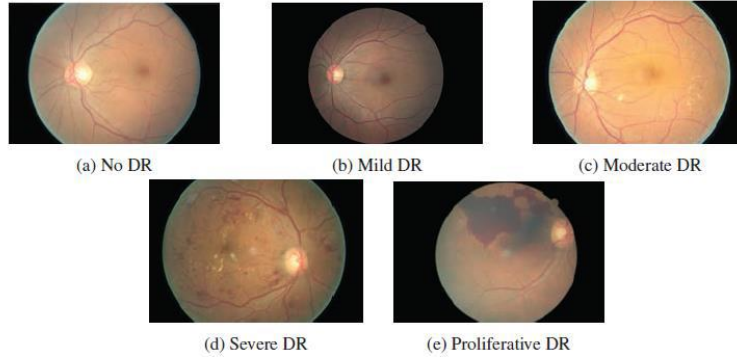
H.Pratt ve ark. (2016), Kaggle veri setinden (Kaggle, 2022) görüntüleri beş DR aşamasına sınıflandırmak için ESA'ya dayalı bir yöntem önerdi. Ön işleme aşamasında, renk normalizasyonu ve 512x512 piksele görüntü boyutlandırma işlemleri yapılmıştır. Özel ESA mimarisi, 10 CONV katmanı, sekiz maksimum havuz katmanı ve üç FC katmanı içermekteydi. SoftMax işlevi, 80.000 test görüntüsü için bir sınıflandırıcı olarak kullanılmıştır. L2 düzenleme ve bırakma yöntemleri, ESA'da fazla uyumu azaltmak için kullanılmıştır. Sonuçlarının özgüllüğü %95, doğruluğu %75 ve duyarlılığı %30 olarak elde edilmiştir. Ne yazık ki, ESA görüntülerdeki lezyonları tespit etmemektedir. Çalışmada ESA'ları değerlendirmek için yalnızca bir veri seti kullanılmıştır.

H. Jiang ve ark. (2019), kendi veri kümelerini yönlendirilebilir DR veya referans alınamayan DR olarak sınıflandırmak için Inception V3 (Szegedy vd., 2016), Inception-Resnet-V2 (Szegedy vd., 2017) ve Resnet152 (He vd., 2016) olmak üzere önceden eğitilmiş üç ESA modelini entegre etmiştir. ESA'ların eğitiminde, ağırlıklarını güncellemek için Adam Optimizer kullanılmıştır. Bu modeller Adaboost algoritması kullanılarak entegre edilmiştir. 30.244 görüntüden oluşan veri seti,

ESA'ların eğitiminden önce 520 x 520 piksele yeniden boyutlandırılmıştır. Çalışmada, %88,21 doğruluk ve 0,946 eğri altında kalan alan (AUC) elde edilmiştir.

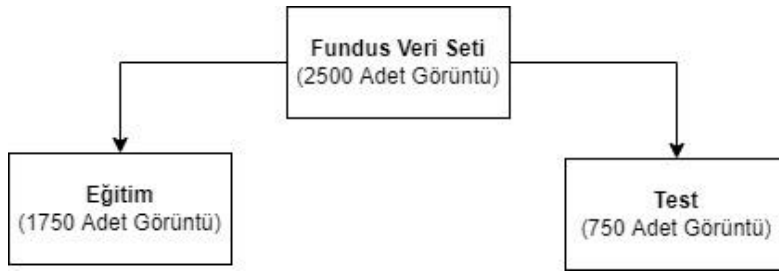
### 3. Materyal ve Metot

Gerçekleştirilen çalışmada DR'nin derecelendirilmesine ait tespitlerde bulunmak amacıyla kullanılan fundus veri seti, Kaggle web sitesinden temin edilmiştir (Kaggle, 2022). Veri seti farklı kameralardan toplanan 433 x 289 pikselden 5184 x 3456 piksele kadar çeşitli çözünürlüklerde 88.702 yüksek çözünürlüklü görüntü içermektedir. Tüm görüntüler beş DR aşamasına sınıflandırılmaktadır. Bu aşamalara ait örnek görüntü Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. DR derecelendirme kategorileri (Pratt vd., 2016)

Fundus veri setinde sadece eğitim görüntüleri açık erişimlidir. Bu veri seti içerisinde etiketlenmiş 500 adet 'Mild - Hafif', 500 adet 'Moderate - Orta', 500 adet 'Severe - Şiddetli', 500 adet 'Proliferate\_DR' ve DR bulunmayan 500 adet olmak üzere toplam 2500 adet fundus görüntüsü bulunmaktadır. Veri setindeki fundus görüntülerinin eğitimi ve testi için sırasıyla %70 ve %30 oranında ayrıştırma gerçekleştirilmiştir. Bu ayrıştırma işlemi Şekil 3' de gösterilmiştir.

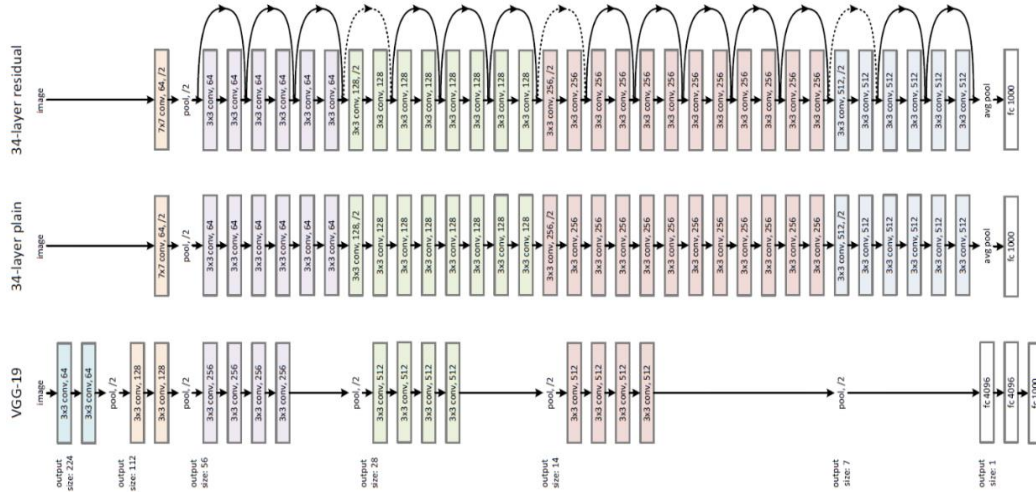


Şekil 3. Veri setinin kullanılması için ayrıştırma yapısı

#### 3.1 ResNet50 Mimarisi

ResNet, şimdiye kadar tasarlanan tüm mimarilerden daha derin bir yapıya sahip olan bir mimaridir. Katmanlardan bazıları üzerinde alt katmana geçiş işlemi sırasında göz ardı edilebilmektedir. Resnet mimarisinde bu duruma izin verilerek başarı oranı daha üst seviyelere çıkarılmıştır (He vd. 2015). ResNet-18, ResNet-50 ve ResNet-101 gibi türevleri bulunmaktadır. Bu türevlerdeki 18, 50 ve 101 katman sayılarını belirtmektedir. Bu katmanlara ek olarak katmanlar arası bağlantıların nasıl olacağı hakkında bilgilerde mevcuttur (Doğan ve Türkoğlu, 2018). Giriş katmanı 224x224x3 boyutundadır. 1000 nesneyi sınıflandırabilecek şekilde tasarlanmıştır. 2015 yılında

düzenlenen ImageNet yarışmasında %3,6 hata oranı ile birinci seçilmiştir. Şekil 4'te Resnet mimarisinin genel yapısı gösterilmektedir.

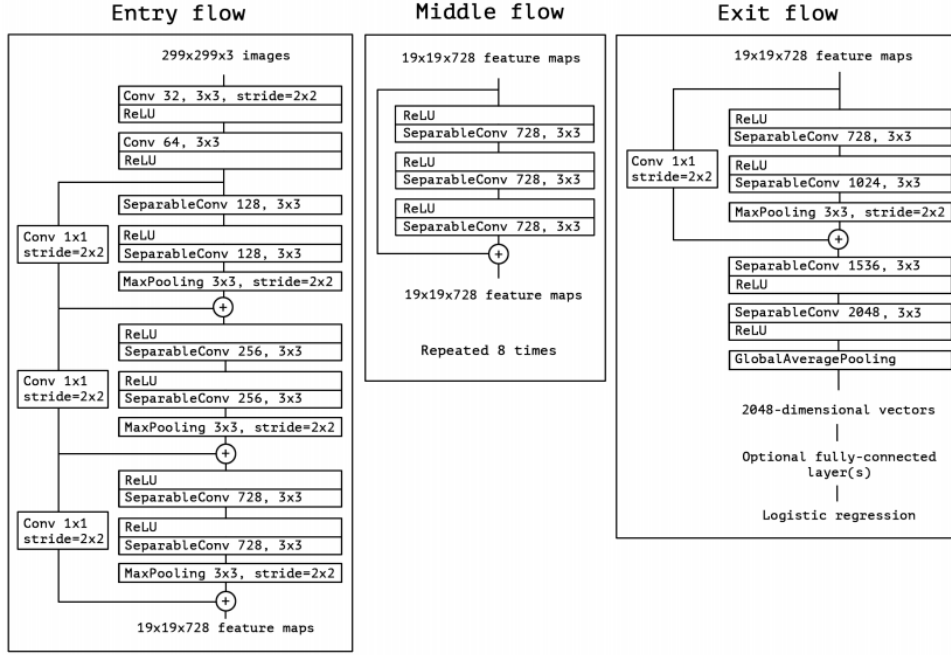


Şekil 4. ResNet Mimarisi (İnik ve Ülker, 2017)

ResNet mimarisi bir ESA modelidir. ESA'nın en güçlü yönlerinden biri, özellikleri doğrudan veri kümesinden öğrenebilme yeteneğidir. Ayrıca, tüm görüntüler kenarlara sahip olduğundan, görüntüler arasında kenarlar gibi düşük seviyeli özneliklerin yaygın olduğu bilinmektedir (Zeiler vd., 2014). Bu nedenle, bir problem için eğitilmiş bir modelin filtreleri, başka bir problem için başka bir model oluşturmak için kullanılabilir. Derin öğrenme biliminde bu öğrenme biçimi transfer öğrenme olarak bilmektedir. ResNet, Microsoft Research Asia tarafından geliştirilmiş ve üç hafta boyunca 8 GPU'lu bir makinede eğitilmiştir (He vd., 2016). ESA'yı farklı kılan durum, çok derin ağların eğitimi sırasında gradyan kaybolmasının etkisini azaltmak için her iki ardışık katman arasındaki bağlantı atlama kavramını kullanmasıdır. Bu araştırmada ResNet50 kullanılmıştır. Bu ağın son katmanı kaldırılmış ve 5 nörondan oluşan yeni bir katman eklenmiştir.

### 3.2 Xception Mimarisi

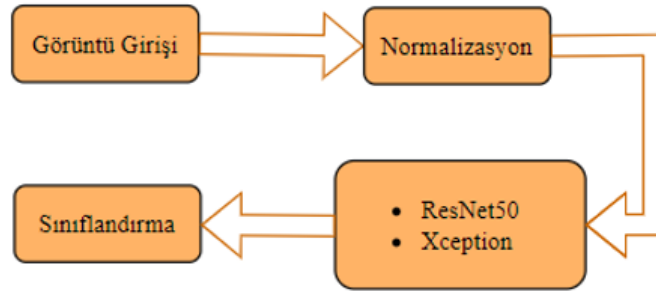
Çalışmada kullanılan bir başka ağ mimarisi ise Xception mimarisidir. Francois Chollet tarafından tanımlanan Xception mimarisi ise Inception mimarisinin bir uzantısıdır (Chollet, 2017). Bu mimari, artık bağlantılara sahip, derinlemesine ayrılabilir evrişim katmanlarının doğrusal bir yığıdır. Derinlemesine ayrılabilir evrişim, hesaplama maliyetini ve bellek gereksinimlerini azaltmayı amaçlamaktadır. Xception, 14 modülde yapılandırılmış 36 evrişim katmanına sahiptir (Polat, 2021). Bu ağ ilk ve son modüller hariç, doğrusal artık bağlantılar içermektedir. Xception'daki ayrılabilir evrişim, kanal bazında ve uzay bazında özelliklerin öğrenilmesini ayırmaktadır. Çıkış katmanında mantıksal sınıflandırma katmanı bulunmaktadır. Xception mimarisinin yapılı Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. Xception mimarisi (Chollet, 2017)

#### 4. Deneysel Çalışma

Çalışmada DR derecelendirilmesinin yapılması için ESA'dan yararlanılmıştır. ESA'nın eğitilmesi için veri setinde bulunan etiketlenmiş fundus görüntüleri kullanılmıştır. ESA modellerinden ResNet50 ve Xception derin öğrenme modelleri seçilmiştir. Seçilen modeller yardımı ile fundus görüntüleri eğitilmiş ve karşılaştırması yapılmıştır. Görüntülerin %70'i eğitim ve %30'u ise test için kullanılmıştır. Performans ölçümleri Intel(R) Core(TM) i7-7700HQ 280GHz işlemci ve 64 GB belleğe sahip bir bilgisayarda yapılmıştır. Çalışmaya ait akış şeması Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Gerçekleştirilen yöntemin işleyişi

Sınıflandırma performanslarını ölçmek için derin öğrenme yöntemlerine uygulanan birçok performans ölçümü bulunmaktadır. Derin öğrenmede yaygın olarak kullanılan ölçümler doğruluk, duyarlılık, özgüllük ve ROC eğrisi (AUC) altındaki alandır. Duyarlılık, anormal olarak sınıflandırılan anormal görüntülerin yüzdesidir. Özgüllük ise normal olarak sınıflandırılan normal görüntülerin yüzdesidir (Zwang vd., 2019). AUC, özgüllüğe karşı duyarlılık çizilerek oluşturulan bir grafikdir. Doğruluk ise doğru sınıflandırılan görüntülerin yüzdesi olarak ifade edilmektedir. Bu ölçümlere ait denklemler Denklem 1, Denklem 2 ve Denklem 3 olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

$$\text{Duyarluluk} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

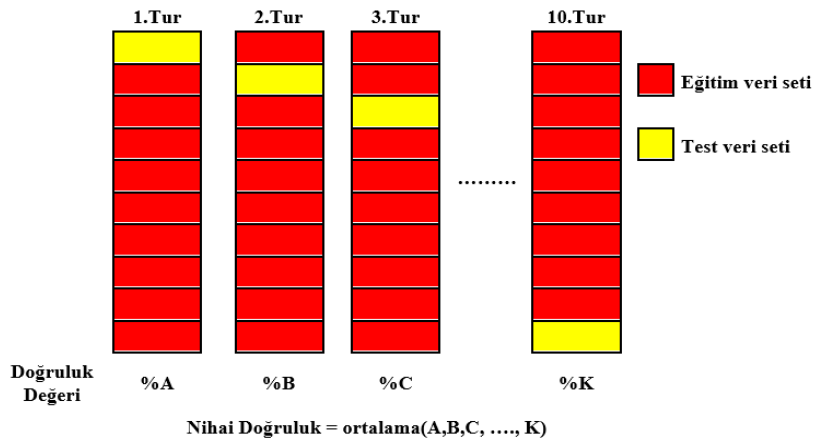
Gerçek pozitif (TP), hastalık olarak sınıflandırılan hastalık görüntülerinin sayısıdır. Gerçek negatif (TN), normal olarak sınıflandırılan normal görüntülerin sayısıdır ve yanlış pozitif (FP) ise, hastalık olarak sınıflandırılan normal görüntülerin sayısıdır. Yanlış negatif (FN), normal olarak sınıflandırılan hastalık görüntülerinin sayısını ifade etmektedir. Mevcut çalışmada yer alan çalışmalarda kullanılan performans ölçümlerinin yüzdesi Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Ağların hesaplanan parametreleri

Ağlar	Doğruluk	Kesinlik	Duyarluluk
ResNet50	0,7367	0,8516	0,5602
Xception	0,7815	0,8623	0,8227

#### 4.1 K-Katmanlı Çapraz Doğrulama

K-Katlamalı çapraz doğrulama (K-Fold Cross Validation) tekniği gerçek karşılaştırma oranının elde edilmesi ve elde edilen bulguların doğruluğunun test edilmesi için kullanılan bir yöntemdir. K-katlamalı çapraz doğrulama, veri setini parçalara ayırarak tüm verilerin test edilebilmesi olanağını sunmaktadır. Yöntem ile verilerin bir kısmı test bir kısmı ile eğitim için ayrılmaktadır. Her bölüm kendi içerisinde eğitime verilerek bir sonuç değeri üretilir. Örneğin, K değerinin 10 olması durumunda ilgili model 10 defa ayrı ayrı test edilerek bir skor değeri elde edilir. Son aşamada elde edilen bu skor değerlerinin ortalaması alınarak modelin güvenilirliği test edilmiş olur (Gunasegaran ve Cheah, 2017). Eğitim ve test olarak ayrılan verilerin tümü test edilebildiğinden elde edilen sonuç önerilen modelin güvenilirliğini kanıtlamaktadır. Bazı durumlarda verinin dağılımına bağlı olarak hem eğitimde hem de test aşamalarında bir takım sapmalar meydana gelebilmektedir. Bu durumların ortadan kaldırılması verinin belirli K değerlerine bölmekle giderilebilmektedir (Wong ve Yang, 2017). K-katlamalı çapraz doğrulama yönteminin adımlarını gösteren genel bir örnek Şekil 7'de verilmiştir.



**Şekil 7.** K-Katlamalı Çapraz Doğrulama metodunun genel yapısı (Wong ve Yang, 2017)

K adım kadar modellerin eğitilmesi ve test edilmesi veri hacminden dolayı çok büyük zaman gerektirmektedir. Bu durum beraberinde maliyet artışına da sebep olmaktadır. Her ne kadar zaman ve maliyet açısından ek bir yük getirse de netice olarak güvenilir bir sonucun elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada 2500 adet görüntü kullanılmış ve K değeri 10 olarak kabul edilmiştir. Tüm veriler K değerine bağlı olarak anlamlı parçalara ayrılmıştır. Örneğin K değeri 10 olarak alındığında test için 750 adet ve eğitim için 1750 görüntü ayrılmıştır. Bu durum her adımda tekrarlanarak eğitim ve test verileri ile tüm testler gerçekleştirilmiştir. Her iki derin öğrenme ağı üzerinde K katlamalı çapraz doğrulama testi uygulanmış ve başarı oranları Tablo 2' de verilmiştir.

**Tablo 2.** K-Katlamalı çapraz doğrulama test sonuçları

Adım Sayısı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ortalama
ResNet50	0,7215	0,7255	0,7445	0,7445	0,7400	0,7465	0,7455	0,7315	0,7355	0,7325	0,7367
Xception	0,7815	0,7825	0,7800	0,7925	0,7845	0,7835	0,7835	0,7855	0,7845	0,7815	0,7815

## 5. Sonuç

Diyabetik Retinopati (DR), şeker hastalığından muzdarip insanları enfekte eden hastalıklardan biridir. Hastanın retinasına zarar veren bu kronik hastalık, orta yaştaki kişilerde tam körlüğün ana nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu hastalığın erken uyarı semptomları bulunmamaktadır. Hastalığı teşhis etmenin tek yolu retinal fundusun görüntülenmesi ve göz doktorunun koymuş olduğu teşhistir. Bu nedenle, bu hastalığı tespit etmek için otomatik sistemler tasarlamak önemli bir ihtiyaçtır. Bu çalışmada, DR tespit ve derecelendirilmesinde 'Mild - Hafif', 'Moderate - Orta', 'Severe - Şiddetli', 'Proliferate\_DR' ve DR bulunmayan görüntüler üzerinde Evrişimli Sinir Ağları (ESA) modellerinden olan ResNet50 ve Xception derin öğrenme modelleri kullanılmıştır. Doğruluk oranlarının birbirine yakın olduğu ancak Xception modelinin (0,7815) ResNet50 modeline oranla nispeten daha yüksek doğruluk oranına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Gelecekteki araştırmalarda önceden eğitilmiş diğer ESA modellerinin uygulanabilirliğini araştırılmaktadır. Ayrıca, çalışmada kullanılan eğitim örnekleri Kaggle açık erişimli veri seti ile sınırlıdır. Bu nedenle, veri kümesi boyutunu doğruluğu kanıtlanmış veri seti sınıflandırmalarına sahip ek veri kaynaklarıyla genişletmenin daha iyi sonuçlar verebileceği öngörülmektedir.

## Kaynakça

Abràmoff, M. D., Lou, Y., Erginay, A., Clarida, W., Amelon, R., Folk, J. C. ve Niemeijer, M. (2016).

Improved automated detection of diabetic retinopathy on a publicly available dataset through integration of deep learning. *Investigative ophthalmology & visual science*, 57(13), 5200-5206.

Bourne, R. R., Stevens, G. A., White, R. A., Smith, J. L., Flaxman, S. R., Price, H., Jonas, J. B., Keeffe,

J., Leasher, J., Naidoo, K., Pesudovs, K., Resnikoff, S., Taylor, H. R. ve Vision Loss Expert Group (2013). Causes of vision loss worldwide, 1990-2010: a systematic analysis. *The Lancet. Global health*, 1(6), e339–e349. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(13\)70113-XA](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(13)70113-XA). Rakhlin, “Diabetic Retinopathy detection through integration of Deep Learning classification framework,” pp. 1–11, 2017.

Chollet, F. (2017). Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions. *Proceedings of*

the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (p./pp. 1251--1258).

Harper, C. A. ve Keeffe, J. E. (2012). Diabetic retinopathy management guidelines. *Expet Rev Ophthalmol* 2012;7(5):417–39.

Decencièere, E., Zhang, X., Cazuguel, G., Lay, B., Cochener, B., Trone, C., ... ve Klein, J. C. (2014).

Feedback on a publicly distributed image database: the Messidor database. *Image Analysis & Stereology*, 33(3), 231-234.

Doğan, F. ve Türkoğlu, İ. (2018). Derin Öğrenme Algoritmalarının Yaprak Sınıflandırma

Başarımlarının Karşılaştırılması. *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences*, 1(1), 10-21.

Gulshan, V., Peng, L., Coram, M., Stumpe, M. C., Wu, D., Narayanaswamy, A., Venugopalan, S.,

Widner, K., Madams, T., Cuadros, J., Kim, R., Raman, R., Nelson, P. C., Mega, J. L., ve Webster, D. R. (2016). Development and Validation of a Deep Learning Algorithm for Detection of Diabetic Retinopathy in Retinal Fundus Photographs. *JAMA*, 316(22), 2402–2410. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.17216>

Gunasegaran, T. ve Cheah, Y. (2017). Evolutionary cross validation. Paper presented at the 8th

International Conference on Information Technology (ICIT), Amman, Jordan.

Harding, P. ve Zheng, Y. (2016). Convolutional Neural Networks for Diabetic Retinopathy. *Procedia*



Computer Science.

He, K., Zhang, X., Ren, S. ve Sun, J. (2015). Delving Deep into Rectifiers: Surpassing Human-Level

Performance on ImageNet Classification. Paper presented at the 2015 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), Santiago, Chile IDF, (2022). [https://idf.org/our-network/regionsmembers/western-pacific/members/108-](https://idf.org/our-network/regionsmembers/western-pacific/members/108-malaysia.html)

malaysia.html. (Erişim Tarihi: 28.04.2022).

He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In

Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 770-778).

İnik, Ö. ve Ülker, E. (2017). Derin Öğrenme ve Görüntü Analizinde Kullanılan Derin Öğrenme

Modelleri. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 6(3), 85-104.

Jiang, H., Yang, K., Gao, M., Zhang, D., Ma, H. ve Qian, W. (2019). An interpretable ensemble deep

learning model for diabetic retinopathy disease classification. In 2019 41st annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society (EMBC) (pp. 2045-2048). IEEE.

Kaggle, (2022). Retinal OCT Images. [https://www.kaggle.com/paultimothymooney/kermany2018,](https://www.kaggle.com/paultimothymooney/kermany2018)

(Erişim Tarihi: 28.04.2022).

Polat, Ö. (2021). Detection of Covid-19 from Chest CT Images using Xception Architecture: A Deep

Transfer Learning based Approach. Sakarya University Journal of Science, 25(3), 813-823.

Pratt, H., Coenen, P., Broadbent, D. M., Harding, S. P. ve Zheng, Y. (2016). Convolutional Neural

Networks for Diabetic Retinopathy, Procedia Computer Science.

Scotland, G. S., McNamee, P., Fleming, A. D., Goatman, K. A., Philip, S., Prescott, G. J., Sharp, P.

F., Williams, G. J., Wykes, W., Leese, G. P., Olson, J. A. ve Scottish Diabetic Retinopathy Clinical Research Network (2010). Costs and consequences of automated algorithms versus manual grading for the detection of referable diabetic retinopathy. The British journal of ophthalmology, 94(6), 712-719. <https://doi.org/10.1136/bjo.2008.151126>

Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., & Wojna, Z. (2016). Rethinking the inception

architecture for computer vision. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 2818-2826).

Szegedy, C., Ioffe, S., Vanhoucke, V. ve Alemi, A. A. (2017). Inception-v4, inception-resnet and the

impact of residual connections on learning. In Thirty-first AAAI conference on artificial intelligence.

Zeiler, M. D. ve Fergus, R. (2014). Visualizing and understanding convolutional networks. Lecture

Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics).

Zhang, W., Zhong, J., Yang, S., Gao, Z., Hu, J., Chen, Y. ve Yi, Z. (2019). Automated Identification

and Grading System of Diabetic Retinopathy Using Deep Neural Networks. Knowledge-Based Systems. 175. 10.1016/j.knosys.2019.03.016. H. Pratt, F. Coenen, D. M. Broadbent, S.

Wong, T., & Yang, N. (2017). Dependency Analysis of Accuracy Estimates in k-Fold Cross Validation.

IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering 29(11), 2417 - 2427. doi: 10.1109/TKDE.2017.2740926

## Termoelektrik Güvenlik Sistemi

Özge BAKAR<sup>1</sup>  
Raşit AHISKA<sup>2</sup>

### 1. Giriş

Günümüzde alternatif enerji kaynaklarına olan ihtiyaç sürekli artmakta ve bunların değerlendirilmesi enerji verimliliği açısından önem kazanmaktadır. Alternatif enerji kaynakları olarak, Türkiye’de toprak-hava, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyo kütle, jeotermal gibi kaynaklardan hali hazırda faydalanılmaktadır. Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynaklarına verdiği önem 2018–2023 11. Kalkınma planında; “Arz güvenliğinin artırılması amacıyla birincil enerji kaynakları bazında dengeli bir kaynak çeşitlendirmesine ve orijin ülke farklılaştırmasına gidilecektir. Üretim sistemi içinde yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payının azami ölçüde yükseltilmesi hedeflenecektir.” ifadesiyle vurgulanmıştır. Mevcut elektronik güvenlik cihazların, yanlarında çoğu zaman ömürleri en az 10 yıl olan otonom, ucuz, ekolojik olarak temiz güç kaynakları bulunmadığından kullanılmaları ertelenmektedir. Bu problem şu anda mevcut olan pil, akü ve benzer kimyasal güç kaynakların kullanılmasıyla çözülmemektedir. Ancak bu çözümler çevre dostu ve uzun ömürlü olmayıp maliyetli çözümlerdir. Yenilenebilir bir ısı kaynağı olan toprak ısıyla çalışan otonom termoelektrik jeneratörlü bir güvenlik sistemi Yenilenebilir ısı kaynağıyla çalışan termoelektrik güvenlik sistemin (TEGS’nin) avantajı, veriminin ve çalışma ömrünün güce göre değişmemesidir ki bu, düşük güçlü (Milliwattlık) güvenilir, kompakt, çevre dostu ve otonom güç kaynağının (GK) üretimini mümkün kılmaktadır. Üretilen TEGS’n en büyük avantajı toprak-hava gibi çevre ısını kullanarak çok küçük sıcaklık farkında bile kendi elektrikliğini üretebilmesi ve sürekli aktif olmasıdır. Ayrıca TEGS’lar akıllı elektronik sistemine sahip olduğundan 20-25 yıl çalıştırabilen, inovatif bir üründür.

### 2. Materyal ve Metotlar

Bu çalışmada, TES Ltd şirketinden temin edilen bir adet toprak-hava termoelektrik jeneratörün parametreleri incelenecektir. Burada özellikle  $\Delta T$ ’ye göre jeneratörün ürettiği güç  $P(W)$ , gerilim  $U(V)$  ve akım  $I(A)$  gibi parametreleri incelenmiştir. Jeneratörün uzunluğuna eşit olan toprağın derinliğinde ve yüzeyindeki sıcaklıklar Ankara’n dört bölgesinde dört mevsim, ölçülerek bu değerlere göre bir modelleme yapılmıştır. Elde edilen sıcaklık farklarına göre jeneratörün laboratuvar testleri yapılmıştır. Aynı zamanda TEGS’n elektroniği araştırılacak ve jeneratörün çıkış parametrelerine göre özel devreler tasarlandı ve yapıldı. TEGS’n bir bütün olarak montajı yaptırıldıktan sonra elektronik yüklerle nihaiyi testler yapılmıştır. Böylece en uygun bölge seçilecek ve burada TEGS’n saha testleri yapılacaktır. Elde edilen gerçek sonuçlara göre TEGS’n kullanım alanları tespit edilmiştir.

#### 2.1 Bir TEG'in Temel Yapısı

Bir termoelektrik modülün (TEM’lerin) temelinde elektriksel yönden seri, termal yönden paralel bağlantılı n- ve p- tipi yarıiletkenlerin oluşturduğu termoelementler yer almaktadır.

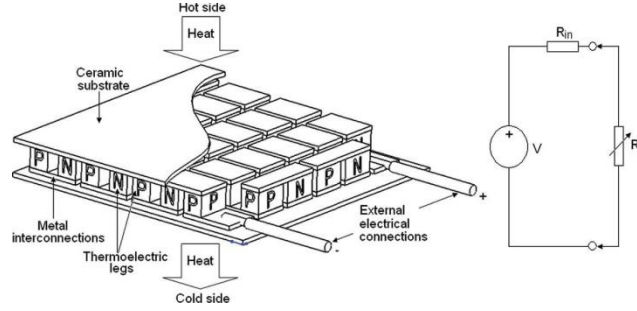
---

<sup>1</sup> Gazi Üniversitesi, Fizik,

<sup>2</sup> Prof. Dr, Gazi Üniversitesi, Fizik,

Termoelementler seramik iki plaka arasına aynı şekilde elektriksel yönden seri, termal yönden paralel olacak şekilde paketlenmişlerdir. Şekil 1’de temel yapısı görülen bu pakete TEM adı verilmektedir. TEM’lerin paketlenmesinde seramik plakalar; mekanik gerilim, elektriksel direnç ve termal iletkenlik arasında en iyi uyumu sağladığından endüstri standardı olmuştur [1,2].

Termoelektrik jeneratörler (TEG’ler) yarıiletken, küçük güçlü, verimleri düşük olan cihazlardır. Bu cihazların gücünün artırılması için termoelementler paralel olarak birbirine bağlanırlar. Ayrıca iyi bir termoelektrik materyal 100-300  $\mu\text{V}/\text{K}$  arasında Seebeck sabitine sahiptir [3].



Şekil 1. TEG’ in yapısı ve eşdeğer devresi

TEG elektriksel eşdeğer devre bir yere gerilim kaynağının (oluşur  $V$ ) ve bir direnç ( $R_{\text{olarak}}$ ). TEG terminallerine bir yük ( $R_L$ ) bağlanmadığında TEG terminallerinden maksimum gerilim alınır ve TEG’in yüzeyleri arasında maksimum sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) yapılır. Voltaja açık devre voltajı ( $V_{\text{OC}}$ ) denir. TEG klemensleri yüksüz olarak ( $R_L$ ) birbirine bağlı ise iç dirence ( $R_{\text{in}}$ ) bağlı olarak bir akım geçer. Akım kısa devre akımı olarak bilinir ( $I_{\text{SC}}$ ). TEG terminallerine bir yük ( $R_L$ ) bağlanmadığında kısa devre akımı maksimum değerdedir. TEG'nin iç direncinin değeri ( $R_{\text{in}}$ ) sıcaklığın yükselmesine bağlı olarak değişir. TEG'nin ( $P_{\text{TEG,max}}$ ) maksimum gücü, bağlı yük direnci ( $R_L$ ) ve TEG'in iç direnci ( $R_{\text{inç}}$ ) eşit olduğunda ( $R_L = R_{\text{inç}}$ ) olur. Bu duruma uyumlu yük denir [4].

## 2.2 TEG’lerin Kullanım Alanları

TEGler ağırlık, güvenilirlik gibi avantajlarıyla kırsal alanlarda ve uzay çalışmalarında kullanılabilir. Örnek olarak Voyagers’in silikon- germanyumdan yapılmış olan termoelektrik jeneratörü 1980’den günümüze kadar bu uzay aracına enerji sağlamaktadır [5].

TEG’lerin kullanım alanları çok geniş olup birkaç örnek aşağıda şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 2. TEG’lerin vücut sıcaklığı ve çevre sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkından faydalanarak kol saatlerinin enerji kaynağının sağlanması



Şekil 3. Bir askerin elektrik enerjisine olan gereksiniminin TEJ'lerle sağlanması ve böylelikle taşıdığı ağırlığın azaltılması



Şekil 4. Türkiye'de Çalışan İlk Akıllı Termoelektrik Atık Isı Santralin Görüntüsü.

## 2.3 Termoelektrik Güvenlik Sistemi

Hudut sınırı ve toplu konut alanının etrafına, toprak altına gizlemek suretiyle kullanılacak olan Termoelektrik Güvenlik Sistemi ekipmanı, hiçbir elektrik kablosuna gerek kalmadan kendi elektriğini topraktaki ısı yardımıyla üretecek ve alan ihlali gibi durumlarda sensörler yardımıyla bu durumu güvenlik birimine bildirecektir. Bu sayede elektrik kesintisi gibi istenmeyen durumlardan etkilenmeyecek ve işlevini sürekli sürdürecektir.

## 2.4 Örnek Uygulama (Example Practise)

Çalışmanın amacı, toprak-hava termoelektrik jeneratörü incelenmesi, elektronik devrelerin hazırlanması ve özelliklerinin araştırılmasıdır. Sahada veriler toplanarak laboratuardaki çalışmalar simüle edilmiştir. Dört mevsim Ankara'nın altı ayrı yerinden 25 cm ve 50 cm derinlikte toprak sıcaklıkları ölçülmüştür.

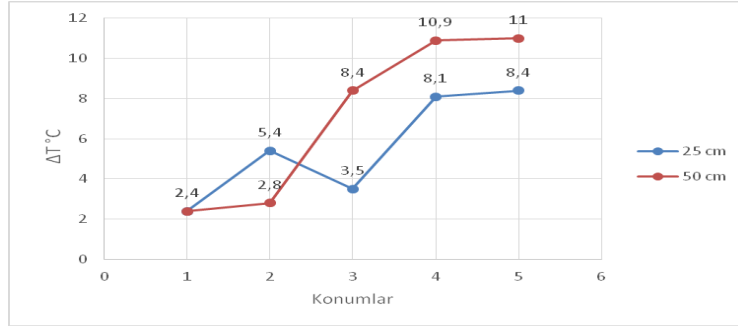


Şekil 5. 29.05.2021 tarihinde 25 cm toprak derinliğinden ölçüm alınan termometre görüntüsü



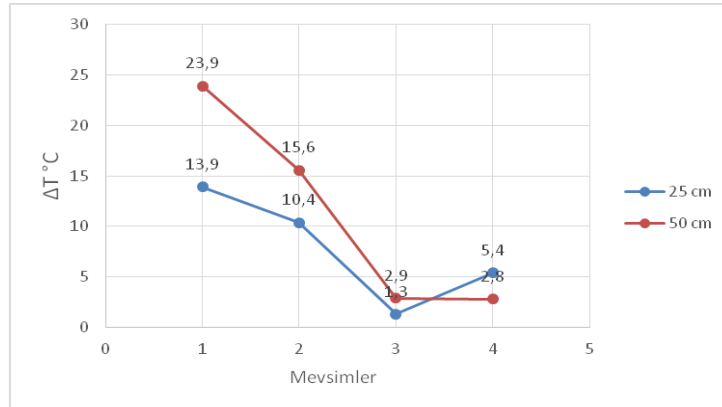
Şekil 6. 29.05.2021 tarihinde 50 cm toprak derinliğinden ölçüm alınan termometre görüntüsü

Dört mevsiminde alınan verilerin konuma göre maksimum sıcaklık farkları kayıt edildi. Onlardan bir örnek Şekil 8 ve 9'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Kış mevsiminde alınan verilerin konuma göre maksimum sıcaklık farkları

Burada,1 numaralı konum Bağlum, 2 numaralı konum Keçiören, 3 numaralı konum Kızılcahamam, 4 numaralı konum Beşevler ve 5 numaralı konum Yenimahalle olarak gösterilmiştir. Konumlara göre 25 cm ve 50 cm toprak derinliğinde en yüksek  $\Delta T$  grafiği verilmiştir. Burada en yüksek sıcaklık farkı Yenimahalle konumunda 11 °C ölçülmüştür.



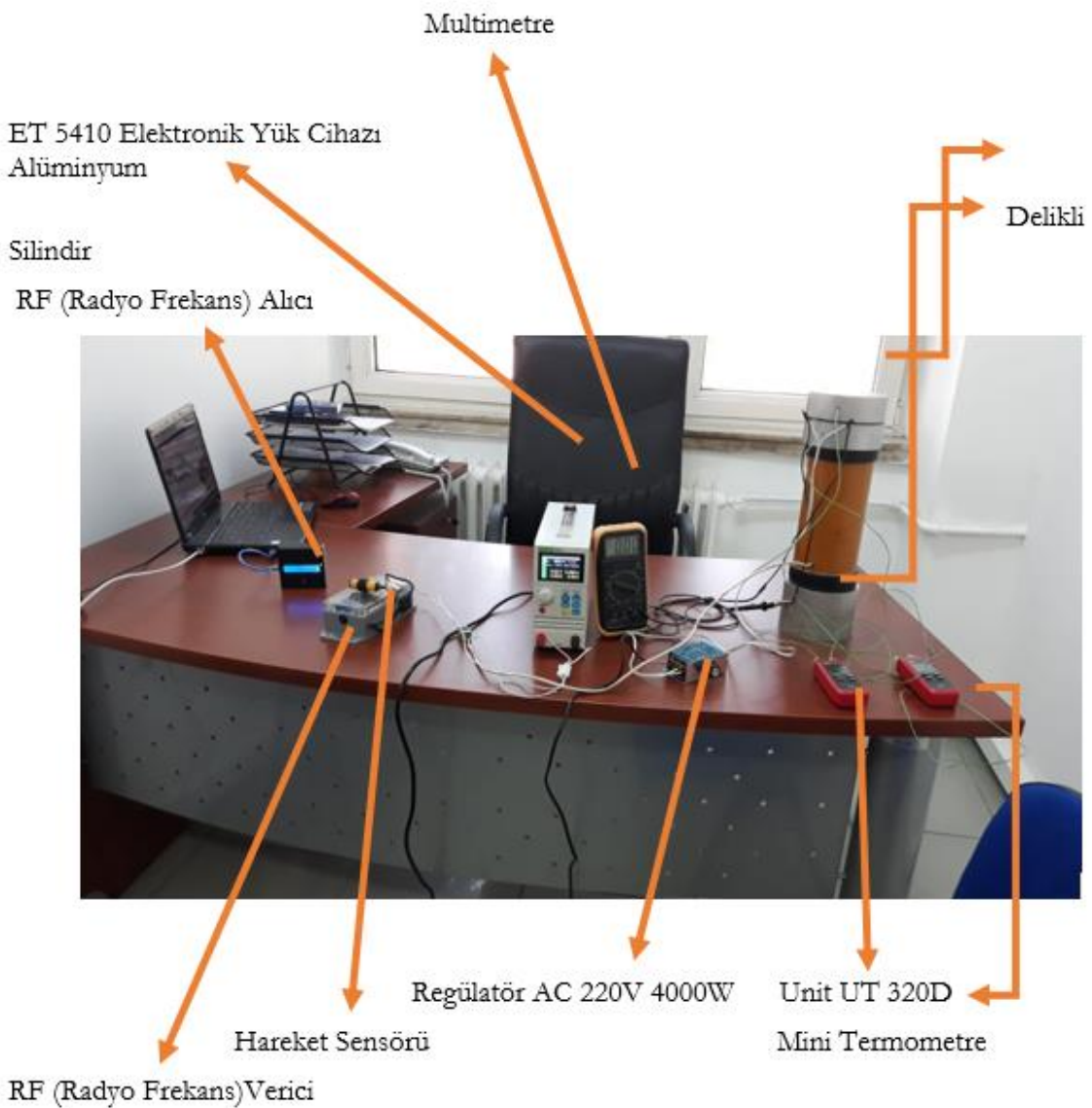
Şekil 8. Bağlum konumunda alınan mevsimlere göre maksimum sıcaklık farkları

Bağlum konumunda mevsimlere göre 25 cm ve 50 cm toprak derinliğinde en yüksek  $\Delta T$  grafiği oluşturulmuştur 1 numara ilkbahar, 2 numara yaz, 3 numara sonbahar ve 4 numara kış mevsimini temsil etmektedir. İlkbahar'da en yüksek sıcaklık farkına ulaşılmıştır.

### 3. Dene

Çalışmanın amacı, toprak-hava termoelektrik jeneratörü incelenmesi, elektronik devrelerin hazırlanması ve özelliklerinin araştırılmasıdır. Sırasıyla çalışma planı; temel bilimsel araştırmalar ve tasarımların yapılması, güvenlik sisteminin yapılması ve uygulamasıdır.

Sahada veriler toplanarak laboratuvardaki çalışmalarını simüle edilmiştir. Dört mevsim Ankara'nın beş ayrı yerinden 25 cm ve 50 cm derinlikte toprak sıcaklıkları ölçülmüş, sıcaklık verileri kaydedilmiştir.



## 4. Bulgular ve Tartışma

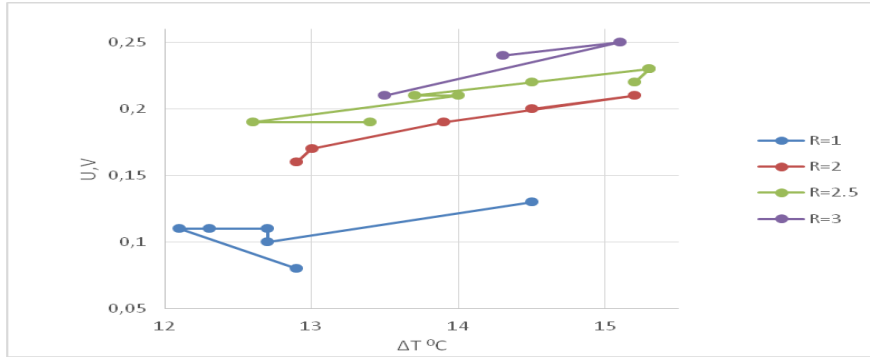
Çizelge 1. Termoelektrik modül düzeneğinde yüzey sıcaklık farkına göre güç düzeyleri

T <sub>1</sub> °C	T <sub>2</sub> °C	ΔT °C	U,V	I, A	P ,W	R, Ohm	Yük direnci
33,4	20,5	12,9	0,08	0,096	0,00768	0,94	1
32,2	20,1	12,1	0,11	0,112	0,01232	0,95	
32,6	20,3	12,3	0,11	0,12	0,0132	0,95	
33,1	20,4	12,7	0,11	0,114	0,01254	0,91	
33,1	20,4	12,7	0,1	0,124	0,0124	0,96	
36,1	21,6	14,5	0,13	0,132	0,01716	0,98	
33,3	20,4	12,9	0,16	0,089	0,01424	1,92	2
33,5	20,5	13	0,17	0,088	0,01496	1,89	
34,9	21	13,9	0,19	0,102	0,01938	1,94	
36,7	21,5	15,2	0,21	0,111	0,02331	1,9	
36	21,5	14,5	0,2	0,105	0,021	1,92	
34,1	20,7	13,4	0,19	0,083	0,01577	2,36	
33,1	20,5	12,6	0,19	0,081	0,01539	2,39	
34,7	20,7	14	0,21	0,09	0,0189	2,39	
34,6	20,9	13,7	0,21	0,089	0,01869	2,43	
35,5	21	14,5	0,22	0,092	0,02024	2,41	
36,9	21,6	15,3	0,23	0,097	0,02231	2,38	2.5
36,8	21,5	15,3	0,23	0,098	0,02254	2,39	
36,9	21,7	15,2	0,22	0,096	0,02112	2,38	
34,4	20,9	13,5	0,21	0,077	0,01617	2,86	
36,8	21,7	15,1	0,25	0,085	0,02125	2,81	3
35,8	21,5	14,3	0,24	0,085	0,0204	2,85	
19,7	18,7	1	0,02	0,08	0,0016	3,07	
20,8	18,8	2	0,02	0,06	0,0012	3,07	1
21,8	18,8	3	0,02	0,008	0,00016	2,52	
26,1	19,1	7	1,42	0,049	0,06958	1,86	0,03

Çizelge 2. Farklı dirençlerde sıcaklık farkına göre gerilim değerleri



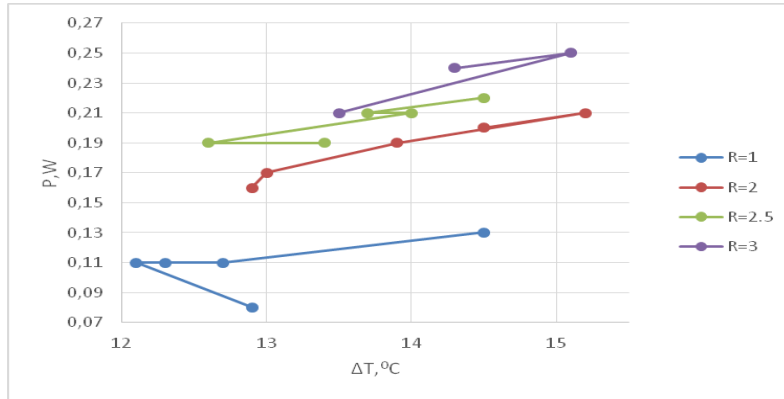
$\Delta T$ °C	U,V	Yük direnci
12,9	0,08	1
12,1	0,11	
12,3	0,11	
12,7	0,11	
12,7	0,1	
14,5	0,13	
12,9	0,16	
13	0,17	
13,9	0,19	
15,2	0,21	
14,5	0,2	
13,4	0,19	2.5
12,6	0,19	
14	0,21	
13,7	0,21	
14,5	0,22	
15,3	0,23	
15,3	0,23	
15,2	0,22	
13,5	0,21	3
15,1	0,25	
14,3	0,24	



Şekil 10. Sistemde Sıcaklık Farkı-Gerilim İlişkisi

Çizelge 3. Farklı dirençlerde ΔT sıcaklık farkı ve güç ilişkisi

R=1 Ohm		R=2 Ohm		R=2.5 Ohm		R=3 Ohm	
ΔT, °C	P,W	ΔT, °C	P,W	ΔT, °C	P,W	ΔT, °C	P,W
12,9	0,08	12,9	0,16	13,4	0,19	13,5	0,21
12,1	0,11	13	0,17	12,6	0,19	15,1	0,25
12,3	0,11	13,9	0,19	14	0,21	14,3	0,24
12,7	0,11	15,2	0,21	13,7	0,21		
14,5	0,13	14,5	0,2	14,5	0,22		



Şekil 11. Sistemde Sıcaklık Farkı-Güç İlişkisi

## 5.Sonuç

Bu çalışmada, yenilenebilir bir ısı kaynağı olan toprak ısıyla çalışan otonom termoelektrik jeneratörlü bir güvenlik sistemi tasarlanmış, üretilmiş ve araştırılmıştır. Bunun için termoelektrik jeneratörde gerçekleşen ısı alışverişinin optimal transfer yöntemleri araştırılmış, mevcut güvenlik cihazlarının elektronik sistemleri incelenmiş ve tüm bu bilimsel bilgilere göre termoelektrik 'toprak-hava' güvenlik sistemi tasarlanmış, gerçekleştirilmiş ve fiziksel parametreleri incelenmiştir. Burada özellikle  $\Delta T$ 'ye göre jeneratörün ürettiği güç P(W), gerilim U(V) ve akım I(A) gibi parametreleri incelenmiştir. Jeneratörün uzunluğuna eşit olan toprağın derinliğinde ve yüzeyindeki sıcaklıklar Ankara'nın dört bölgesinde dört mevsim, ölçülerek bu değerlere göre bir modelleme yapılmıştır.

Ayrıca 4 mevsim için Ankara'nın 4 bölgesindeki toprak-hava sıcaklık farkları detaylı olarak incelenmiştir. Bu sonuçlara göre en yüksek  $\Delta T = 23.9$  °C Bağlum' da bahar mevsiminde ölçülmüştür. Hudut sınırı ve toplu konut alanının etrafına, toprak altına gizlemek suretiyle kullanılacak olan Termoelektrik Güvenlik Sistemi ekipmanı, hiçbir elektrik kablosuna gerek kalmadan kendi elektriğini topraktaki ısı yardımıyla üretecek ve alan ihlali gibi durumlarda sensorlar yardımıyla bu durumu güvenlik birimine bildirecektir. Bu sayede elektrik kesintisi gibi istenmeyen durumlardan etkilenmeyecek ve işlevini sürekli sürdürecektir. Elde edilen gerçek sıcaklık farklarına göre bir modelleme yapılmıştır. Bunun için özel bir deney düzeneği kurulmuş ve laboratuvar ortamında 'toprak-hava' jeneratörün termoelektrik özellikleri araştırılmış ve elektronik güvenlik sistemin çalışma şartları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre termoelektrik güvenlik sisteminin üretilmesi ve kullanılmasının uygun olabileceği gösterilmiştir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma BAP projesi olarak Gazi Üniversitesince desteklenmektedir.

Proje No: 05/2020-28

## 6.Kaynaklar

Mamur, Hayati, Termoelektrik Jeneratörün Elektriksel, Termoelektriksel ve Isıl Parametrelerinin İncelenmesi İçin Bilgisayarlı Veri Edinim ve Test Sisteminin Gerçekleştirilmesi ,Doktora Tezi ,Gazi Üniversitesi, 2013

Dislitas, Serkan, Mikrodenetleyici kontrollü jeotermal termoelektrik jeneratör tasarımı ve uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 2002

Mamur H. and Ahıska R., “Application of a DC–DC boost converter with maximum power point

Development And Application Of A Newpower Analysis Systemfor Testing Of Geothermal Thermoelectric Generators Ahıska R.,Mamur H. International Journal Of Green Energy, cilt.13, sa.7, ss.672-681,2016

Cengel, Y. A., Boles, M. A., 1994, Thermodynamics, Engineering Approach, Second Edition, p 611-613, McGraw-Hill, New York.

## Makine Öğrenmesi Topluluk Sınıflandırma Modeli Kullanarak Meme Kanseri ve Tiroid Kanseri Arasındaki İlişkinin Gösterilmesi

Pınar Karadayı Ataş  
Duygu Kırkık

### 1.Giriş

Meme kanseri başta kadınlar olmak üzere dünyada en çok görülen malignitelerden biridir. Resmi kayıtlara göre 2012 yılında dünya çapında 1.67 milyon insanın meme kanseri ile mücadele ettiği ve meme kanserinden ölen insan sayısının 520.000'e ulaştığı tespit edilmiştir [1]. Meme kanserinin aile öyküsü, meslek, genetik, üreme ve hormonal faktörlerle ilişkili olduğu gösterilmiştir [2]. Son günlerde yapılan çalışmalarda; iyi huylu ya da malign tiroid hastalıkları ile iyi huylu ya da kötü huylu tiroid hastalıklarının ilişkisi, bazı epidemiyolojik çalışmalarda vurgulanmıştır [3].

Tiroid hastalığı ile meme kanseri riski arasındaki bağlantı, meme epitel hücresi büyümesini düzenleyen tiroid hormonlarının rolünü gösteren çalışmalarla ortaya çıkmıştır [4]. Yapılan çalışmalarda meme kanserine sahip kadınlar; sağlıklı kontrollerle kıyaslandığında tiroid peroksidaz antikoru seviyesinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir [5]. Tiroid bezi, uygun metabolik fonksiyon, hücre farklılaşması ve kalsiyum dengesinden sorumlu hormonlar üretmektedir. Tiroid hormonları triiyodotironin (T3) ve tetraiyodotironin (T4), bir tiroid hormon reseptörüne (TR) bağlanarak çeşitli organları ve dokuları etkilemektedir [3]. Tang ve arkadaşları tiroid hormonlarının meme bezi dokusundaki östrojen reseptörlerini aktive ederek çoğaltıcı bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir [6]. Bu, tiroid hastalıklarının meme kanseri gelişimini destekleyebileceğini düşündürmektedir. Son yıllarda tiroid disfonksiyonu ve meme kanseri riski ile ilişkisi üzerine çeşitli çalışmalar yayınlanmıştır (7,8-10). Sogaard ve arkadaşları, hipertiroidili kadınlarda meme kanseri gelişme riskinin arttığını ve hipotiroidizmi olan kadınlarda meme kanseri gelişme riskinin daha düşük olduğunu göstermiştir [8]. idemiyolojik sonuçların aksine, birçok deneysel çalışmanın bulguları tiroid hastalıkları ile meme kanseri arasında moleküler düzeyde ilişkiler olduğunu düşündürmektedir.

Kanser, çeşitli fiziksel, zamansal ve biyolojik ölçeklerde çok sayıda biyolojik etkileşimi içeren karmaşık bir hastalıktır. Bu karmaşıklık, kanser biyolojisinin karakterizasyonu için önemsenecek derecede zorluklar sunmaktadır ve araştırmacıları moleküler, hücresel ve fizyolojik sistemler bağlamında kanser çalışmasına teşvik eder. Hem biyolojik keşiflere hem de klinik tıbbı yardımcı olmak için hesaplamalı kanser modelleri geliştirilmektedir. Bunların silico modellerinde geliştirilmesi, bilgi açısından zengin, yüksek verimli biyolojik veriler üreten deneysel ve analitik araçların hızla gelişmesiyle kolaylaşmaktadır. Genomik, transkriptomik ve yol seviyelerindeki istatistiksel kanser modellerinin, tanıs ve prognostik moleküler imzaların geliştirilmesinde ve ayrıca bozulmuş yolların belirlenmesinde etkili olduğu kanıtlanmıştır [11].

Bu çalışmada, bilgisayar mühendisliği araçları ve biyoinformatik araçları kullanarak yapısal ve işlevsel verileri analiz ettik. Ayrıca, makine öğrenimi tekniklerini kullanarak, meme kanseri ile tiroid kanseri arasındaki ilişkiyi dizi tabanlı analiz ve tahmin ederek gösterdik.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmamızda kullanılan Topluluk öğrenmesi methodu makine öğrenimi yaklaşımlarına dayalı biyolojik dizi analizi için güçlü bir platformdur. Sırasıyla özellik çıkarma, tahmin yapısı ve performans değerlendirmesi adımları izlenmiştir (Figure 1).

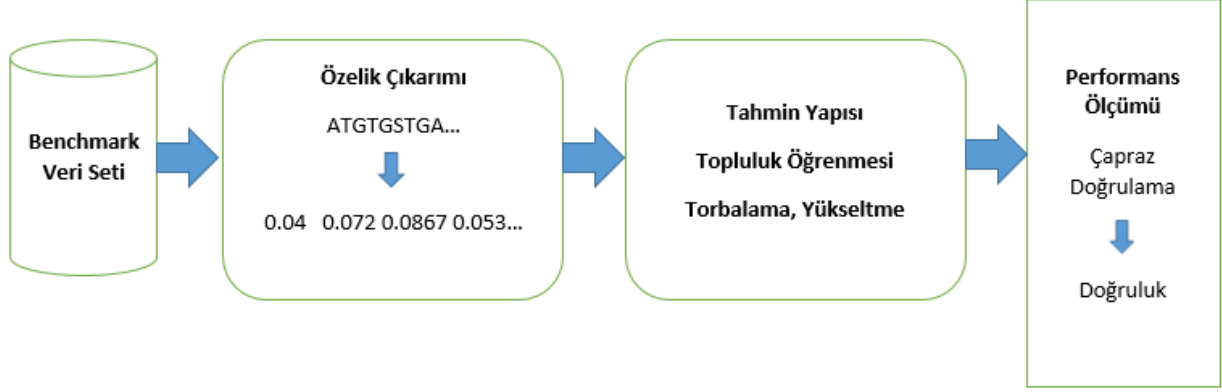


Figure 1. Akış Şeması

### 2.1. Benchmark Veri Seti

Güvenilir veri kümesi, doğru bir tahmin yönteminin geliştirilmesi için çok önemlidir. Bu çalışmada, yöntemimizi eğitmek ve test etmek için yüksek kaliteli bir kıyaslama veri seti oluşturulmuştur. Çalışmamızda oluşturulan kıyaslama veri seti için tüm kodların ve dizinin tam listesi NCBP'dan elde edilmiştir. Kıyaslama veri setimizdeki bilgi farklı uzunluklardaki DNA dizinlerinden oluşmaktadır.  $L$  uzunluğundaki nükleik asit kalıntılarında sahip bir DNA segmenti aşağıdaki gibi formüle edilmiştir.

$$D = R_1R_2R_3R_4R_5R_6R_7 \dots R_L \quad (1)$$

Burada  $R_i$  ( $i= 1,2,\dots,L$ ); ... ;  $L$  nükleik asidin uzunluğunu temsil ederken, DNA dizi örneği  $D$  ile ifade edilmiştir.

### 2.2. Özellik Çıkarımı

Destek Vektör Makineleri (DVM'ler), Rastgele Orman (RF) gibi makine öğrenme yöntemlerinin, doğrudan DNA üzerinde uygulaması gerçekleştirilemez. Bunun nedeni biyolojik dizilerin harfler ile ifade edilmesi ve farklı uzunluklara sahip olmasıdır. Bu nedenle çalışmamızda, kıyaslama veri setinde yer alacak DNA dizinleri, sabit uzunluklu özellik vektörlerine dönüştürülmüştür. Anahtar kalıpların ve artıkların dizi sırası etkilerini kaybetmeden dizilerin vektörlere nasıl etkili bir şekilde dönüştürüleceği, hesaplamalı biyolojide zorlu bir problem haline gelmiştir. Özellik çıkarımı, biyolojik dizi analizi için kritik öneme sahiptir. Bunun temel nedeni ise bazı özelliklerin boyutunun son derece yüksek olmasıdır.

DNA dizileri için öznitelik çıkarma yöntemleri temel olarak üç kategoriye ayrılabilir; Nükleik asit bileşimi, otokorelasyon ve sözde nükleotit bileşimi. Çalışmamızda Nükleik asit bileşimi kategorisi baz alınmıştır. Bu kategorideki yöntemler, bir DNA dizisi  $S$  boyunca en yakın veya bitişik

olmayan kalıntıların oluşum frekanslarını sayarak kısa menzilli veya yerel dizi düzeni bilgilerini yakalayabilir. Bu kategorideki en çok kullanılan yöntem k-mer'dir [12].

### **2.2.1.K-mers**

Biyoinformatikte, k-mer'ler biyolojik bir dizi içinde yer alan k uzunluğundaki alt dizilerdir. Öncelikle, k-mer'lerin, nükleotitlerden (yani A, T, G ve C) oluştuğu hesaplamalı genomik ve dizi analizi bağlamında kullanılır. K-mer'ler, DNA dizilerini birleştirmek için kullanılırlar. Genellikle, k-mer teriminde parametre olarak kullanılan k hesaplanılacak alt kümelerin içindeki nükleotitlerin sayısını ifade eder. Örneğin 4 monomer (A, G, A, and T), 2-mers (AG,GA,AT) iken 3-mer (AGA, GAT) şeklinde hesaplanabilir. Çalışmamızda Monomer, 2-mer ve 3-mer kullanılarak özellik çıkarımı sağlanmıştır.

## **2.3.Tahmin Yapısı için kullanılan Makine Öğrenmesi Algortimaları**

### **2.3.1.Destekçi Vektör Makinesi (DVM):**

Destek vektör makinesi (DVM), sınıflandırma ve regresyon analizi için verileri analiz eden bir makine öğrenme algoritmasıdır. DVM, verilere bakan ve bunları iki kategoriden birine ayıran denetimli bir öğrenme yöntemidir. Bir DVM, ikisi arasındaki kenar boşlukları olabildiğince uzak olacak şekilde sıralanmış verilerin bir haritasını çıkarır [13].

### **2.3.2.k-En Yakın Komşuluk Algoritması (kNN)**

k-En Yakın Komşuluk (kNN), basit ancak birçok durumda etkili olan, parametrik olmayan bir sınıflandırma yöntemidir [12]. Bir t veri kaydının sınıflandırılması için, en yakın k komşusu alınır ve bu t'nin bir komşuluğunu oluşturur. Komşuluktaki veri kayıtları arasında çoğunluk oylaması, genellikle mesafeye dayalı ağırlıklandırma dikkate alınarak karar vermek için kullanılır.

### **2.3.3.Lojistik Regrasyon:**

Lojistik regresyon, bağımlı değişken ikili (ikili) olduğunda yapılacak uygun regresyon analizidir. Tüm regresyon analizleri gibi, lojistik regresyon da tahmine dayalı bir analizdir. Lojistik regresyon, verileri tanımlamak ve bir bağımlı ikili değişken ile bir veya daha fazla nominal, sıra, aralık veya oran düzeyinde bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi açıklamak için kullanılır. [14]

### **2.3.4.Topluluk Yöntemi**

Topluluk öğrenimi, birden fazla modelin (genellikle "zayıf öğrenenler" olarak adlandırılır) aynı sorunu çözmek için eğitildiği ve daha iyi sonuçlar elde etmek için birleştirildiği bir makine öğrenimi paradigmasıdır. Ana hipotez, zayıf modeller doğru bir şekilde birleştirildiğinde daha doğru ve/veya sağlam modeller elde edebilmesidir.

Çalışmamızda Topluluk öğrenmesi modeli olarak Torbalama (Bagging),Yükseltme (Boosting) uygulanmıştır.

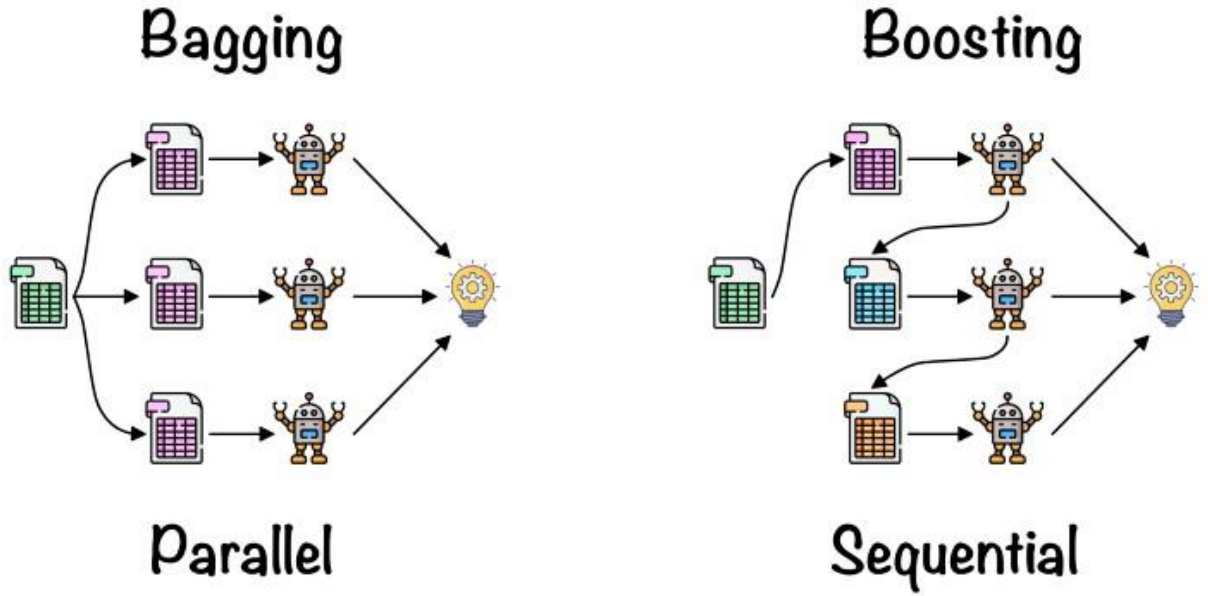


Figure x. Bagging ve Boosting | Spreadsheet, Robot and Idea icons by Freepik on Flaticon

#### 2.3.4.1. Torbalama (Bagging)

Torbalama, 1996 yılında Leo Breiman tarafından resmen tanıtıldı [15]. Torbalama, bir dizi homojen makine öğrenimi algoritmasının uygulanması yoluyla hata öğrenimini azaltmayı amaçlayan bir Topluluk Öğrenimi tekniğidir. Torbalamanın ana fikri, eğitim setinden rastgele bir örnekleme ayrı ayrı eğitilen, oylama veya ortalama alma yaklaşımıyla daha kararlı ve doğru bir model üreten çoklu temel öğrencilerin kullanılmasıdır.

Torbalama tekniğinin ana iki bileşeninden ilki değiştirme ile rastgele örnekleme (önyükleme), diğeri ise homojen makine öğrenme algoritmaları setidir (toplu öğrenme). Torbalama sürecinde önce eğitim setinden “n” alt küme çıkarılır, daha sonra bu alt kümeler aynı tipteki “n” temel öğrencileri eğitmek için kullanılır. Bir tahmin yapmak için, “n” öğrencinin her biri test örneğiyle beslenir, her bir öğrencinin çıktısının ortalaması alınır (regresyon durumunda) veya oylanır (sınıflandırma durumunda). figür x, torbalama mimarisine genel bir bakış gösterir.

#### 2.3.4.2. Yükseltme (Boosting)

Boosting, torbalama gibi, bir ML modelinin kararlılığını ve etkinliğini geliştirmek için bir dizi temel öğrenciden yararlanan bir Topluluk Öğrenimi tekniğidir. Destekleyici bir mimarinin arkasındaki fikir, her bir hipotezin bir öncekinde yapılan hataları iyileştirmeye veya düzeltmeye çalıştığı sıralı hipotezlerin üretilmesidir [4]. Boost'un ana fikri, homojen ML algoritmalarının sıralı bir şekilde uygulanmasıdır; burada bu ML algoritmalarının her biri, önceki ML algoritması tarafından yapılan hatalara odaklanarak modelin kararlılığını iyileştirmeye çalışır. Her bir temel öğrencinin hatalarının, bir sonraki temel öğrenci ile iyileştirildiği düşünülme şekli, artırma tekniğinin tüm varyasyonları arasındaki temel farklılaştırıcıdır.

Çalışmamızda Model başarı ölçütü olarak doğruluk (accuracy) kullanılmıştır. Doğruluk ile sınıflandırıcının, vakaları ne kadar iyi tahmin edebildiği ölçülmüştür.



### 3. Bulgular

Çalışmamızda k-mer algoritması farklı k parametreleri ile çalıştırılıp, farklı nitelikte ve çeşitlilikte özellik çıkarımı sağlanmış olundu. NCBI'dan elde ettiğimiz veri setindeki farklı uzunlukdaki DNA dizinleri, böylelikle aynı boyuttaki veri setine dönüştürüldü.

Öznitelik çıkarma işlemi sonrasında, göğüs kanseri teşhisi için topluluk öğrenmesi yöntemleri ile öğrenme sağlanıp, doğruluğu en yaygın olarak kullanılan dört makine öğrenme algoritması Destekçi Vektör Makinesi (DVM), k-En Yakın Komşuluk Algoritması (kNN), Lojistik Regrasyon sınıflandırıcıları ile doğruluk değerleri karşılaştırıldı (Tablo 1)

Sınıflandırıcı İsmi	Doğruluk Değeri
k-En Yakın Komşuluk Algoritması (kNN)	%65
Destekçi Vektör Makinesi (DVM)	%72
Lojistik Regrasyon	%70
<b>Yükseltme (Boosting)</b>	<b>%80</b>
<b>Torbalama (Bagging)</b>	<b>%84</b>

Yükseltme algoritması ile %80 doğruluk elde edilirken, Torbalama algoritması ile doğruluk %84'e çıkarılmıştır. Topluluk öğrenmesi algoritmalarına en yakın doğruluğa sahip yöntem ise %72 ile Destekçi Öğrenme Makinesi olmuştur.

### 4. Sonuç

Makine öğrenimi teknikleri genetik ve Bioinformatik alanlarında yaygın olarak kullanılan ve sonuçlara hızlı bir şekilde ulaşmamızı sağlayan yöntemler olarak bize hizmet etmektedir. Bu çalışmada; göğüs kanseri teşhisi için bagging ve boosting topluluk öğrenme yöntemleri uygulanıp literatürde sıklıkla kullanılan k-En Yakın Komşuluk Algoritması (kNN), Destekçi Vektör Makinesi (DVM) ve Lojistik Regrasyon ile doğruluk yüzdelerine göre birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Kullanılan tekniklerin performans karşılaştırması NCBI'da hastalık ile ilgili DNA dizinimleri araştırılarak elde edilen veri tablosu kullanılarak yapılmıştır.

Sonuç olarak yapılan incelemede topluluk öğrenmesinin, diğer yöntemlere göre daha iyi sonuç verdiği ve yapmış olduğumuz çalışmanın sağlık uzmanlarına ikinci bir görüş sunarak yardımcı olabileceği kanısına varılmıştır.

### 5. Tartışma

Genom çağında yaşadığımız bu dönemde bilimdeki ilerlemeler insanların yaşamın gizemlerini gözetlemelerine ışık tutmaktadır. Moleküler biyolojinin gelişimi ile son yıllarda biyolojik verilerin hızla genişlemesi sayesinde büyük bir biyolojik bilgi veri tabanları oluşmaktadır. Bu devasa verilerden faydalı bilgiler elde etmek içinse disiplinler arası bir konu olan biyoinformatik kavramı ortaya atılmıştır. Biyolojik verilerdeki biyolojik bilgileri çıkarmak için ise matematik, yaşam bilimleri ve bilgisayar bilimleri kapsamlı bir şekilde kullanılır (Chu, 2014).

Kanser, doğası gereği karmaşık ve heterojen bir hastalıktır, bu da onu özellikle sistem biyolojisi yaklaşımlarına uygun hale getirir. Malign tümörlerin, genler ve proteinler arasındaki ilişkilerin fonksiyonu önemlidir [16]. Tiroid hastalığı ile meme kanseri riski arasındaki bağlantı, tiroid hormonlarının meme epitel hücre büyümesini düzenlemedeki rolünü gösteren çalışmalarla desteklenmektedir [17]. Son yıllarda yapılan ıslak laboratuvar çalışmalarında sağlıklı kontrollere kıyasla meme kanserli kadınlarda daha yüksek oranda pozitif tiroid peroksidaz antikorlarının görüldüğü saptanmıştır ve bir çok çalışma meme kanseri hastalarının %10.0-19.7'sinde subklinik veya belirgin hipotiroidizm ile birlikte yüksek serum Tiroid Uyarıcı Hormon (TSH) düzeylerinin görüldüğünü göstermiştir [18]. Ayrıca, T4'ün hücrelerin plazma membranındaki  $\alpha\beta 3$  integrin reseptörü yoluyla hücre proliferasyonunu arttırdığı gösterilmiştir. Buna karşılık, kullanılan hücre hattının tipine göre değiştiği için T3'ün hücre proliferasyonu üzerindeki etkisi tam olarak belirlenmemiştir [18,19]. Literatürde bu alanda yapılan bazı gözden kaçmış noktalar ve eksiklikler bulunmaktadır. Bunlardan birincisi meme kanseri alanında yapılan oldukça çalışma ve data vardır. Fakat bu dataların hepsini bir arada görebileceğimiz herhangi bir in silico araç bulunmamaktadır. Bizim çalışmamız meme kanseri ve tiroid ilişkisinin ortak genlerini ıslak labta gösteren çalışmaların, in silico data olarak oluşturulmuş şeklindedir. Çalışmamızda BRCA1, BRCA2, PTEN, TP53 olmak üzere dört meme kanseriyle doğrudan ilişkili gen ve SLC5A5, SLC26A4, TG, TPO, DUOX2, DUOX2, HLA-DRB1, CTLA4, PTPN22, CD40, IL2RA, FCRL3, IL23R olmak üzere on beş tiroid hastalıklarıyla doğrudan ilişkili genler in silico olacak şekilde bilgisayar mühendisliğinde kullanılan makine öğrenimi sınıflandırma modeli oluşturuldu. Çalışmamızdan elde ettiğimiz sonuçlara göre; Topluluk öğrenmesi kullanılarak yüksek doğrulukta ve kısa sürede tahmin elde edilmiş olundu. Böylelikle ıslak lab çalışmalarında uzun süren deneylere kıyasla birden fazla sınıflandırıcı algortimasının bir araya gelerek oluşturduğu topluluk öğrenme yaklaşımının bu alanda uygulanabilirliği kanıtlanmış olundu.

Çalışmamız literatürde meme kanseri ve tiroid hastalıklarına spesifik literatürdeki makine öğrenmesi ile tasarlanmış ilk data olmuştur. İlk aşamada on dokuz gen verisi çalıştığımız datayı geliştirmeye devam edeceğiz. Datamız geliştirilmeye devam ettikçe, meme hastalıkları, meme kanseri, tiroid hastalıkları ve tiroid kanseri hakkında daha detaylı bilgi verecektir. İlerleyen zamanlarda ki amacımız literatürdeki meme kanseri ve tiroid hastalıklarındaki tüm verileri kendi tasarladığımız data çatısı altına toplamaktır.

Sonuç olarak; kanser biyoinformatiği, her vakanın gen ve protein varyasyonlarına dayalı olarak en güvenli ve en etkili tedavi stratejisini sağlayan tıbbın etkinliğinin ve etkinliğinin izlenmesinde ve tahmin edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır ve kanser çalışmalarının ve hastalıklarının biyoinformatik datalar sayesinde teşhis ve tedaviyi geliştirmesi beklenmektedir. Genom, biyolojik diziler, büyük ölçekli 'omik' veri setleri ve protein üç boyutlu yapısının analizi için klasik istatistik ve biyoinformatik teknikleri, hesaplamalı kanser araştırmaları için vazgeçilmez bir omurga oluşturabilir.

## Kaynakça

Vasei N, Shishegar A, Ghalkhani F, Darvishi M. Fat necrosis in the Breast: A systematic review of clinical. *Lipids Health Dis.* 2019;15:139.

Giustarini E, Pinchera A, Fierabracci P, Roncella M, Fustaino L, et al. Thyroid autoimmunity in patients with malignant and benign breast diseases before surgery.

*European J Endocrinology.* 2006;154:645-649.

Bhatti, P.;Veiga, L.H.; Ronckers, C.M.; Sigurdson, A.J.; Stovall, M.;Smith, S.A.; Weathers, R.; Leisenring, W.; Mertens, A.C.; Hammond, S.; et al. Risk of second primary thyroid cancer after radiotherapy for a childhood cancer in a large cohort study: An update from the childhood cancer survivor study. *Radiat. Res.* 2010, 174, 741-752.

Simon MS, Tang MTC, Bernstein L, Norman SA. Do thyroid disorders increase the risk of breast cancer? *Can Epid Prev Bio.* 2002;11:1574-1578.

Ditsch N, Liebhardt S, Von Koch F, Lenhard M. Thyroid function in breast cancer patients. *Anticancer Res.* 2010;30:1713-1717.

Bach, L., Kostev, K.,Schiffmann, L.et al. Association between thyroid gland diseases and breast cancer: a case-control study. *Breast Cancer Res Treat* 182, 207-213 (2020).

Khan SR, Chaker L, Ruiter R, Aerts JGJV, Hofman A, Dehghan A et al (2016) Thyroid function and cancer risk: the rotterdam study. *J Clin Endocrinol Metab* 101(12):5030-5036.

Sogard M, Farkas DK, Ehrenstein V, Jorgensen JOL, Dekkers OM, Sorensen HT (2016) Hypothyroidism and hyperthyroidism and breast cancer risk: a nationwide cohort study. *Eur J Endocrinol* 174(4):409-414.

Prinzi N, Baldini E, Sorrenti S, de Vito C, Tuccilli C, Catania A et al (2014) Prevalence of breast cancer in thyroid diseases: results of a cross-sectional study of 3,921 patients. *Breast Cancer Res Treat* 144(3):683-688.

Angelousi AG, Anagnostou VK, Stamatakos MK, Georgiopoulos GA, Kontzoglou KC (2012) Mechanisms in endocrinology: primary HT and risk for breast cancer: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Endocrinol* 166(3):373-381.

Edelman LB, Eddy JA, Price ND. In silico models of cancer. *Wiley Interdiscip Rev Syst Biol Med.* 2010;2(4):438-459. Doi:10.1002/wsbm.75.

Liu B, Long R, Chou KC iDHS-EL: identifying DNase I hypersensitive sites by fusing three different modes of pseudo nucleotide composition into an ensemble learning framework. *Bioinformatics* 2016;32(16):2411–18.

Cortes C, Vapnik V. Support-vector networks. *Mach Learn* 1995;20(3):273–97.

Wright, Raymond E. "Logistic regression." (1995).

Tufan, K., Noninvasive diagnosis of atherosclerosis by using empirical mode decomposition, singular spectral analysis, and support vector machines. *Biomedical Research-India*, 2013. 24(3): p. 303-313.

Anagnostou, Panagiotis, et al. "Approximate kNN Classification for Biomedical Data." *2020 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*. IEEE, 2020.,

Urrutia-Aguilar, María Esther, et al. "Logistic regression model for the academic performance of first-year medical students in the biomedical area." *Creative Education* 7.15 (2016): 2202.

Breiman, L. Bagging Predictors. *Machine Learning* 24, 123–140 (1996). <https://doi.org/10.1023/A:1018054314350>.

Schapire, Robert E. "The boosting approach to machine learning: An overview." *Nonlinear estimation and classification* (2003): 149-171.

## Demiryollarında Travers Geometrisinin Yük Transferine Etkisi

Sait GÜL<sup>1</sup>  
Mesut TIĞDEMİR<sup>2</sup>

### 1.Giriş

Son yıllarda karayolu ve havayolu ulaşımında trafik hacmi gün geçtikçe artmaktadır. Mevcut potansiyel, bu ağır trafik hacmini kaldıramamaktadır. Karayolu ve havayolu taşımacılığında giderek artan tıkanmalar, ulaştırma sistemini tehdit etmektedir. Bu da insanları alternatifler aramaya itmekte ve demiryollarına ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır.

Dünyada ve ülkemizde gün geçtikçe demiryollarına yapılan yatırım artmaktadır. Özellikle de yüksek hızlı demiryollarına yapılan yatırımlar artmaktadır. Hızlı olması, çevre ve enerji sorunlarına karşı çok uygun bir ulaştırma olması yüksek hızlı demiryollarını daha cazip kılmaktadır.

Demiryolları geçmişten günümüze ulaşım, hammadde taşımacılığı gibi amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır. Demiryolu sistemleri gün geçtikçe gelişmektedir. İlk başta, raylardan insan gücüyle çekilen sistemlerden, şimdi 200-300 km/saat hızlara ulaşan sistemler haline gelmiştir. Sistemlerdeki bu gelişimi demiryolu üstyapısı ve altyapısında da görmek mümkündür. Gelişen teknolojilerle birlikte bir şeyin kullanılmasından çok, en iyi kullanılması daha önemli hale gelmektedir. Bu da bir bütünü oluşturan parçaların en iyi ve en uygun tasarlanmasını gerekli kılmaktadır. Demiryolu; raylar, traversler, balast ve platform gibi bölümlerden oluşmaktadır. Dolayısıyla en iyi demiryolu tasarımının olabilmesi için bu parçaların da en iyi şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Traversler, demiryolu üstyapısının bir parçası olup, rayların belli bir açıklıkta tutulmasını ve raylardan gelen dingil yüklerini platforma iletmektedir. Traversler; ahşap, çelik, plastik ve beton gibi farklı maddelerden oluşturulabildiği gibi farklı geometrilere de oluşturulabilmektedir. Travers tipleri içinde en çok kullanılan travers beton traverslerdir.

Traversler, statik ve dinamik yüklere maruz kalmakta ve bu yüklerin etkisiyle zarar görmektedir. Birçok travers hesaplanan servis ömrünü tamamlamadan deforme olduğu için değiştirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla traverslerin bakım ve onarım işlerine önemli miktarda bütçe ayrılmaktadır. Bu durum da traversler konusunda iyileştirmelerin gerekliliğini göz önüne sermektedir.

Literatürde; traverslerin demiryolundaki etkisini incelemek ve traverslerde iyileştirmeler yapmak için çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Özellikle ülkemizdeki çalışmalara bakıldığında traverslerin malzeme özellikleriyle ilgili çalışmalar yapıldığı görülmüştür. Ayrıca, demiryolu üstyapısının tasarımı ve yük transferinin incelendiği çeşitli programlar aracılığıyla modellenmiş ve sonlu elemanlar yöntemiyle analizi yapılmış çalışmaların olduğu görülmüştür.

Kasapoğlu (2010), beton traverslerde çelik tel kullanımının traversin dayanımına ve enerji yutma kapasitesine sağlayacağı katkıyı bulmak amacıyla çelik tel katkılı ve çelik tel katkısız olarak

---

<sup>1</sup> Graduate Student, Süleyman Demirel University, Department of Civil Engineering, Orcid: 0000-0001-9986-1107

<sup>2</sup> Prof. Dr., Süleyman Demirel University, Department of Civil Engineering, Orcid: 0000-0002-5303-2722

farklı traversler üretmiştir. Ürettiği bu traverslere de deneyler uygulayarak çelik tel katkısının traverslere etkilerini sayısal sonuçlar ile değerlendirmiştir.

Kozak (2010), beton travers üretiminde bazalt-kalker agreganın ve çelik lif kullanımının travers üzerindeki etkilerini görmek için deneysel bir çalışma yapmıştır. Yaptığı çalışmada agrega ve çelik miktarlarıyla farklı kombinasyonlarda traversler üreterek uyguladığı deneylerin sonuçlarına göre değerlendirmeler yapmıştır.

Shakeri et al. (2022), yaptıkları çalışmada optimum ultra yüksek performanslı fiber takviyeli beton geliştirmişlerdir. Tipik dingil yükleri altındaki gerilmeleri tahmin etmek için ön analiz yapmışlardır. Optimum reaktif toz beton karışım içeriklerinin nasıl olabileceğini bulmuşlardır. 25 ve 40 tonluk dingil yükü için önerilmeli olmayan beton travers için 2 farklı yapılandırma önerilmiştir.

Camille et al. (2022), yaptıkları çalışmada makro sentetik elyaf takviyeli beton traverslerin statik ve darbeli yüklemdeki davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. Elyaf lif takviyeli ve takviyesiz traversler kendi içinde karşılaştırılmıştır. Lif takviyeli önerilmeli beton traverslerin daha yüksek süneklik sağladığı ve daha yüksek enerjiyi emdiğini bulmuşlardır.

Kalliainen et al. (2016), yaptıkları çalışmada Plaxis 3d programında bir demiryolu hattı modellemişlerdir. Bu modelin gelecekteki çalışmaların daha ayrıntılı analizine olanak sağlayacağını düşünmektedirler. Hat bileşenlerinin özelliklerinin değişmesiyle gerilmelerdeki değişimleri analiz sonuçlarıyla değerlendirmişlerdir. Demiryolu hattının yük taşıma kapasitesini etkileyen en önemli faktörlerin taban rijitliği, yapısal katmanların kalınlık ve malzeme özellikleri olduğunu görmüşlerdir.

Domingo et al. (2014), yaptıkları çalışmada eğimli bir demiryolu hattında merkezkaç kuvveti ve sıcaklık etkisinden dolayı rayların zarar görmekte olduğunu, bundan dolayı raylardaki yanal direncin artırılması gerektiğini görmüşlerdir. Yanal dirençleri incelemek için bir sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Farklı traversler kullanıldığında yolun tepkisini incelemek için modelde değişimler yapılmıştır. Modellerinde traverslerin raya etkilerini analiz sonuçlarıyla ortaya koymuşlardır. Yeni traverslerin yanal direnci geleneksel traverslere göre %39 ile %55 arasında iyileştirmeler sağlayabileceği sonucuna varmışlardır.

Bu çalışmada Ansys Space Claim programı kullanılarak sahada kullanılan geometri ve malzeme özellikleriyle bir demiryolu hattı modellenmiştir. Bu demiryolu hattında; yükler, raylar ve platform sabit tutularak farklı geometrideki traversler modellenmiştir. En çok kullanılan travers B70 traversdir. B70 travers ve 3 farklı geometride travers modellenmiştir. Oluşan bu modellere, Ansys Workbenck'te yapılan analiz sonuçları karşılaştırılarak travers geometrilerinin gerilmeye ve düşey deplasmana olan etkileri tartışılmıştır.

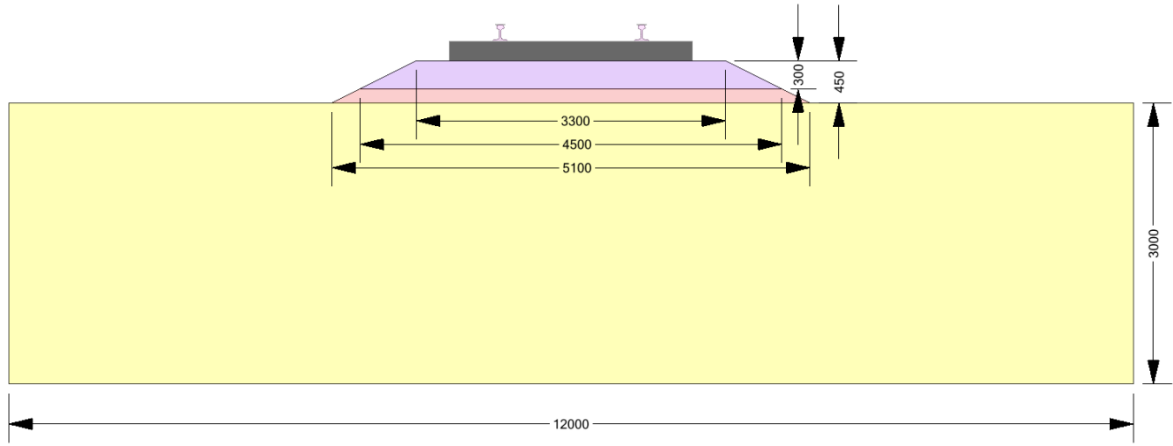
## 2. Yöntem

Bu çalışmada, Ansys Space Claim programı kullanılarak balastlı bir demiryolu hattı modellenmiştir. Modellenen bu demiryolu hattındaki malzeme özellikleri literatürden alınmıştır (aktaran Ağbaba, 2019: 37-45).

Tablo 1- Malzeme Özellikleri

	Poisson Oranı	Elastisite Modülü (Mpa)
Raylar	0,295	206 900
Traversler	0,3	64 000
Balast	0,2	250
Altbalast	0,35	40
Taban Zemini	0,3	20

Modellenen hatta platform balast, altbalast ve taban zemininden oluşmaktadır. Bu tabakaların ölçüleri mm olarak aşağıda verilmiştir (Şekil 1).



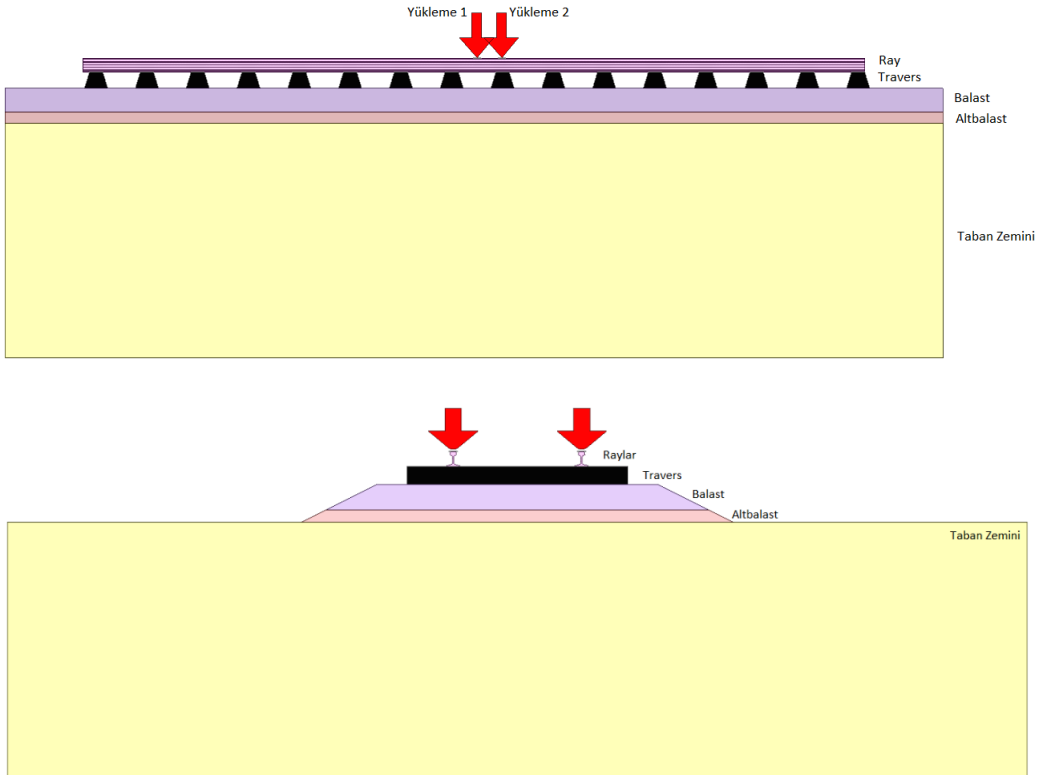
Şekil 1: Tabaka Ölçüleri

Modellenen bu hat üzerinde sadece traverslerin geometrileri değiştirilmiştir. Sahada en çok kullanılan travers, B70 travers olduğu için B70 traversle birlikte 3 farklı geometride travers modellenmiştir. B70 travers modellenirken geometrisi değiştirilmeden modellenmiştir. Diğer traversler modellenirken de B70 traversin ölçüleri dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda dikdörtgen kesitli, trapez kesitli ve tabanı genişletilmiş travers modellenmiştir. B70 travers ve diğer 3 traversin geometrileri ve ölçüleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2- Traverslerin Geometri ve Ölçüleri

	Üstten Görünüm	Yandan Görünüm	Karşıdan Görünüm
Dikdörtgen Travers			
Trapez Travers			
B70 Travers			
Tabanı Genişletilmiş B70 Travers			

Modellenen bu traverslerdeki en iyi ve en kötü gerilme ve deplasman koşullarını elde etmek için iki traversin ortasına ve tam traversin üzerine yükleme yapılmıştır. Yükleme, istenen yerin üzerindeki ray kısmından etki ettirilmiştir. Yükleme statik olarak yapılmıştır ve 25 ton olarak alınmıştır. Modellere yapılan yüklemenin yerleri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2: Modellerde Yükleme Yerleri



Bu yüklemenin ardından hat Ansys Workbenck'te analiz edilerek gerilme değerleri ve toplam deplasman değerleri elde edilmiştir. Elde edilen değerlere göre traversin yük tasarımındaki etkileri değerlendirilmiştir.

### 3. Bulgular

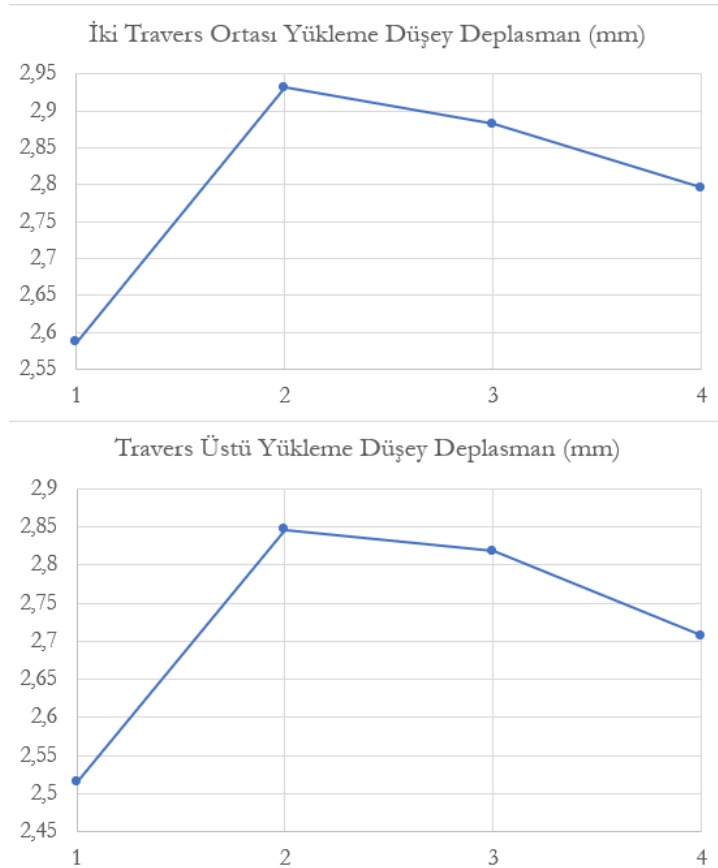
Travers geometrisinin yük transferine etkisinin incelendiği bu çalışmada, 4 model için düşey deplasman ve her bir üstyapı elemanında oluşan ortalama gerilme değerleri (Von-Mises) elde edilmiştir.

Tablo-3'de iki travers ortasına ve travers üstüne yapılan yükleme sonucunda 4 modelde oluşan düşey deplasman değerleri verilmiştir.

Tablo 3- Düşey Deplasman Değerleri

Travers Çeşitleri	Orta Yükleme Düşey Deplasman(mm)	Travers Üstü Yükleme Düşey Deplasman(mm)
1- Dikdörtgen Travers	2,5865	2,5143
2- Trapez Travers	2,9316	2,8457
3- B70 Travers	2,8823	2,818
4- Tabanı Geniş B70 Travers	2,796	2,7065

İki Travers ortasına ve travers üstüne yapılan yüklemenin sonucunda traverslere göre düşey deplasman değerleri yukarıdaki tabloda verilmiştir ve değişimin daha güzel görülebilmesi için Şekil 3'de gösterilmiştir.



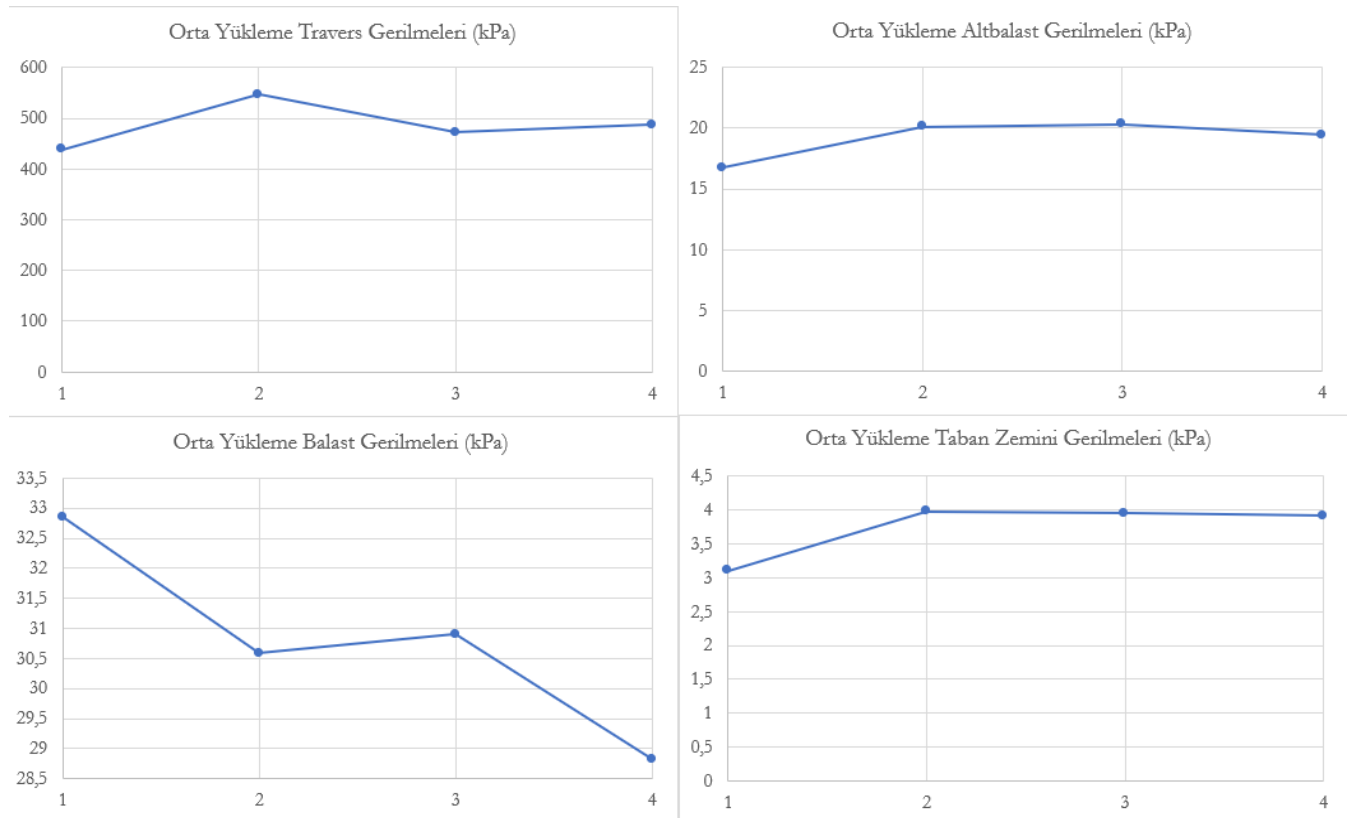
Şekil 3: Yapılan Yükleme Sonucu Oluşan Düşey Deplasman Grafikleri

İki travers ortasına yapılan yükleme sonucunda oluşan gerilim değerleri Tablo-4’de verilmiştir.

Tablo-4 İki Travers Ortası Yükleme Sonucu Üstyapı Eleman Gerilme Değerleri

	Travers(kPa)	Balast(kPa)	Altbalast(kPa)	Taban Zemini(kPa)
1- Dikdörtgen Travers	438,22	32,85	16,75	3,11
2- Trapez Travers	546,48	30,583	20,11	3,98
3- B70 Travers	472,4	30,904	20,31	3,95
4- Tabanı Geniş B70 Travers	486,73	28,828	19,46	3,92

İki travers ortasına yapılan yükleme sonucunda demiryolu üstyapı elemanlarındaki gerilme değerlerin modellere göre değişimleri Şekil 4’de gösterilmiştir.



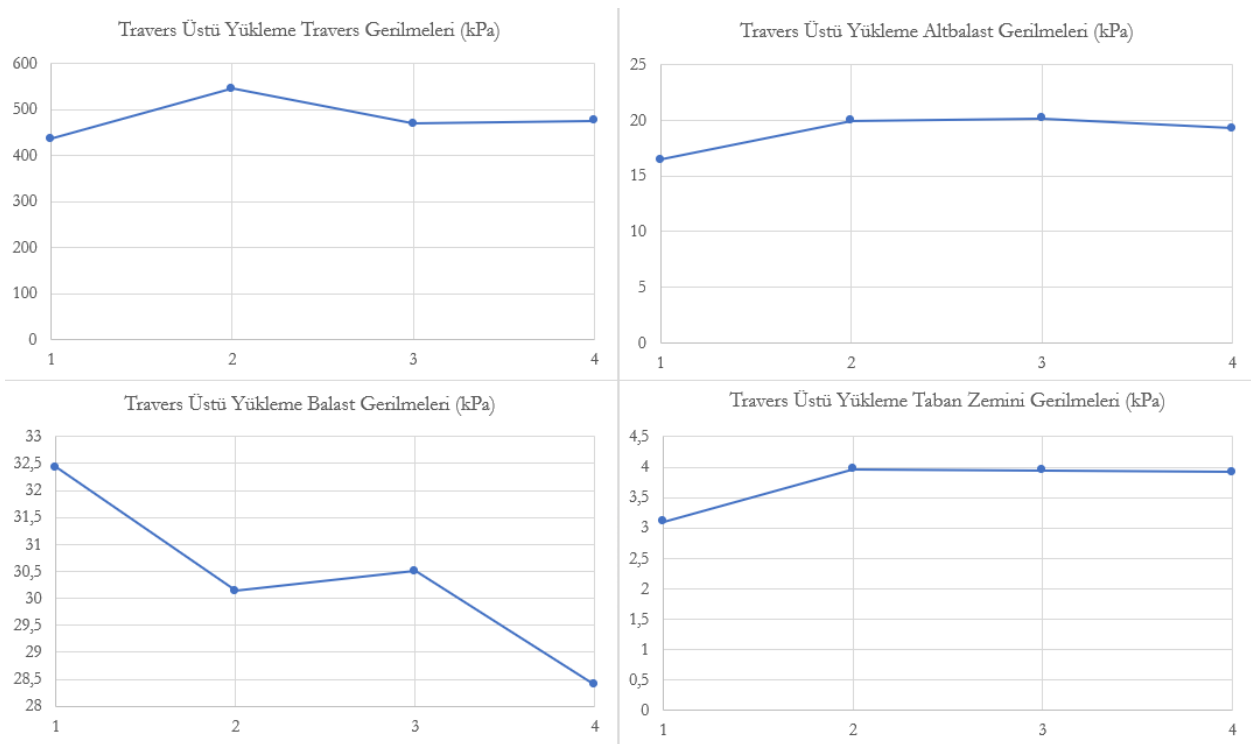
Şekil 4: İki Travers Ortasına Yapılan Yükleme Sonucu Elde Edilen Gerilme Grafikleri

Travers üstüne yapılan yükleme sonucunda elde edilen gerilme değerleri Tablo-5’de verilmiştir.

Tablo-5 Travers Üstü Yükleme Sonucu Üstyapı Eleman Gerilme Değerleri

	Travers(kPa)	Balast(kPa)	Altbalast(kPa)	Taban Zemin(kPa)
1- Dikdörtgen Travers	435,94	32,43	16,48	3,1
2- Trapez Travers	544,74	30,14	19,95	3,97
3- B70 Travers	468,89	30,506	20,18	3,95
4- Tabanı Geniş B70 Travers	474,83	28,402	19,3	3,92

Travers üstü yükleme sonucunda demiryolu üstyapı elemanlarındaki gerilme değerlerinin modellere göre değişimleri Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5: Travers Üstüne Yapılan Yükleme Sonucu Elde Edilen Gerilme Grafikleri

Tablodaki değerler ve grafikler incelendiğinde statik yükleme koşullarında travers geometrisinin deplasman ve gerilim değerlerini değiştirdiği açık bir şekilde görülmektedir. Ancak bu değerlerin, dinamik analizlerde farklı olabileceği düşünülmelidir.

#### 4. Sonuçlar

Önümüzdeki yıllarda hem ülkemizde hem de yurt dışında demiryolu kullanımı, özellikle de yüksek hızlı tren kullanımı artacaktır. Bu durum demiryolu sistemlerinde ve demiryolu üstyapısında yeni tasarım ve uygulamaları gerekli kılmaktadır. Traversler, demiryolu hattında servis ömrünü tamamlayamamaktadır. Bu durum da, özellikle hat bakım masraflarını yükseltmektedir. Yapılan bu çalışmada, bir demiryolu hattında sadece travers geometrilerinin gerilme ve düşey deplasman üzerindeki etkileri incelenmeye çalışılmıştır. İncelemede iki travers arasına ve travers üstüne statik

yükleme yapılmış ve analiz edilmiştir. Analiz sonucunda 4 farklı modelin gerilme ve düşey deplasman değerleri hesaplanmış ve karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Analiz sonuçlarına göre;

- Travers üstü yüklemdeki ortalama düşey deplasman ve ortalama gerilme değerleri iki travers ortasına yapılan yüklemdekine göre düşüktür.
- Bütün hatlardaki düşey deplasman değerleri birbirine yakın olmakla beraber en küçük düşey deplasmanın dikdörtgen kesitli traversin olduğu hatta olduğu görülmüştür.
- İki travers ortasına yapılan yükleme sonucu elde edilen gerilmelere bakıldığında, dikdörtgen kesitli travers kullanılan hatta travers gerilmesi diğer modellere göre düşük olurken, ballast gerilmesi diğer hatlara göre yüksektir.
- İki travers ortasına yapılan yükleme sonucu elde edilen gerilmelere bakıldığında, trapez kesitli travers kullanılan hatta tabakalardaki gerilmeler sahada kullanılan B70 traversle uyum içindeyken, traversdeki gerilmenin arttığı görülmüştür. Bu da zaten servis ömrünü tamamlayamayan B70 travers yerine aynı malzeme özelliklerinde trapez kesitli traversin kullanımının uygun olmadığını göstermektedir.
- Travers üstüne yapılan yüklemde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Gerilme değerleri geometrilere göre benzer değişiklikler göstermiştir.
- B70 traversin tabanını genişletmek gerilme ve düşey deplasmanı azaltsa da maliyeti artırdığı için uygunluğu tartışılmalıdır.
- Yapılan bu çalışmada uygulamada kullanılan B70 travers tipine alternatif 3 geometri önerilmiştir. Yapılan analizler sonucunda mevcut B70 traversinin alternatiflere göre gerek deplasman gerekse gerilme değerleri açısından daha uygun olduğu görülmüştür. Sonraki çalışmalarda B70 geometrisinin kendi iç dinamikleri açısından irdelenmesinin daha anlamlı sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

Yapılan çalışmadaki analiz sonuçlarına bakıldığında travers geometrisinin demiryolu hattını önemli oranda etkilediği görülmüştür. Farklı travers geometrileri kullanılarak gerçekleştirilecek dinamik analizler ve farklı geometride üretilen traverslerle sahada oluşturulan bir hatta deneysel çalışmalar yapılmasının literatüre katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

## 5. Kaynakça

- Ağbaba B. (2019). Balastlı demiryolu ve balastsız demiryolunun ansys programı yardımıyla analizinin yapılması ve karşılaştırılması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Camille C., Hewage D. K., Mirza O., Clarke T. (2022, March). Full-scale static and single impact testing of prestressed concrete sleepers reinforced with macro synthetic fibres. *Transportation Engineering*, 7, 1-11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.treng.2022.100104>
- Domingo L. M., Herraiz J. I. R., Zamorano C., Herraiz T. R. (2014). Design of a new high lateral resistance sleeper and performance comparison with conventional sleepers in a curved railway track by means of finite element models. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 11, 1238-1250.
- Kalliainen A., Kolisoja P., Nurmikolu A. (2016). 3d finite element model as a tool for analyzing the structural behavior of a railway track. *Procedia Engineering*, 143, 820-827. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.133>
- Kasapoğlu, E. (2010). *Çelik tel kullanımının beton traverslerin mekanik özelliklerine etkisi*. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Kozak, M. (2010). *Beton travers üretiminde agrega türü (basalt-kalker) ve çelik lifin kullanılabilirliğinin araştırılması*. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Shakeri A., Remennikov A. M., Sheikh M. N. (2022, January). Development of fibre-reinforced concrete mix for manufacturing non-prestressed concrete sleepers. *Structures*, 37, 588-599. doi: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.01.035>

## CuO Katkılı Nanolif Yapıların Üretimi ve Karakterizasyonu

Özlem ERDEM YILMAZ<sup>1</sup>

### Giriş

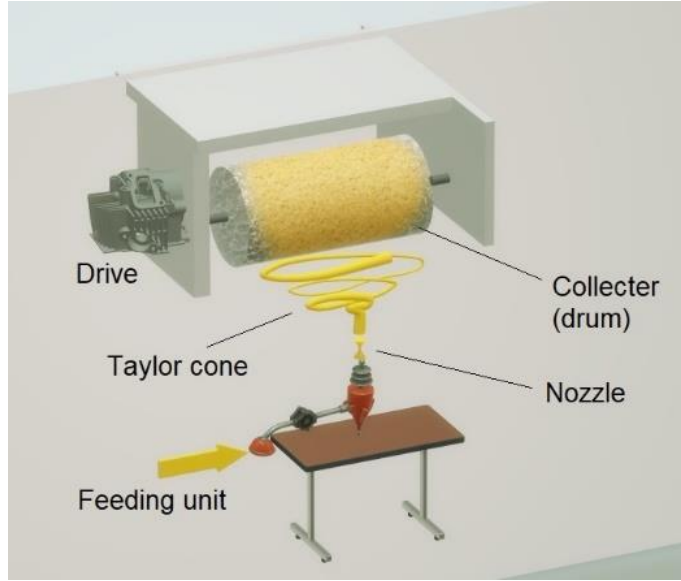
Geçiş metal oksitleri nano boyutta geniş yüzey alanına sahip olabilmeleri, iyi bir kimyasal kararlılık gösterebilmeleri ve elektron hareketliliğini maksimum seviyelere çıkarabilmeleri dolayısıyla dikkate değer sonuçlar gösterebilmektedirler (Sethuraman vd., 2018). Geçiş metali oksitleri arasında bakır oksitler, 1.2 eV ila 1.7 eV arasında dar bir bant aralığına sahip, yaygın olarak bir yük taşıyıcı kaynağı olarak kullanılan p tipi bir yarı iletkenidir (Kaur vd., 2006). Bakır(I) oksit ( $Cu_2O$ ) ve bakır(II) oksit ( $CuO$ ) olarak iki biçimde bulunur. Bu iki oksit, farklı fiziksel özelliklere ve elektriksel özelliklere sahiptir. Ayrıca renkler ve kristal yapılarında farklılık gösterirler (Manjunath vd., 2016). Düşük maliyetli üretim yöntemleri ve iyi elektrokimyasal özellikleri sebebiyle,  $CuO$ 'yu elektrik, optik, algılama vb alanlarda en iyi malzemelerden biri yapar (Anderson vd., 1972; Mott, 1968). Özellikle nano boyutlu bakır oksit ( $CuO$ ) mükemmel katalitik özelliklere, ucuza, düşük sıcaklığa ve nanoyapılarının kolay ayarlanmasına sahip olmaları nedeniyle dikkat çekici bir malzeme olarak görülmektedir. Yüksek yüzey ve hacim oranları dolayısıyla  $CuO$  nanoyapılarının lityum iyon elektrot malzemelerinde (Gao vd., 2004; M. Xu vd., 2011), manyetik depolama malzemelerinde (Wang vd., 2007), gaz algılama sensörlerinde (Choi vd., 2011; Li vd., 2009), fotokataliz reaksiyonlarında (Vaseem vd., 2008), güneş pillerinde (Sahay vd., 2012; Y. Xu vd., 2005) mükemmel özelliklere ve umut verici uygulamalara sahiptir (Al-Amri vd., 2014; Jan vd., 2014).

$CuO$  nano malzemelerinin sentezi için hidrotermal (Dar vd., 2008), elektrokimyasal biriktirme (Chen vd., 2010), sol-jel teknolojisi (Ray, 2001), termal oksidasyon (Duc vd., 2014) ve kimyasal buhar biriktirme (Maruyama, 1998) gibi çeşitli yöntemler önerilmiş ve araştırılmıştır. Bu yöntemler arasında elektro-eğirme, çeşitli kompozisyonları bir araya getirerek önemli uzunlukta nanolifleri sentezlemek için basit, ekonomik, verimli, tekrarlanabilir ve çok yönlü bir tekniktir (Ramazan Erdem & Erdem, 2017).

Elektro eğirme ile malzemenin yüzey alanının ve gözenekliliğin artırılması dolayısıyla da malzemenin aktivitenin artırılması ve daha işlevsel hale gelmesi mümkündür. Bu yöntem, şırınga ile iğne ucundaki polimer damlacığına yüksek voltajın uygulandığı bir işlemdir. Bunun için içeriği çeşitlendirilebilen uygun bir polimer çözeltisi hazırlanarak besleyici üniteye bağlanmış bir elektrot (nozzle) yardımıyla elektriksel alan oluşturularak çözeltinin bu alana beslemesi yapılır. Elektriksel alanın etkisiyle damlacık üzerinde oluşan yük onu uzatır, damlacık yüzey gerilimini yener aşmaz bir Taylor konisi oluşturur ve karşı elektroda (toplayıcı) doğru uzamaya başlar. Bu uzama esnasında çözücü buharlaşır ve çapları nanometre düzeyine inen ince, yüklü lif çıkıntıları toplayıcı üzerine birikir (Çiftçi vd., 2015) (Şekil 1). Biriken fiberlerin çapları ve morfolojileri; çözeltinin viskozitesine, iletkenliğine, molekül ağırlığına, yüzey gerilimine, polimer konsantrasyonuna ve kullanılan çözücüye, işlem parametrelerine (uygulanan elektrik alan, mesafe, besleme hızı) ve ortam koşullarına (nem ve sıcaklık) bağlı olarak değişkenlik gösterir (R. Erdem vd., 2015; Xue vd., 2019). Böylece birçok alanda kullanılabilen, gelecek vaad eden nanoliflerden oluşan yüzeyler elektro eğirme tekniği ile tasarlanabilmektedir.

---

<sup>1</sup> Özlem ERDEM YILMAZ, Dr., Çukurova Üniversitesi, Tekstil Teknolojisi



Şekil 1. Elektro eğirme düzeneği

## Yöntem

### CuO nanopartiküllerin hazırlanması

Bakır (II) asetat [ $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ]'ın sodyum hidroksit (NaOH) ile sulu ortamda indirgenerek çöktürülmesiyle CuO nanopartikülleri, elde edilir. Bu amaçla, 0.2 M ve 300 ml bakır (II) asetat çözeltisi hazırlandı üzerine 1 ml kadar soğuk asetik asit ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) ilave edildi ve manyetik karıştırıcı yardımıyla kaynama sıcaklığına kadar ısıtıldı. Üzerine 15 ml ve 3 M NaOH çözeltisi ilave edildi. Çözelti siyah renge dönerken süspansiyon oluştu. Reaksiyona 3 saat kaynama sıcaklığında devam edildi. Ardından oda sıcaklığına soğutuldu ve santrifüj edilerek CuO çökeltisi elde edildi. Çökelti süzülüp, birkaç kez saf su ve etanol ile yıkandı. Yıkamadan sonra  $80^\circ\text{C}$ 'de 12 saat kurutuldu (Manjunath vd., 2016).

### Elektro eğirme ile CuO/PVA nanoliflerinin üretimi

Elektro eğirme yönteminde polimer olarak polivinil alkol (PVA,  $M_w$ : 125000) kullanıldı. PVA su içinde çözülerek ağırlıkça %10 olacak şekilde bir PVA çözeltisi hazırlandı, ultrasonik karıştırıcıda 6 saat karıştırıldı. Bu çözeltiye ağırlıkça %5 CuO ilave edildi ve 18 saat karıştırıldı. Hazırlanan karışım 5 mL'lik şırıngaya çekilerek elektro eğirme düzeneğine beslendi. Elektro eğirme esnasında uygulanan işlem parametreleri; voltaj: 2,1 kV/cm, çözeltinin besleme hızı: 0,2 mL/saat, alüminyum (Al) folyo sarılı toplayıcı (kollektör) ile iğne ucu arasındaki mesafe: 12 cm'dir. İşlem tamamlandıktan sonra toplayıcı sistemden alındı ve elde edilen fiber ağ Al folyodan toplandı.

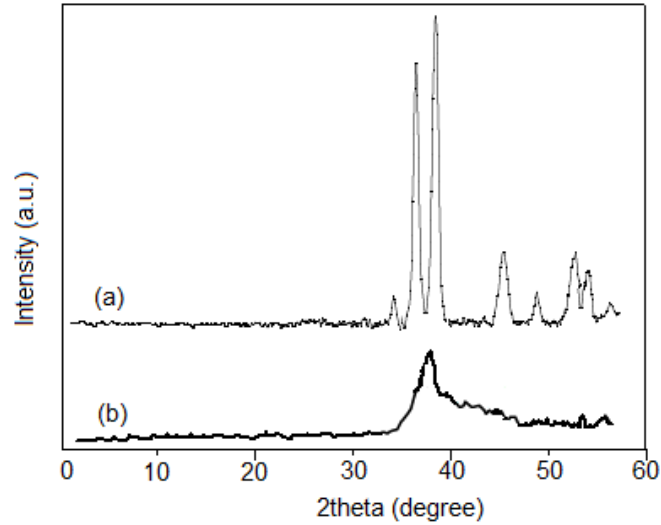
## Karakterizasyon

Elde edilen CuO/PVA nanoliflerinin yapısını ve morfolojilerini incelemek için X-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve Fourier transform kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) yöntemlerine başvurulmuştur. Yapının saflığını ve kristallliğini araştırmak için XRD, nanoliflerinin oluşumunu ve boyutunu gözlemlemek için SEM, kimyasal yapı analizinde FT-IR analizi yapıldı.

## Değerlendirme ve Sonuç

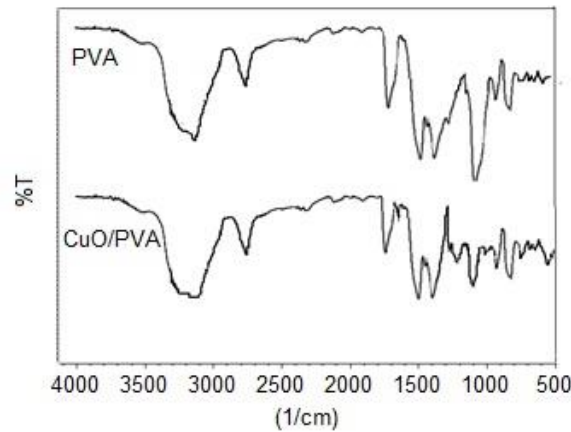
### Yapısal/Morfolojik Karakterizasyon

CuO ve CuO/PVA nanofiberlerinin kristalin yapısını incelemek amacıyla X-ray dağılım pikleri incelendi (Şekil 2). CuO için özellikle  $2\theta=35.8^\circ$ de görülen öncü kristalin piki, tek fazlı monoklinik kristal örgü yapısında olduğunu göstermektedir. PVA-CuO nanolif yapısına ait XRD spektrumunda ise CuO'nun diğer pik tepe noktalarında genişlemeler ve kaymalar gözlenmiştir. Bu durum da CuO'nun polimer zincirine dâhil olurken amorf bir yapıya dönüştüğünü ve kristalizasyon derecesinin düştüğünü ancak CuO'nun PVA polimer yapısına dağıldığını göstermektedir. Bu amorf yapı, elektro eğirme sırasında polimer çözeltisinin çok hızlı buharlaşması ve liflerin çok hızlı oluşumuyla açıklanır (Chai & Wu, 2013).



Şekil 2. XRD spektrum: (a) CuO partikülü, (b) CuO/PVA nanolifi

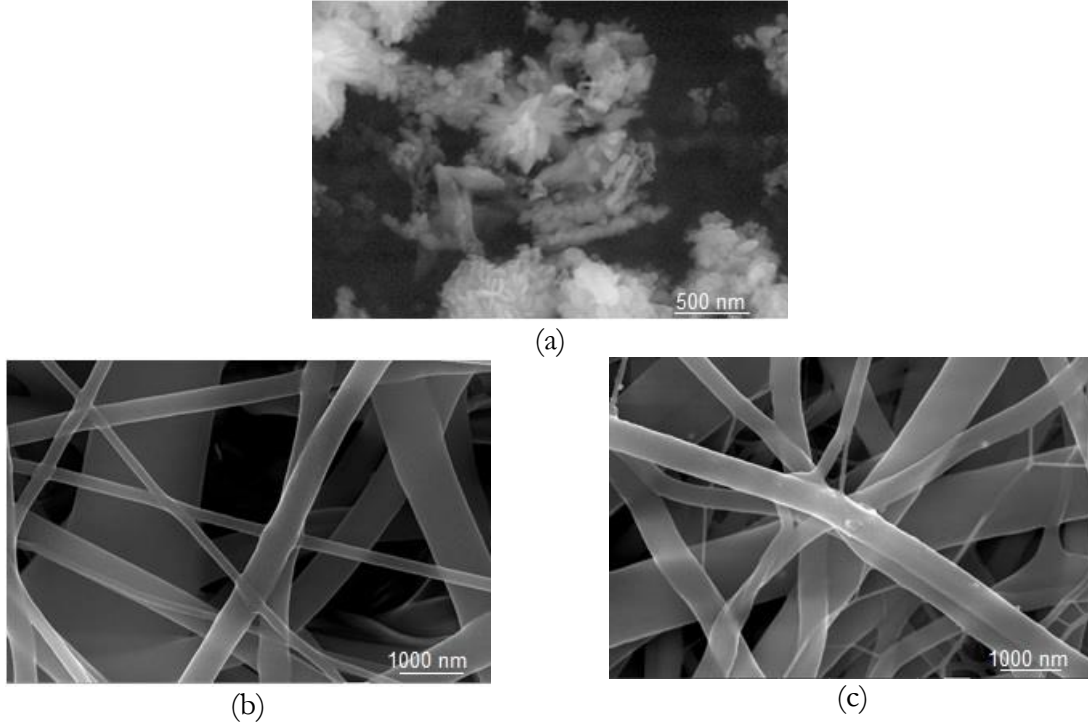
PVA ve PVA-CuO nanoliflerin absorpsiyon ve titreşim bantlarına bağlı olarak yapısal analizleri için FTIR spektrumları  $600-4000\text{ cm}^{-1}$  frekans bölgesinde kaydedildi (Şekil 3). PVA nanoliflerine ait  $3500-3000\text{ cm}^{-1}$  deki geniş absorpsiyon bant aralığı alkol yapısındaki  $-\text{OH}$  iyonlarını işaret eder.  $1670\text{ C}=\text{O}$ ,  $1440\text{ cm}^{-1}$  deki pik  $\text{CH}_2$ 'lerin varlığını gösterir. Yapıya CuO'nun katılmasıyla yine PVA'ya ait  $1750$  ve  $1650\text{ cm}^{-1}$  deki karakteristik bantlarında hafif kaymalar gözlemlenmiştir. Ayrıca FTIR spektrumunda Cu-O'ya ait  $511$  ve  $670\text{ cm}^{-1}$  deki karakteristik piklerin varlığı, CuO'nun PVA polimer yapısına katıldığını gösterir.



Şekil 3. PVA ve PVA-CuO nanoliflerinin FTIR spektrumu



CuO nanopartiküllerinin ve elektro eğirme yöntemi kullanılarak kütlece %10'luk PVA ve %5 CuO katkılı PVA çözeltisinden elde edilen nanolifleri yüzeylerinin morfolojik analizi için 50000x büyütmedeki SEM görüntüleri Şekil 4'te verilmiştir. SEM görüntülerine göre, CuO'nun ortama 80 nanometre aralığındaki boyuta sahip parçacıklardan oluştuğu, partikül ayrımının bazı noktalarda kısmen ayrılmadığı gözlenmiştir. PVA liflerine eklenen CuO nanopartiküllerinin SEM görüntülerine bakıldığında da nanoliflerin morfolojik yapısının düzgün olduğu, boncuk oluşumu gerçekleşmeden kesiksiz liflerin elde edildiği görülmüştür. Lif çaplarının ortalama 650 nm civarında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca nanopartiküllerin lifler arasına heterojen olarak dağıldığı, düzgün bir şekilde ayrıldığı ve aglomerasyondan çok fazla etkilenmediği görülmektedir.



Şekil 4. SEM görüntüleri: (a) CuO nanopartikülü, (b) PVA, (c) CuO/PVA nanolifleri

Sonuç olarak, birçok alanda ilgi gören CuO metaloksitinin etkinliğini ve aktivitesini arttırmak üzere PVA polimeri ile uygun çözeltisi hazırlanarak elektro eğirme yöntemiyle nanofilm yüzey başarı ile elde edilmiştir. Konvansiyonel yöntemlerle hazırlanan CuO yapısında partikül aglomerasyonu çok daha fazla ve parçacık ayrımı pek iyi değilken polimer çözelti ile hazırlanan nanofilm yapısında CuO'nun dağılım gösterdiği, aglomerasyondan uzak olduğu gözlenmiştir. Karakterizasyon çalışmalarında CuO'nun tek fazlı monoklinik örgü yapısında olduğunu ancak PVA polimeri ile nanolif yapısında kristalinitesinde düşüş olduğu, amorf bir yapının oluştuğu gözlenmiştir. Ancak ayrıntılı incelenen analizler sonucunda CuO nanopartikülünün elektro eğirme yöntemiyle nan boyutta fiber ağ yapısına katıldığı, yüzey alanı geniş, etkinliği artırılmış nanofilmlerin eldesi başarıyla sağlanmıştır. Üretilen CuO/PVA kompozit nanoliflerin bu özellikleri sayesinde birçok alanda özellikle de süperiletkenler ve/veya sensör uygulamalarında etkin rol oynamaları beklenmektedir.

## Kaynaklar

- Al-Amri, S., Ansari, M., Rafique, S., Aldhahri, M., Rahimuddin, S., Azam, A., & Memic, A. (2014). Ni Doped CuO Nanoparticles: Structural and Optical Characterizations. *Current Nanoscience*, 11(2). <https://doi.org/10.2174/1573413710666141024212856>
- Anderson, P. W., Halperin, B. I., & Varma, C. M. (1972). Anomalous low-temperature thermal properties of glasses and spin glasses. *Philosophical Magazine*, 25(1). <https://doi.org/10.1080/14786437208229210>
- Chai, J. H., & Wu, Q. S. (2013). Electrospinning preparation and electrical and biological properties of ferrocene/poly(vinylpyrrolidone) composite nanofibers. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 4(1). <https://doi.org/10.3762/bjnano.4.19>
- Chen, L., Shet, S., Tang, H., Wang, H., Deutsch, T., Yan, Y., Turner, J., & Al-Jassim, M. (2010). Electrochemical deposition of copper oxide nanowires for photoelectrochemical applications. *Journal of Materials Chemistry*, 20(33). <https://doi.org/10.1039/c0jm01228a>
- Choi, S. W., Park, J. Y., & Kim, S. S. (2011). Growth behavior and sensing properties of nanograins in CuO nanofibers. *Chemical Engineering Journal*, 172(1). <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.05.100>
- Çiftci, Ş., Özek, S., Aksoy, S. A., Aksoy, K., & Göde, F. (2015). Nanokil Katkılı PVA/Kitosan Nanolif Sentezi ve Karakterizasyonu Synthesis and Characterization of PVA/Chitosan Nanofiber Added Nanoclay. *SDU Journal of Science (E-Journal)*, 10(1).
- Dar, M. A., Kim, Y. S., Kim, W. B., Sohn, J. M., & Shin, H. S. (2008). Structural and magnetic properties of CuO nanoneedles synthesized by hydrothermal method. *Applied Surface Science*, 254(22). <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2008.06.004>
- Duc, L. D., Le, D. T. T., Duy, N. Van, Hoa, N. D., & Hieu, N. Van. (2014). Single crystal cupric oxide nanowires: Length- and density-controlled growth and gas-sensing characteristics. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, 58. <https://doi.org/10.1016/j.physe.2013.11.013>
- Erdem, R., Usta, I., Akalin, M., Atak, O., Yuksek, M., & Pars, A. (2015). The impact of solvent type and mixing ratios of solvents on the properties of polyurethane based electrospun nanofibers. *Applied Surface Science*, 334. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.10.123>
- Erdem, Ramazan, & Erdem, Ö. (2017). Elektrik Alan ile Lif Çekimi Yöntemi ile Elde Edilen Ligand Katkılı Poliüretan Nanoliflerin Morfolojik ve Lüminesans Özelliklerinin İncelenmesi. *Tekstil ve Mühendis*, 24(105). <https://doi.org/10.7216/1300759920172410503>
- Gao, X. P., Bao, J. L., Pan, G. L., Zhu, H. Y., Huang, P. X., Wu, F., & Song, D. Y. (2004). Preparation and electrochemical performance of polycrystalline and single crystalline CuO nanorods as anode materials for Li ion battery. *Journal of Physical Chemistry B*, 108(18). <https://doi.org/10.1021/jp037075k>
- Jan, T., Iqbal, J., Mansoor, Q., Ismail, M., Sajjad Haider Naqvi, M., Gul, A., Faizan-Ul-Hassan Naqvi, S., & Abbas, F. (2014). Synthesis, physical properties and antibacterial activity of Ce doped

CuO: A novel nanomaterial. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 47(35). <https://doi.org/10.1088/0022-3727/47/35/355301>

Kaur, M., Muthe, K. P., Deshpande, S. K., Choudhury, S., Singh, J. B., Verma, N., Gupta, S. K., & Yakhmi, J. V. (2006). Growth and branching of CuO nanowires by thermal oxidation of copper. *Journal of Crystal Growth*, 289(2). <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2005.11.111>

Li, J. Y., Xiong, S., Xi, B., Li, X. G., & Qian, Y. T. (2009). Synthesis of CuO perpendicularly cross-bedded microstructure via a precursor-based route. *Crystal Growth and Design*, 9(9). <https://doi.org/10.1021/cg900346p>

Manjunath, A., Irfan, M., Anushree, K. P., Vinutha, K. M., & Yamunarani, N. (2016). Synthesis and Characterization of CuO Nanoparticles and CuO Doped PVA Nanocomposites. *Advances in Materials Physics and Chemistry*, 06(10). <https://doi.org/10.4236/ampc.2016.610026>

Maruyama, T. (1998). Copper oxide thin films prepared by chemical vapor deposition from copper dipivaloylmethanate. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 56(1). [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(98\)00128-7](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(98)00128-7)

Mott, N. F. (1968). Electronic Process in Non-crystalline Materials. In *Journal of Non-Crystalline Solids* (Vol. 1).

Ray, S. C. (2001). Preparation of copper oxide thin film by the sol-gel-like dip technique and study of their structural and optical properties. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 68(3–4). [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(00\)00364-0](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(00)00364-0)

Sahay, R., Sundaramurthy, J., Suresh Kumar, P., Thavasi, V., Mhaisalkar, S. G., & Ramakrishna, S. (2012). Synthesis and characterization of CuO nanofibers, and investigation for its suitability as blocking layer in ZnO NPs based dye sensitized solar cell and as photocatalyst in organic dye degradation. *Journal of Solid State Chemistry*, 186. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2011.12.013>

Sethuraman, R. G., Venkatachalam, T., & Kirupha, S. D. (2018). Fabrication and characterization of Zn doped CuO nanofiber using newly designed nanofiber generator for the photodegradation of methylene blue from textile effluent. *Materials Science- Poland*, 36(3). <https://doi.org/10.2478/msp-2018-0056>

Vaseem, M., Umar, A., Hahn, Y. B., Kim, D. H., Lee, K. S., Jang, J. S., & Lee, J. S. (2008). Flower-shaped CuO nanostructures: Structural, photocatalytic and XANES studies. *Catalysis Communications*, 10(1). <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2008.07.022>

Wang, S. Q., Zhang, J. Y., & Chen, C. H. (2007). Dandelion-like hollow microspheres of CuO as anode material for lithium-ion batteries. *Scripta Materialia*, 57(4). <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2007.04.034>

Xu, M., Wang, F., Zhao, M., Yang, S., Sun, Z., & Song, X. (2011). Synthesis of copper oxide nanostructures via a composite-Hydroxide-mediated approach: Morphology control and the electrochemical performances as anode material for lithium ion batteries. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, 44(2). <https://doi.org/10.1016/j.physe.2011.09.030>

Xu, Y., Chen, D., & Jiao, X. (2005). Fabrication of CuO prickly microspheres with tunable size by a simple solution route. *Journal of Physical Chemistry B*, 109(28). <https://doi.org/10.1021/jp051577b>

Xue, J., Wu, T., Dai, Y., & Xia, Y. (2019). Electrospinning and electrospun nanofibers: Methods, materials, and applications. In *Chemical Reviews* (Vol. 119, Issue 8). <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00593>

## Haberleşme Sistemleri için Farklı Yama Şekilleri ile Mikroşerit Anten Tasarımlarının Karşılaştırılması

Serdal KARAHAN<sup>1</sup>  
Ahmet Arif ULUSLU<sup>2</sup>

### KABLOSUZ İLETİŞİM

IEEE802.11, 2,4,3,6,5 ve 60GHz frekans bantlarında kablosuz yerel alan ağı (WLAN) bilgisayar iletişimi uygulamak için bir dizi standarttır. IEEE802.11a standardı, orijinal standartla aynı veri bağlantı katmanı protokolünü ve çerçeve biçimini kullanır. 5GHz bandında maksimum 54 Mb/s'lik net veri hızı ve hata düzeltme kodu ile çalışır ve 20 Mb/s'nin ortasında gerçekçi net ulaşılabilir çıktı sağlar.

2,4 GHz bandı aşırı kalabalık olacak kadar yoğun bir şekilde kullanıldığından, nispeten kullanılmayan 5 GHz bandının kullanılması 802.11a'ya önemli bir avantaj sağlar. Teoride, 802.11a sinyalleri, daha küçük dalga boyları nedeniyle duvarlar ve yollarındaki diğer katı nesnelere tarafından daha kolay emilir. 802.11a da parazitten muzdariptir, ancak yerel olarak müdahale edecek daha az sinyal olabilir, bu nedenle daha az parazit ve daha iyi verim sağlar.

Mikroşerit yama antenleri performansları ve sağlam tasarımları, imalatı ve yaygın kullanımları ile tanınmaktadır. Mikroşerit yama anteninin avantajları hafiflik, tasarım kolaylığı gibi dezavantajlarının üstesinden gelmiştir, uygulamalar tıbbi uygulamalar, uydular ve hatta uçaklardaki gibi askeri sistemler gibi çeşitli alanlarda, füzeler, roketler vb. mikroşerit antenlerinin kullanımı tüm alanlara ve alanlara yayılmakta ve artık alt malzeme ve imalat maliyetlerinin düşük olması nedeniyle ticari açıdan popülerlik kazanmaktadır. Geniş aralıkta yama antenlerinin artan kullanımı nedeniyle, maksimum uygulamalar için geleneksel antenlerin kullanımını devralması da beklenmektedir. Mikroşerit yama anteni, bazıları aşağıda tartışılan birçok uygulamaya sahiptir:

IEEE802.11, 2,4,3,6,5 ve 60GHz frekans bantlarında kablosuz yerel alan ağı (WLAN) bilgisayar iletişimi uygulamak için bir dizi standarttır. IEEE802.11a standardı, orijinal standartla aynı veri bağlantı katmanı protokolünü ve çerçeve biçimini kullanır. 5GHz bandında maksimum 54 Mb/s'lik net veri hızı ve hata düzeltme kodu ile çalışır ve 20 Mb/s'nin ortasında gerçekçi net ulaşılabilir çıktı sağlar.

2,4 GHz bandı aşırı kalabalık olacak kadar yoğun bir şekilde kullanıldığından, nispeten kullanılmayan 5 GHz bandının kullanılması 802.11a'ya önemli bir avantaj sağlar. Teoride, 802.11a sinyalleri, daha küçük dalga boyları nedeniyle duvarlar ve yollarındaki diğer katı nesnelere tarafından

---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Üniversitesi-

<sup>2</sup> Öğr. Gör. Dr., İstanbul Üniversitesi-

daha kolay emilir. 802.11a da parazitten muzdariptir, ancak yerel olarak müdahale edecek daha az sinyal olabilir, bu nedenle daha az parazit ve daha iyi verim sağlar.

Mikroşerit yama antenleri performansları ve sağlam tasarımları, imalatı ve yaygın kullanımları ile tanınmaktadır. Mikroşerit yama anteninin avantajları hafiflik, tasarım kolaylığı gibi dezavantajlarının üstesinden gelmiştir, uygulamalar tıbbi uygulamalar, uydular ve hatta uçaklardaki gibi askeri sistemler gibi çeşitli alanlarda, füzeler, roketler vb. mikroşerit antenlerinin kullanımı tüm alanlara ve alanlara yayılmakta ve artık alt malzeme ve imalat maliyetlerinin düşük olması nedeniyle ticari açıdan popülerlik kazanmaktadır. Geniş aralıkta yama antenlerinin artan kullanımı nedeniyle, maksimum uygulamalar için geleneksel antenlerin kullanımını devralması da beklenmektedir. Mikroşerit yama anteni, bazıları aşağıda tartışılan birçok uygulamaya sahiptir:

### **Mobil ve uydu iletişim uygulaması:**

Mobil iletişim, küçük, düşük maliyetli, düşük profilli antenlere ihtiyaç duyar. Mikroşerit yama anteni tüm bu gereksinimlere sahiptir ve mobil iletişim sistemlerinde kullanılmak üzere çeşitli tipte mikroşerit antenler tasarlanmıştır. Uydu iletişimi için dairesel polarize radyasyon modelleri gereklidir ve bir veya iki besleme noktasına sahip kare veya dairesel yama kullanılarak gerçekleştirilebilir.

### **Global Konumlandırma Sistemi uygulamaları:**

Günümüzde yüksek geçirgenlik sağlayan sinterlenmiş malzeme sağlayan alt tabakalı mikroşerit yama antenleri küresel konumlandırma sistemleri için kullanılmaktadır. Bu antenler, konumlandırılmaları nedeniyle dairesel polarize, kompakt ve çok pahalıdır. Milyonlarca GPS alıcısının konumlarını doğru bir şekilde bulmaları için kara araçları, deniz araçları ve uçakların genel nüfus tarafından kullanılması beklenmektedir.

### **Radio Frekans Tanımlama (RFID):**

RFID, mobil iletişim, üretim, lojistik, sağlık hizmetleri ve ulaşım gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. RFID sistemi, uygulamalara bağlı olarak genellikle 30 Hz ile 5.8 GHz arasındaki frekansları kullanır. Temel olarak RFID sistemi bir alıcı-verici veya etiket ve bir alıcı-verici veya okuyucudur.

### **Mikrodalga Erişimi için Dünya Çapında Birlikte Çalışabilirlik (WiMax):**

IEEE 802.16 standardı, WiMax olarak da adlandırılır. Teorik olarak 30 mil yarıçapına ve 70 Mbps veri hızına ulaşır. MPA, 2,4, 3,6 ve 5,4 GHz'de üç rezonans modu üretir ve bu nedenle WiMax uyumlu iletişim ekipmanında kullanılır.

### **Radar Uygulaması:**

Radar, hareketli hedefleri, örneğin insanları ve araçları tespit etmek için kullanılır. Düşük profilli, hafif bir anten alt sistemi gerektirir, mikroşerit antenler ideal seçimdir. Üretim teknolojisi, fotolitografiye dayanır ve geleneksel antenlere kıyasla daha düşük bir zamanda daha düşük bir maliyetle tekrarlanabilir performansla sahip mikroşerit antenin toplu üretimine olanak tanır.

### Rekten Uygulaması:

Rekten, mikrodalga enerjisini doğrudan DC güce dönüştürmek için kullanılan anteni yükselten özel bir anten türüdür. Rekten, dört alt sistemin bir birleşimidir, yani anten, son düzeltme filtresi, doğrultucu, cevher düzeltme filtresi. Rekten uygulamasında, uzun mesafeli bağlantıların taleplerini karşılamak için çok yüksek yönerge özelliklerine sahip antenler tasarlamak hayati önem taşır. Rekteni kullanmanın temel amacı, DC gücünü kablosuz bağlantılar aracılığıyla uzun bir mesafeye aktarmak olduğundan, bu yalnızca antenin elektriksel boyutunu artırarak gerçekleştirilebilir.

### Teletıp Uygulaması:

Anten, 2,45 GHz düşman teletıp uygulamasında çalışıyor. Giyilebilir mikroşerit anten, Kablosuz Vücut Alanı Ağı (WBAN) için kullanılır. Önerilen anten, kullanıcının vücuduna istenmeyen radyasyonu önlemek için çok yönlü modele göre tercih edilen yarı yönlü radyasyon modelinin yanı sıra, diğer antenlere kıyasla bir ön-arka oran ve kazanç elde eder ve vücut üstü ve vücut dışı uygulamalar. Teletıp uygulamaları için 6,7 dB kazanç ve 2,45 GHz'de yankılanan 11,7 dB F/B oranına sahip antenler tercih edilmektedir.

### Yama Tıbbi Uygulamaları:

Kötü huylu tümörlerin tedavisinde mikrodalga enerjisinin hastada hipertermi oluşturmanın en etkili yolu olduğu araştırılmıştır. Bu amaçla kullanılan radyatörün tasarımı, hafif ve kullanımı kolay ve aynı zamanda sağlam olmalıdır. Yalnızca yama radyatörü tüm bu gereksinimleri karşılar. Mikroşerit radyatörün hipertermiye neden olan ilk modelleri, S-bandına dayalı olarak tasarlanmış basılı çift kutuplara ve halka şeklindeki halkalara dayanıyordu. Daha sonra tasarım, L-bandındaki dairesel mikroşerit diskinde dayanıyordu. Enstrümanla birlikte verilen basit bir işlem vardır; iki bağlı mikroşerit hattı, insan vücudunun içindeki sıcaklığı ölçmek için kullanılan esnek bir ayırma ile ayrılmıştır. Buradaki amaç, kablosuz uygulamalar için 1,7GHz'de çalışan dikdörtgen ve üçgen mikroşerit yama dizisi anten tasarlamaktır, aynı frekansta çalışan geleneksel dikdörtgen ve üçgen tek yama mikroşerit antenlerde mevcuttur.

## MİKROŞERİT YAMA ANTENLER

Öncelikle kısaca mikroşerit yama anten özelliklerinden bahsedecek olursak:

- Mikroşerit antenlerin üretimi ve tasarımı basit 2 boyutlu fiziksel geometri nedeniyle nispeten ucuzdur.
- UHF'de ve daha yüksek frekanslarda kullanılır, çünkü antenin boyutu doğrudan bu frekansın dalga boyuna bağlıdır.
- Litografik teknikleri kullanarak tek (büyük) bir alt tabaka üzerine bir dizi yama basmak kolaydır.
- Yama dizileri, küçük bir ek maliyetle tek bir yamaya göre çok daha yüksek kazançlar sağlayabilir; eşleştirme ve faz ayarı, yine yayılan yamaları oluşturan aynı işlemlerde basılı mikroşerit besleme yapıları ile gerçekleştirilebilir.

- Düşük profilli bir antende yüksek kazançlı diziler oluşturma yeteneği, yama dizilerinin uçaklarda ve diğer askeri uygulamalarda yaygın olmasının bir nedenidir.
- Yama antenler, çoklu besleme noktaları kullanılarak dikey, yatay, sağ yönlü dairesel (RHCP) veya sol yönlü dairesel (LHCP) polarizasyonlara veya asimetrik yama yapılarına sahip tek bir besleme noktasına sahip olacak şekilde kolayca tasarlanabilir.

### **Mikroşerit Yama Antenlerinin Faydaları**

- Dar bant genişliği
- Düşük verimlilik
- Zayıf polarizasyon
- Düşük kazanç
- Ekstra radyasyon, beslemelerinden ve bağlantılarından oluşur
- Yüzey dalgalarının uyarılması
- Mikroşerit antenin boyutu hem avantaj hem de dezavantajlara sahiptir, ancak mikroşerit anten boyutunun kullanılamayacak kadar büyük olduğu bazı uygulamalar vardır.

### **Kullanım Alanları**

Kablosuz işlemler, uzun menzilli iletişim gibi pratik olmayan veya kablo kullanımıyla uygulanması imkânsız olan hizmetleri etkinleştirir. Terim, telekomünikasyon endüstrisinde, bilgileri kullanmadan iletmek için bir tür enerji (egradio dalgaları, akustik enerji, vb.) kullanan telekomünikasyon sistemlerine (örneğin radyo vericileri ve alıcıları, uzaktan kumandalar vb.) bilgi bu şekilde hem kısa hem de uzun mesafelere aktarılır.

Kablosuz ağ (ör. Çeşitli lisanssız 2,4 GHz WiFi aygıtları) birçok amaç için kullanılır. Belki de en yaygın kullanım, bir yerden bir yere gidip gelen dizüstü bilgisayar kullanıcılarını bağlamaktır. Diğer bir kullanım, uydu üzerinden bağlanan mobil ağlar içindir. Kablosuz iletim yöntemi, sık sık yerleri değiştirmesi gereken bir LAN segmentini ağa bağlamak için pratik bir seçimdir. Aşağıdaki durumlar kablosuz teknolojinin kullanımını haklı çıkarır:

- Tipik kablolu kapasitesinin ötesinde bir mesafeyi kapsamak için,
- Normal ağ arızası durumunda yedek iletişim bağlantısını etkinleştirmek için,
- Taşınabilir veya geçici iş istasyonlarını bağlamak için,
- Normal kablolanmanın sıkıcı veya mali açıdan pratik olmadığı durumların üstesinden gelmek için veya



- Mobil kullanıcıları ve ağları uzaktan bağlamak için. Kablosuz iletişim şu şekilde olabilir:
- Yüksek yönlü antenler aracılığıyla uzun menzilli görüş hattı veya kısa menzilli iletişim, ışık, görünür ve Kızılötesi (IR) gibi mikrodalga iletişimi, örneğin uzaktan kumandalar veya Kızılötesi Veri Birliği (IrDA) aracılığıyla tüketici IR cihazları gibi.
- Sonic, özellikle ultrasonik kısa menzilli iletişim
- Elektromanyetik indüksiyon ve kısa menzilli iletişim ve güç Wi-Fi teknolojisi
- Radyo iletişimi

Kablosuz iletişim, iki yönlü telsizler, cep telefonları, kişisel dijital asistanlar (PDA'lar) ve kablosuz ağ gibi çeşitli sabit, mobil ve taşınabilir uygulama biçimlerini içerir. Radyo kablosuz teknolojinin diğer uygulamaları arasında GPS üniteleri, kablosuz bilgisayar fareleri, garaj kapısı açıcılar, uydu televizyonu, televizyon yayını, klavyeler ve kulaklıklar, kulaklıklar, radyo alıcıları ve kordonsuz telefonlar bulunur.

### Mikroşerit Yama Şekilleri

Çok sayıda yama şekline sahip mikroşerit anten mevcuttur. Belli başlı altı tanesini inceleyecek olursak:

#### Standart mikroşerit yama anten

##### ❖ Tanım:

Yama mikroşerit nesnesi bir mikroşerit yama antenidir. Varsayılan yama, orijinde ortalanır. Besleme noktası antenin uzunluğu boyunca. Yama anten parametreleri şekil üzerinde Şekil 1'de gösterilmiştir.

##### ❖ Parametreler:

###### ❖ Uzunluk- x ekseni boyunca yama uzunluğu

Metre cinsinden skaler olarak belirtilen yama uzunluğu. Varsayılan olarak uzunluk, x ekseni boyunca ölçülür.

###### ❖ Genişlik — y ekseni boyunca yama genişliği

Metre cinsinden skaler olarak belirtilen yama genişliği. Varsayılan olarak genişlik, y ekseni boyunca ölçülür.

###### ❖ Yükseklik — alt tabakanın yüksekliği

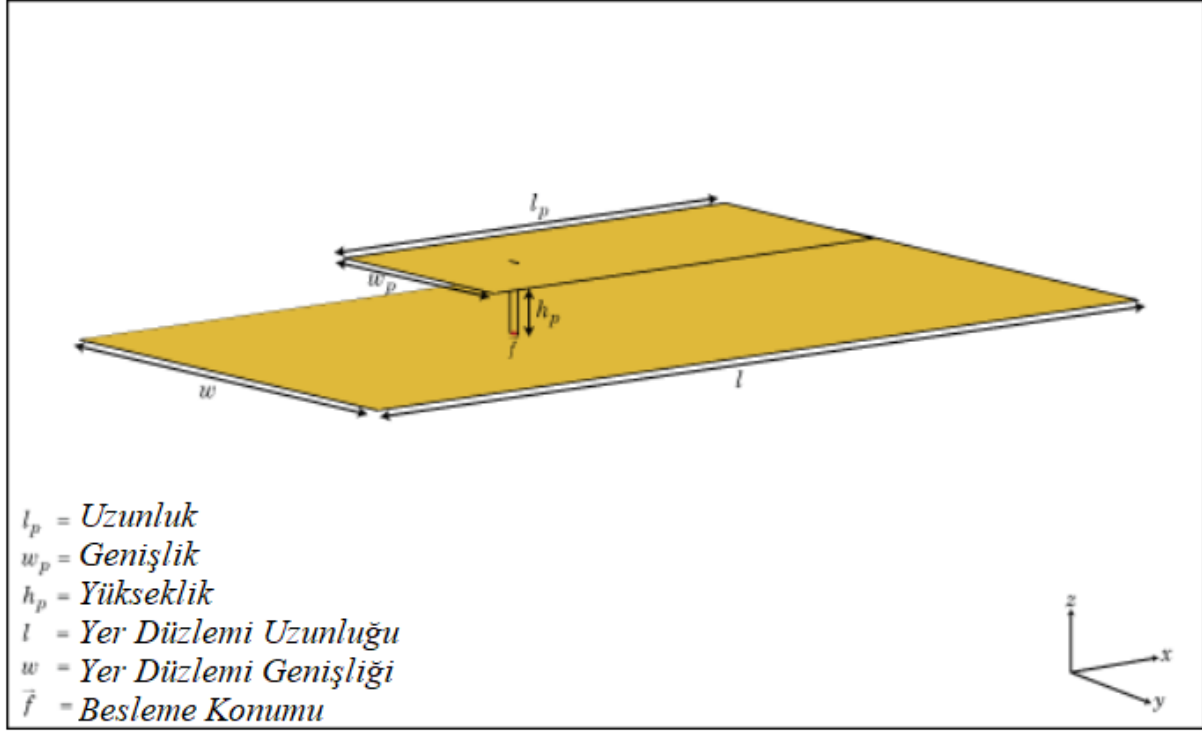
Metre cinsinden skaler olarak belirtilen alt tabaka yüksekliği.

###### ❖ Yer Düzlemi Uzunluğu — x ekseni boyunca yer düzlemi uzunluğu

Metre cinsinden skaler olarak belirtilen yer düzlemi uzunluğu. Varsayılan olarak, yer düzlemi uzunluğu x eksenini boyunca ölçülür.

❖ Yer Düzlemi Genişliği — y eksenini boyunca yer düzlemi genişliği

Metre cinsinden skaler olarak belirtilen zemin düzlemi genişliği. Varsayılan olarak, zemin düzlemi genişliği y eksenini boyunca ölçülür.



Şekil 1. Standart mikroşerit yama anten

### Üçgen mikroşerit yama anten

❖ Tanım:

Varsayılan yama, orijinde ortalanır. Varsayılan olarak, boyutlar 15 GHz çalışma frekansı için seçilir. Teflon alt tabaka kullanıyorsanız varsayılan çalışma frekansı 12,5 GHz'dir. Yama anten parametreleri şekil üzerinde Şekil 2'de gösterilmiştir. Frekans bandı çalışmamızı kapsamadığından bu tür çalışma kısmında kullanılmamıştır.

❖ Parametreler:

- Yan — Üçgen yamanın yan uzunlukları

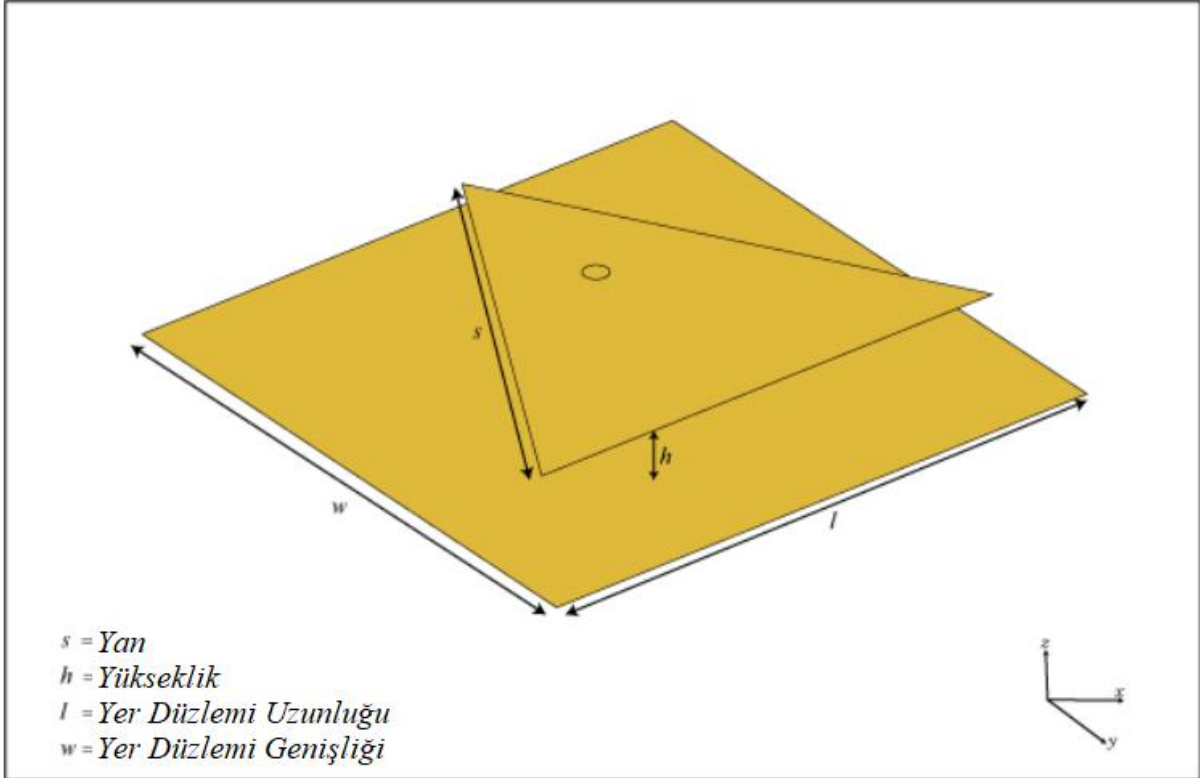
Üçgen yamanın kenar uzunlukları, metre cinsinden bir skaler olarak veya her bir eleman birimi metre cinsinden iki veya üç elemanlı bir vektör olarak belirtilir.

- Eşkenar üçgen — Kenar özelliği değeri bir skalerdir.

Üçgenin üç kenarı da eşittir.

- İkizkenar üçgen — Yan özellik değeri iki elemanlı bir vektördür.
- İlk değer, x eksenini boyunca üçgenin tabanını belirtir. İkinci değer üçgenin diğer iki tarafını belirtir.
- Scalene üçgeni — Yan özellik değeri, üç elemanlı bir vektördür.
- İlk değer, x eksenini boyunca üçgenin tabanını belirtir. Kalan iki değer üçgenin diğer iki tarafını belirtir.
- Yükseklik — Z eksenini boyunca yerden yama yüksekliği
- Metre cinsinden skaler olarak belirtilen, z eksenini boyunca yerden yüksekliği yama yüksekliği.
- Yer Düzlemi Uzunluğu — x eksenini boyunca yer düzlemi uzunluğu
- Metre cinsinden skaler olarak belirtilen, x eksenini boyunca yer düzlemi uzunluğu.
- Yer Düzlemi Genişliği — y eksenini boyunca yer düzlemi genişliği

Metre cinsinden skaler olarak belirtilen, y eksenini boyunca yer düzlemi genişliği.



Şekil 2. Üçgen mikroşerit yama anten

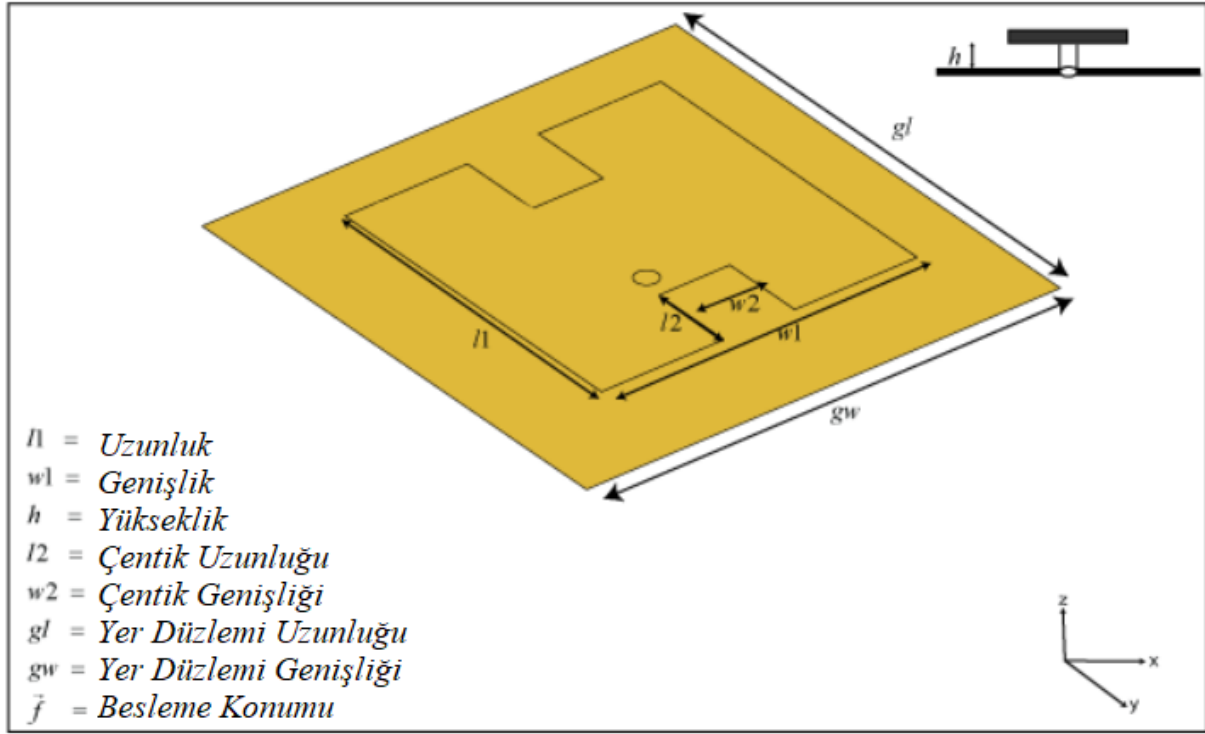
## H-şekilli mikroşerit yama anten

### ❖ Tanım:

Varsayılan yama, uzunluk boyunca besleme noktası ile orijinde ortalanır. Varsayılan olarak boyutlar, hava için 3,49 GHz veya Teflon için 2,61 GHz çalışma frekansı için seçilir. Yama anten parametreleri şekil üzerinde Şekil 3'de gösterilmiştir. Çok sayıda değişken içerdiğinden çalışma kısmına dahil edilmemiştir.

### ❖ Parametreler:

- Uzunluk — x eksenini boyunca yama uzunluğu
- Metre cinsinden skaler olarak belirtilen x eksenini boyunca yama uzunluğu.
- Genişlik — y eksenini boyunca yama genişliği
- Metre cinsinden skaler olarak belirtilen y eksenini boyunca yama genişliği.
- Çentik Uzunluğu — x eksenini boyunca çentik uzunluğu
- Metre cinsinden skaler olarak belirtilen x eksenini boyunca çentik uzunluğu.
- Çentik Genişliği — y eksenini boyunca çentik genişliği
- Metre cinsinden skaler olarak belirtilen y eksenini boyunca çentik genişliği.
- Yükseklik — Z eksenini boyunca yer düzleminin üzerindeki yama yüksekliği
- Metre cinsinden skaler olarak belirtilen, z eksenini boyunca yer düzleminin üzerindeki yama yüksekliği.
- Yer Düzlem Uzunluğu — x eksenini boyunca yer düzlemi uzunluğu
- Metre cinsinden skaler olarak belirtilen, x eksenini boyunca yer düzlemi uzunluğu. Yer düzlemi uzunluğunun Inf olarak ayarlanması, anten analizi için sonsuz zemin düzlemi tekniğini kullanır.
- Yer Düzlemi Genişliği — y eksenini boyunca yer düzlemi genişliği
- Metre cinsinden skaler olarak belirtilen, y eksenini boyunca yer düzlemi genişliği. Zemin düzlemi genişliğini Inf olarak ayarlamak, anten analizi için sonsuz zemin düzlemi tekniğini kullanır.



Şekil 3. H-şekilli mikroşerit yama anten

### E-şekilli mikroşerit yama anten

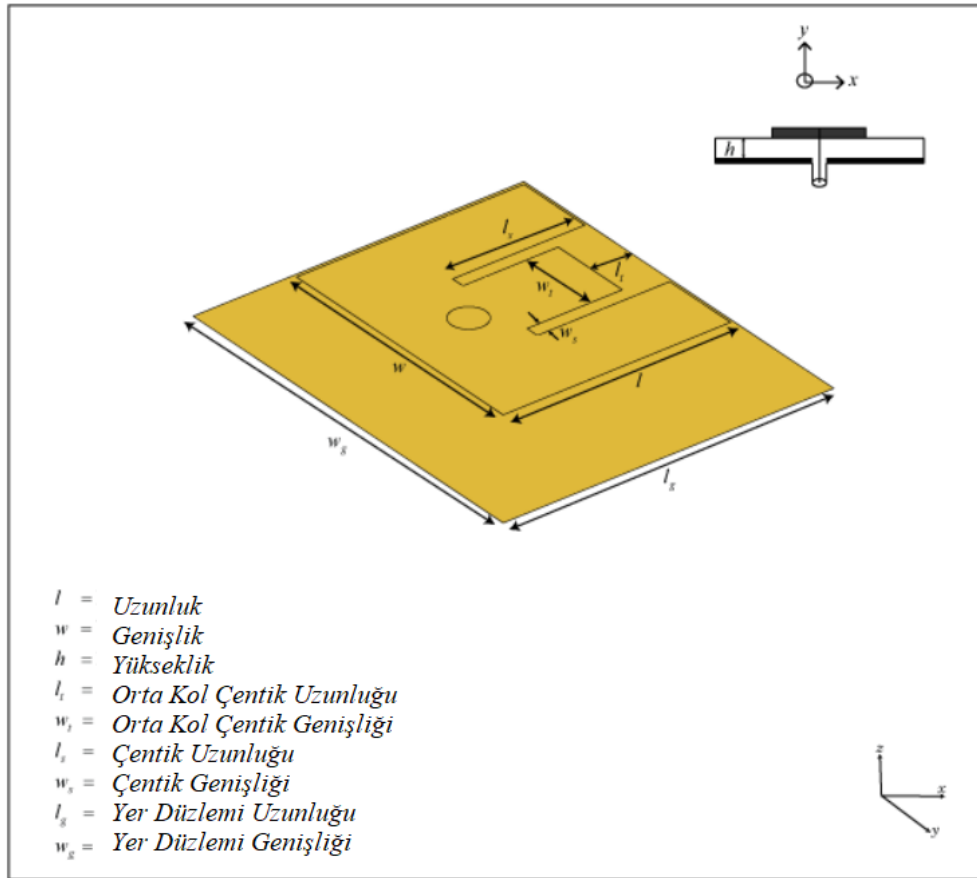
#### ❖ Tanım:

Varsayılan yama, uzunluk boyunca besleme noktası ile orijinde ortalanır. Varsayılan olarak boyutlar, hava için 6,6 GHz veya Teflon için 5,5 GHz çalışma frekansı için seçilir. Yama anten parametreleri şekil üzerinde Şekil 4'de gösterilmiştir. Frekans bandı çalışmamızı kapsamadığından bu tür çalışma kısmında kullanılmamıştır.

#### ❖ Parametreler:

- Uzunluk — x eksenini boyunca yama uzunluğu
- Metre cinsinden skaler olarak belirtilen, x eksenini boyunca yama uzunluğu.
- Genişlik — y eksenini boyunca yama genişliği
- Metre cinsinden skaler olarak belirtilen y eksenini boyunca yama genişliği.
- Yükseklik — Z eksenini boyunca yer düzleminin üzerindeki yama yüksekliği
- Metre cinsinden skaler olarak belirtilen, z eksenini boyunca yer düzleminin üzerindeki yama yüksekliği.
- Merkez Kol Çentik Uzunluğu — X eksenini boyunca merkez E-kolda çentik uzunluğu

- Metre cinsinden skaler olarak belirtilen, x eksenini boyunca merkez E-kol üzerindeki çentik uzunluğu.
  - Orta Kol Çentik Genişliği — y eksenini boyunca merkez E-kolda çentik genişliği
  - Metre cinsinden skaler olarak belirtilen, y eksenini boyunca merkez E-koldaki çentik genişliği.
  - Çentik Uzunluğu — x eksenini boyunca çentik uzunluğu
  - Metre cinsinden skaler olarak belirtilen x eksenini boyunca çentik uzunluğu.
  - Çentik Genişliği — y eksenini boyunca çentik genişliği
  - Metre cinsinden skaler olarak belirtilen y eksenini boyunca çentik genişliği.
  - Yer Düzlem Uzunluğu — x eksenini boyunca yer düzlemi uzunluğu
  - Metre cinsinden skaler olarak belirtilen, x eksenini boyunca yer düzlemi uzunluğu.
  - Yer Düzlemi Genişliği — y eksenini boyunca yer düzlemi genişliği
- Metre cinsinden skaler olarak belirtilen, y eksenini boyunca yer düzlemi genişliği.



Şekil 4. E-şekilli mikroşerit yama anten

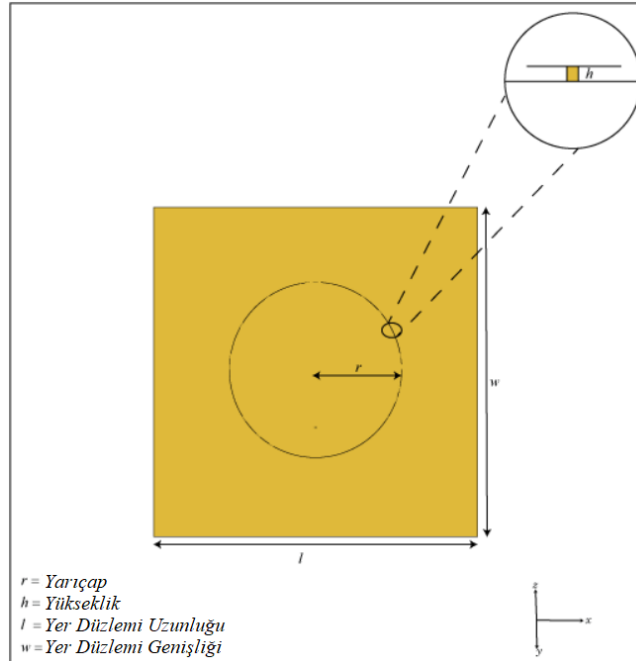
## Dairesel mikroşerit yama anten

### ❖ Tanım:

Varsayılan olarak yama, yarıçap boyunca besleme noktası ve  $z = 0$ 'da x/y-düzleminde yer düzlemi ile orijinde ortalanır. Dairesel mikroşerit antenler, hava ve uzay aracı uygulamalarında düşük profilli antenler olarak kullanılır. Bu antenler, hafif, düşük maliyetli ve kolayca üretilebilir oldukları için taşınabilir kablosuz uygulamalarda da kullanılır. Yama anten parametreleri şekil üzerinde Şekil 5'de gösterilmiştir.

### ❖ Parametreler:

- Yarıçap — Yama yarıçapı
- Metre cinsinden skaler olarak belirtilen yama yarıçapı. Standart yarıçap, 1 GHz çalışma frekansı içindir.
- Yükseklik — Yamanın yüksekliği
- Metre cinsinden skaler olarak belirtilen, z eksenini boyunca yer düzleminin üzerindeki yamanın yüksekliği.
- Yer Düzlem Uzunluğu — x eksenini boyunca yer düzlemi uzunluğu
- Metre cinsinden skaler olarak belirtilen, x eksenini boyunca yer düzlemi uzunluğu.
- Yer Düzlemi Genişliği — y eksenini boyunca yer düzlemi genişliği
- Metre cinsinden skaler olarak belirtilen, y eksenini boyunca yer düzlemi genişliği.



Şekil 5. Dairesel mikroşerit yama anten

## Eliptik mikroşerit yama anten

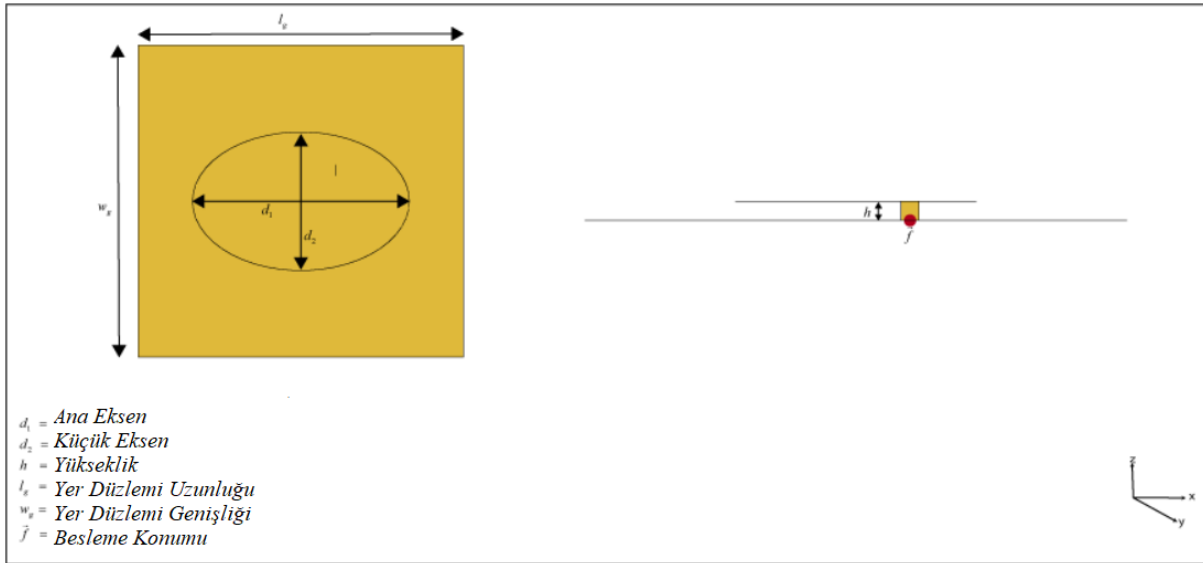
### ❖ Tanım:

Elips, yaklaşık 5,45 GHz'lik bir çalışma frekansı için seçilmiştir. Eliptik mikroşerit yama antenler, uzay aracı, uçak, füze ve uydu gibi yüksek performanslı uygulamalarda kullanılmaktadır. Optimum boyutlara sahip eliptik mikroşerit yama antenler dairesel polarize dalga yayıcıları olarak işlev görür. Yama anten parametreleri şekil üzerinde Şekil 6'da gösterilmiştir.

### ❖ Parametreler:

- Ana eksen — En uzun elips çapı
- Metre cinsinden skaler olarak belirtilen, x eksenini boyunca elipsin en uzun çapı.
- Küçük Eksen — En kısa elips çapı
- Elipsin y eksenini boyunca metre cinsinden skaler olarak belirtilen en kısa çapı.
- Yükseklik — Yamanın yüksekliği
- Metre cinsinden skaler olarak belirtilen, z eksenini boyunca yer düzleminin üzerindeki yamanın yüksekliği.
- Yer Düzlem Uzunluğu — x eksenini boyunca yer düzlemi uzunluğu
- Metre cinsinden skaler olarak belirtilen, x eksenini boyunca yer düzlemi uzunluğu.
- Yer Düzlemi Genişliği — y eksenini boyunca yer düzlemi genişliği

Metre cinsinden skaler olarak belirtilen, y eksenini boyunca yer düzlemi genişliği.



Şekil 6. Eliptik mikroşerit yama anten



Yüksek frekanslı bileşenlerin simülasyonu için özel bir araçtır. Filtre, antenler, düzlemsel ve çok katmanlı yapılar ve sinyal bütünlüğü (SI) ve elektromanyetik uyumluluk (EMC) etkileri gibi yüksek frekansların hızlı ve doğru analizine yardımcı olur.

Burada, kablosuz iletişim için anten tasarlamak için MATLAB anten araç kutusunu kullandık. Modern teknolojiyle uyumlu kompakt ve hatta elektriksel olarak küçük antenler oluşturmamız. Bir yama anteni tasarlamak için şunlara ihtiyacımız var:

- Anten ayarı
- Radyasyon modeli
- Bant genişliği
- Kazanç ve yönlülük
- Çeşitlilik
- Gerilim sabit dalgalı radyo (VSWR) ve dönüş kaybı

### **Anten Modeli:**

Bir dielektrik substratın bir tarafında yayılan bir parçadan oluşur ve diğer tarafında bir zemin düzlemine sahiptir. Yama, bakır veya altın gibi iletken bir malzemeden oluşur. Mikroşerit yama anteni, yama kenarı ile zemin düzlemi arasındaki bordür alanları nedeniyle yayılır. İyi bir anten için kalın bir dielektrik sabiti istenir çünkü daha iyi verimlilik, daha iyi radyasyon ve daha büyük bant genişliği sağlar.

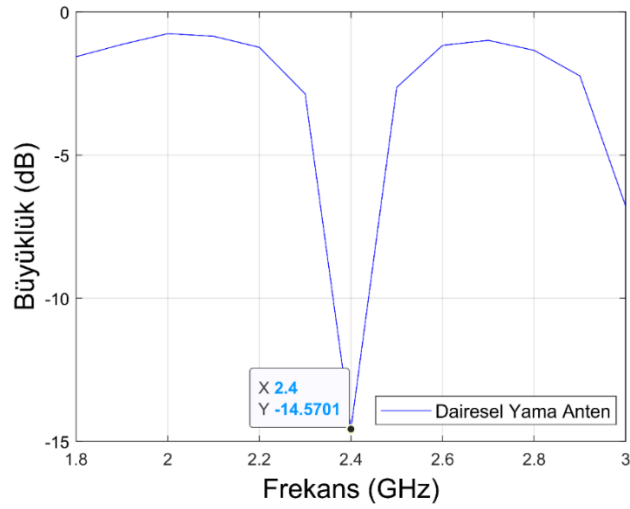
MATLAB anten araç kutusunun kullanımı:

- MATLAB anten araç kutusunu seçin.
- Boyutu içeren birimi tanımlayın. Frekans ve diğer parametreler.
- Arka plan malzemesini tanımlayın.
- Boole operatörlerini kullanarak plakalar, silindirler, tuğlalar, küreler vb. Gibi yapıyı modelleyin.
- GHz cinsinden frekans aralığını tanımlayın.
- Bağlantı noktalarını tanımlayın.
- Sınır ve simetrik koşulları tanımlayın.
- Saha monitörlerini ayarlayın.
- Son olarak simülasyon yapılı.

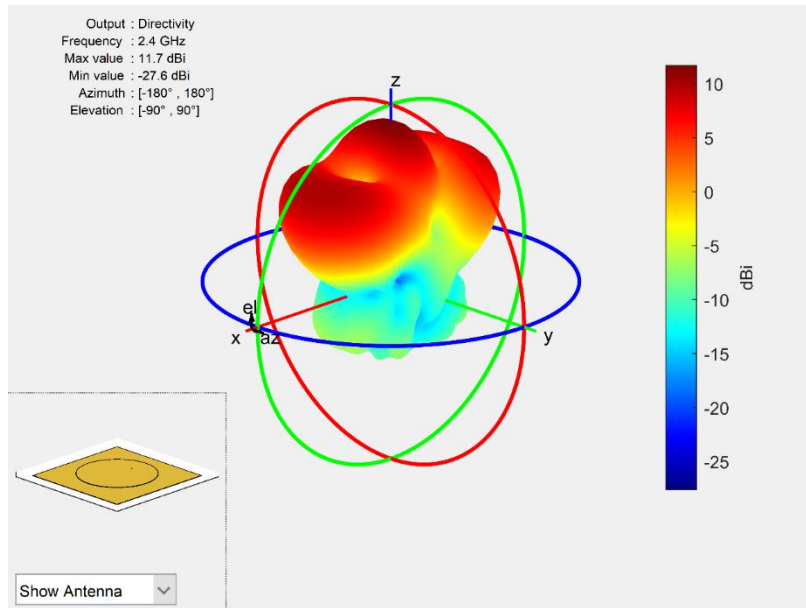
- Simülasyon sırasında port modlarını ve s-parametresini ve alan miktarlarını analiz ederiz.

## UYGULAMA ÖRNEĞİ

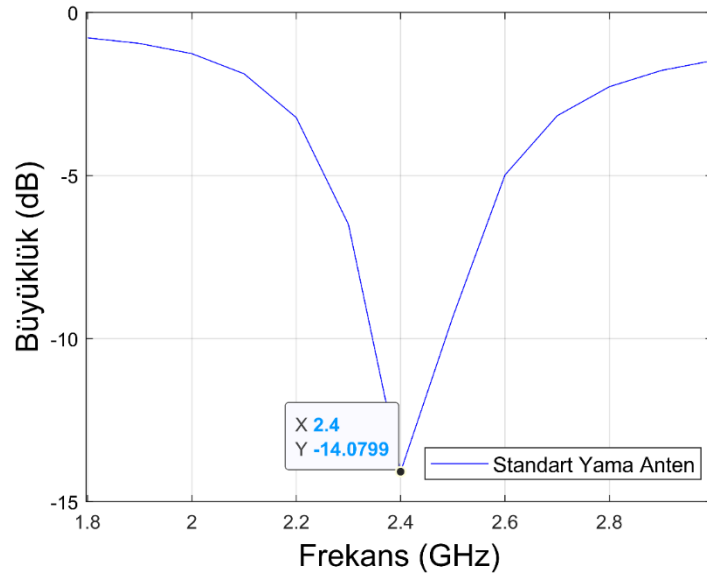
Çalışmada 3 farklı yamaya sahip anten için geri dönüş kaybı ( $S_{11}$ ) ve kazanç parametrelerinin grafikleri MATLAB'de simüle edilerek elde edildi. Şekil 7 ve Şekil 8'de dairesel bir yamaya sahip mikroşerit anten için sırası ile  $S_{11}$  ve kazanç sonuçlarının simülasyonları gösterilmiştir. Şekil 9 ve Şekil 10'da standart bir yamaya sahip mikroşerit anten için sırası ile  $S_{11}$  ve kazanç sonuçlarının simülasyonları gösterilmiştir. Şekil 11 ve Şekil 12'de eliptik bir yamaya sahip mikroşerit anten için sırası ile  $S_{11}$  ve kazanç sonuçlarının simülasyonları gösterilmiştir.



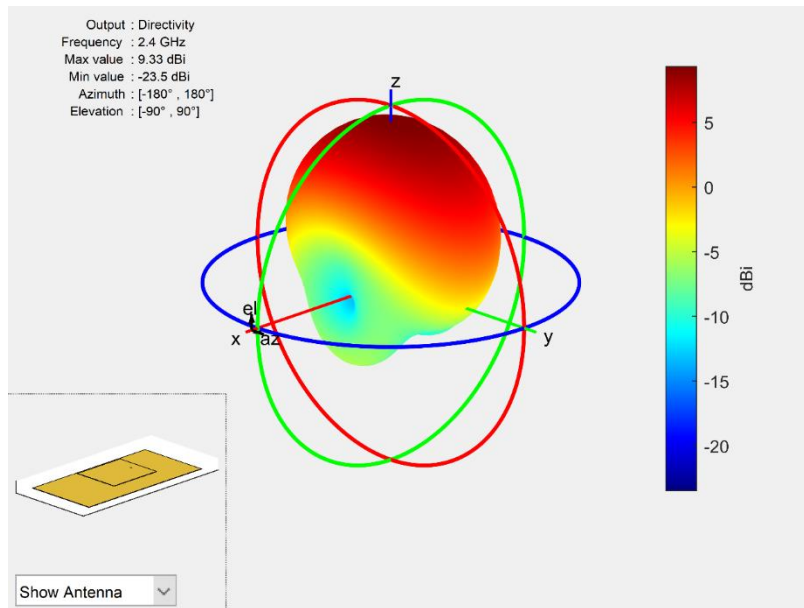
Şekil 7. Dairesel mikroşerit yama anteni  $S_{11}$  parametresi



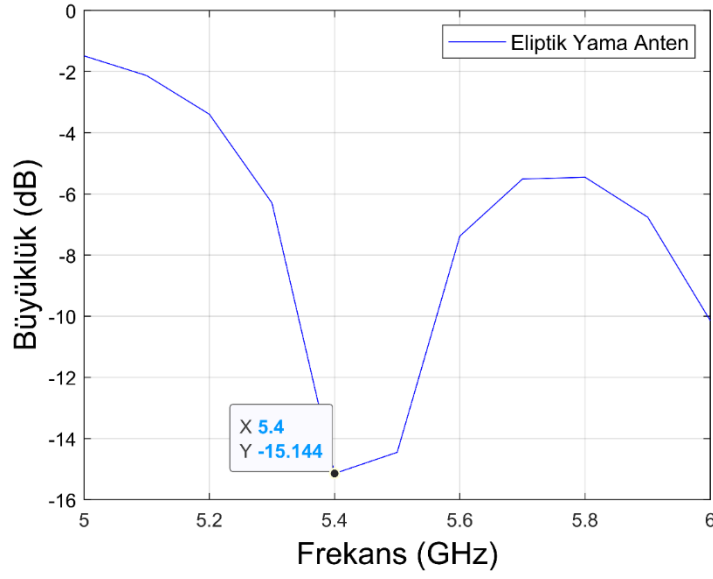
Şekil 8. Dairesel mikroşerit yama anteni kazanç parametresi



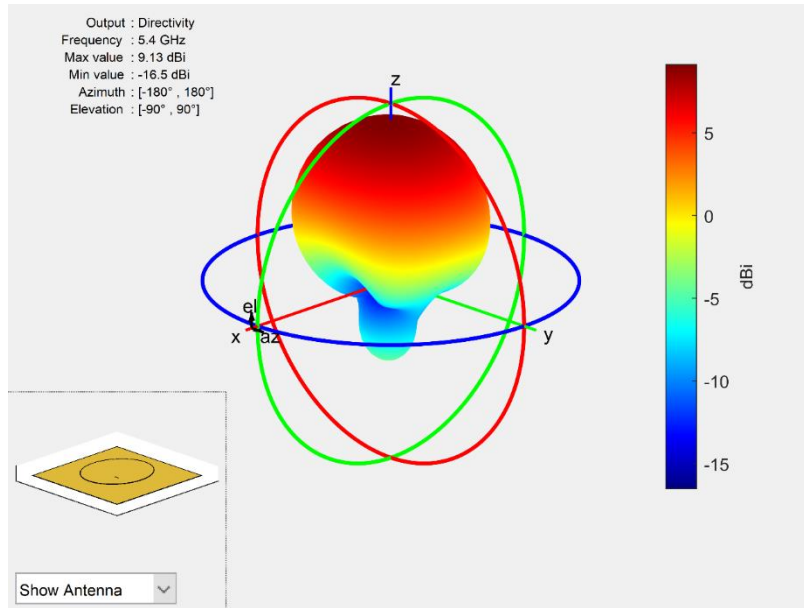
Şekil 9. Standart mikroşerit yama anteni S<sub>11</sub> parametresi



Şekil 10. Standart mikroşerit yama anteni kazanç parametresi



Şekil 11. Eliptik mikroşerit yama anteni  $S_{11}$  parametresi



Şekil 12. Eliptik mikroşerit yama anteni kazanç parametresi

## SONUÇ

Yapılan çalışmadan ortaya çıkan verilere bakarak mikroşerit yama antenler için yama şeklinin değiştirilmesi başta çalışma bandı olmak üzere bant genişliği, kazancını etkilemektedir. Yapılan çalışmadaki sonuçları mukayese edecek olursak standart ve dairesel yamaya sahip anten için  $S_{11}$  benzer olmasına karşın yönlendiricilik grafiğinde dairesel yamalı anten 3 farklı yönde ışımaya yaptığı görülmüştür. Standart yamalı antende ise bu tek yönlü olmuştur. Ayrıca standart yamaya sahip antende yönlendiricilik kazancı 9,33 dB iken bu değer dairesel yamalı antende 11,7 dB ye kadar yükselmiştir. Eliptik yamaya sahip mikroşerit anten ise 2,4 GHz bandına uygun olmadığından dolayı 5,4 GHz için çalıştırılıp sonuçlar sergilenmiştir. Elde edilen sonuçlardan bant genişliğinin yaklaşık olarak 0,25 GHz olduğu görülmektedir. Bilindiği üzere geri dönüş kaybı -10 dB ve aşağısı geçerli

sayılan bir değerdir. Yine sonuçlardan eliptik yamalı mikroşerit yama anten için maksimum 9,13 yönlendiricilik kazancına eriştiğini görüyoruz. Bu eserden hangi yamanın hangi bant için uygun olabileceği ve nasıl bir sonuç verebileceği kanısına varabiliriz.

## KAYNAKÇA

Chaudhuri, S.; Mishra, M.; Kshetrimayum, R.S.; Sonkar, R.K.; Bhattacharjee, S.; Saha, B. (2020). "High port-to-port isolation dual circularly polarised microstrip patch antenna with multifunction DGS". IET Microwaves, Antennas and Propagation. 14 (15): 2035–2044. doi:10.1049/iet-map.2020.0094.

Tatsuo Itoh, and Raj Mitra "Analysis of microstrip disk resonator," Arch Elek Ubertagung, vol. 21, Nov. 1973 pp. 456-458.

Lee, Kai Fong; Luk, Kwai Man (2017). Microstrip Patch Antennas. World Scientific. pp. 8–12. ISBN 978-981-3208-61-2.

Pandey, Anil (2019). Practical Microstrip and Printed Antenna Design. Bostan: Artech House. p. 443. ISBN 978-1-63081-668-1.

"Welcome to antennas 101" by Louis E. Frenzel, "Electronic Design" 2008

Hou, D.-B.; et, al. (2009), "Elimination of scan blindness with compact defected ground structures in microstrip phased array", IET Microwaves, Antennas and Propagation, 3: 269–275, doi:10.1049/iet-map:20080037

Guha, D.; Biswas, S.; Antar, Y. (2011), "Defected Ground Structure for Microstrip Antennas", in Microstrip and Printed Antennas: New Trends, Techniques, and Applications, John Wiley & Sons: UK, doi:10.1002/9780470973370

Uluslu A. A. (2021) "Kültürel Algoritma Tabanlı 24 GHz ISM Bant Uygulamaları için H Şeklinde Yama Anten Tasarımı", 10th Union Radio-Scientifique Internationale/International Union of Radio Science (URSI'2021), Kocaeli, Türkiye, 7 - 09 Eylül 2021, ss.55-60.

Uluslu A. A. (2021) "Triangular Patch Antenna Optimization for 77 GHz Automotive Radar Based on Genetic Algorithm" II. International Conference on Innovative Engineering Applications (CIEA'2021), Muş, Türkiye, 20 - 22 Mayıs 2021, cilt.1, sa.121, ss.619-622.

## Iatf 16949:2016 Otomotiv Kalite Yönetim Sistemi ve Yalın Yönetim Üzerine Bir Kıyaslama Çalışması

Atakan GERGER<sup>1</sup>

### Giriş

Sürekli olarak gelişip değişmekte olan otomotiv endüstrisi dünyanın en büyük endüstrilerinden biri olup, birçok endüstrinin lokomotifi konumundadır. Sahip olduğu muazzam tedarik zinciri ağı dolayısıyla birçok sektörü canlı tutmakta, yer aldığı bölge ve ülke ekonomilerine önemli katkılar sağlamaktadır. Bu özelliğiyle; birçok sanayileşmiş ülke için en önemli endüstrilerden biri konumundadır. Çünkü; bir otomobil, dünya çapında binlerce tedarikçiden gelen 20.000'den fazla parçanın birleşiminden oluşmaktadır. Bu yönüyle; dünyanın en karmaşık ve büyük tedarik zincirlerinden birine sahip olup, çok yoğun bir rekabet ortamında faaliyet göstermektedir. Otomotiv sektöründe faaliyet gösteren kuruluşlar sürekli olarak ürün kalitesini ve teslimatını iyileştirmek, tedarik zincirindeki malzeme ve işçilik maliyetlerini, israfı, fireyi, değişkenliği azaltmak ve mühendislik yeteneklerini en iyi şekilde geliştirmek istemektedir. Çünkü; tedarik zincirine giren düşük kaliteli bileşenler, araç üreticisinin büyük problemler yaşamasına neden olabilmektedir (Kern & Wolff, 2019; Hoyle, 2005).

Bir ürünün/hizmetin, müşteri ihtiyaçlarını karşılama veya kullanıma uygunluk sağlama için ihtiyaç duyduğu özellik kalitedir (Hoyle, 2000). Dolayısıyla; herhangi bir ürünün tüm parçalarından sadece bir üretici sorumlu değil (Clarke, 2005), tedarik zincirinde yer alan tüm paydaşlar ortak sorumluluğa sahiptir. Özellikle de günümüz dünyasında her şeyin birbirine dijital olarak bu denli bağlı (connected) olduğu Endüstri 4.0 çağında tüm paydaşların ortak sorumluluğu bulunmaktadır (Gerger, 2021a). Bu nedenle; maksimum müşteri memnuniyeti sağlamak ve rekabette var olabilmek amacıyla sektörde yer alan firmalar çeşitli metodolojiler ve kalite yönetim sistemleri kullanmaktadır. Kullanılan bu metodolojilerinden biri Yalın Yönetim ve kalite yönetim sistemi (KYS) ise IATF 16949 Otomotiv KYS'dir. Bu makale çalışması ile Yalın Yönetim ve IATF 16949:2016 Otomotiv KYS ele alınarak birbirleriyle olan benzerlikleri ve sinerji değerlendirilmesi yapılarak, bu alanda literatürdeki boşluğu dolduracak bir kaynak sağlanması amaçlanmıştır.

### Literatür Taraması

Çalışmanın bu bölümünde Yalın Yönetim ve araçları ile IATF 16949 Otomotiv KYS konuları ayrı başlıklar altında ele alınarak, literatüre göre hakkında bilgi verilmiştir.

### IATF 16949 Otomotiv Kalite Yönetim Sistemi

IATF 16949, Otomotiv Endüstrisi için uluslararası bir KYS standardıdır. Bu standart, endüstrinin ölçeğinden bağımsız olarak tüm otomotiv endüstrisi için geçerlidir. IATF 16949, ISO 9001 KYS ve otomotiv endüstrisine özel ek gereksinimleri içermektedir. IATF 16949, Uluslararası

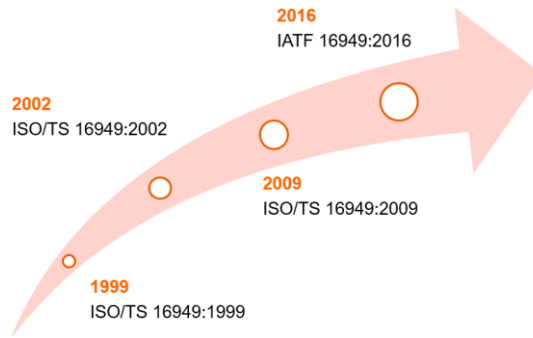
---

<sup>1</sup> Öğr. Gör. Dr., Ege Üniversitesi, atakangergger@gmail.com

Otomotiv Görev Gücü (IATF<sup>2</sup>) tarafından geliştirilmiş ve işletilmiştir. Dünyadaki otomotiv endüstrisinde tedarik zinciri için değerlendirme ve belgelendirme için ortak bir platform sağlamıştır. IATF 16949:2016<sup>3</sup> revizyonu belgelendirme kuruluşlarının, denetçilerin, tedarikçilerin ve OEM'lerin<sup>4</sup> geri bildirimlerine dayalı olarak güncellenmiştir.

IATF 16949; ISO 14001, OHSAS 45001, vb. diğer ISO standartlarıyla kolayca entegre edilebilmektedir. Bu standardın ana odak noktası tedarik zincirindeki sürekli iyileştirmeyi sağlamayı, risk analizleri gerçekleştirmeyi, kusurları önlemeyi, varyasyonu ve israfı azaltmayı vurgulayan bir sistem geliştirmektir.

Dünya genelinde kalite bilincinin artması ve standardizasyona olan gereksinimler sektöre özgü standartlarının da ortaya çıkmasına neden olmuştur. Otomotiv kalite yönetim sistemi standartı ilk olarak 1999 yılında yayınlanmış; daha sonra 2002, 2009 ve 2016 yıllarında güncellenmiştir. Bu revizyonlar Şekil 1' gösterilmiştir.



Şekil 15. IATF tarihçesi

ISO 9001 KYS'de olduğu gibi IATF 16949'da yüksek seviye yapı anlayışı benimsenmiştir. Yani; standart 10 madde altında toplanış ve PUKÖ (Planla, uygula, kontrol et ve önlem al) döngüsü kapsamında yazılmıştır. Bu yüksek seviye yapı Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 15. IATF 16949 Yüksek Seviye Yapısı

Madde	PUKÖ Seviyesi
1. Kapsam	Planla
2. Normatif referanslar	
3. Terimler ve tanımlar	
4. Kuruluşun bağlamı	
5. Liderlik	
6. Planlama	
7. Destek	
8. Operasyon	Uygula
9. Performans değerlendirme	Kontrol et
10. İyileştirme	Önlem al

<sup>2</sup> IATF, İngilizce 'International Automotive Task Force' kelimelerinin baş harflerinin kısaltmasıdır.

<sup>3</sup> IATF 16949 Otomotiv kalite yönetim sisteminin 2016 yılında revize edilmiş versiyonu olup halen yürürlükte.

<sup>4</sup> Orijinal ekipman üreticileri (Original Equipment Manufacturing)



IATF 16949 yüksek seviye yapıda yer alan 10 maddenin kısaca içerikleri aşağıda belirtilmiş olduğu gibidir (IATF, 2016).

- **Kapsam:** ISO 9001:2015' ek olarak otomotiv endüstrisi gereksinimleri eklenmiştir. Bu Otomotiv KYS Standardı, gömülü yazılım içeren ürünler de dahil olmak üzere otomotivle ilgili ürünlerin tasarımı, geliştirilmesi, üretimi, ilgili olduğunda montajı, kurulumu ve hizmetleri için KYS gereksinimlerini tanımlar. Müşteri tarafından belirlenen üretim parçalarının ve/veya aksesuar parçalarının imalatının gerçekleştiği organizasyonun sahaları için geçerlidir. Otomotiv tedarik zinciri boyunca uygulanmaktadır.
- **Normatif Referanslar:** Ek A (Kontrol Planı), bu Otomotiv KYS standardının normatif bir parçasıdır. Ek B (Kaynakça – otomotiv tamamlayıcısı), bu Otomotiv KYS standardının anlaşılmasına veya kullanılmasına yardımcı olmayı amaçlayan ek bilgiler sağlayan bilgilendiricidir.
- **Terimler ve Tanımlar:** Bu belgenin amaçları doğrultusunda, ISO 9000:2015'te verilen terimler ve tanımlar geçerlidir. IATF 16949 madde 3.1'de otomotiv endüstrisi için terimler ve tanımlar yer almaktadır.
- **Kuruluşun Bağlamı:** Standardın bu maddesinde; kuruluş ve bağlamının anlaşılması, ilgili tarafların ihtiyaç ve beklentilerinin anlaşılması, KYS kapsamının belirlenmesi, KYS ve süreçlerinin oluşturulması amaçlanmaktadır.
- **Liderlik:** Bu maddede; liderlik ve taahhüt, şirketin politikası, kurumsal görev, yetki ve sorumluluklar ele alınmaktadır.
- **Planlama:** Standardın bu maddesinde; risk ve fırsatları belirleme faaliyetleri ile kalite amaçlı ve bunlara erişmek için planlama aktiviteleri incelenmektedir.
- **Destek:** Kaynaklar, yeterlilik, farkındalık, iletişim, dokümanite edilmiş bilgi bu madde altında ele alınmaktadır.
- **Operasyon:** Operasyonel adımların ele alındığı bu madde kapsamında; operasyonel planlama ve kontrol, ürün ve hizmetler için şartlar, ürün ve hizmetlerin tasarımı ve geliştirilmesi, dışarıdan tedarik edilen proses, ürün ve hizmetlerin kontrolü, üretim ve hizmetin sunumu, ürün ve hizmetin sunumu, uygun olmayan çıktının kontrolü ele alınmaktadır.
- **Performans Değerlendirme:** İzleme, ölçme, analiz ve değerlendirme, iç tetkik, yönetim gözden geçirmesi bu adımda gerçekleştirilen önemli faaliyetlerdir.
- **İyileştirme:** Uygunsuzluk ve düzeltici faaliyet, sürekli iyileştirme konuları standartın bu maddesinde ele alınmaktadır.

### IATF 16949:2016 Odak Noktaları

IATF 16949 temel itibariyle müşterinin istemiş olduğu ürünü; istemiş olduğu zamanda, istemiş olduğu kalitede, istemiş olduğu yere ulaştırılmasını ve bunu en uygun maliyetle gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. Bunun için; tüm tedarik zincirinde süreç yönetimli bazlı bir KYS benimsemiştir. Tedarik zincirinin tüm evrelerinde en küçük bir hammadeden bitmiş ürüne kadar

süreç akışında riskleri daha oluşmadan öngörülmesini amaçlayan risk analizi temelli bir yaklaşım sergiler. Bunun içinde çeşitli konulara odaklanır. Bu konulardan bazıları aşağıda gösterilmiş olduğu gibidir:

- Müşterinin ve diğer paydaşların gereksinimlerinin karşılanması.
- Sürekli iyileştirmenin teşvik edilmesi.
- Kusurların önlenmesi.
- Risk temelli düşünmenin elde edilmesi.
- Müşteriye özel gereksinimlerin entegrasyonunun sağlanması.
- Birinci ve ikinci taraf denetçi yetkinliğinin sağlanması.
- Gömülü yazılımlı ürünlerin geliştirilmesi.
- Tüm tedarik zincirinde kayıpların (israf, fire, vb.) ve varyasyonun azaltılması.
- Ürün güvenliğinin sağlanması.
- İmalat fizibilitesinin yapılması.
- Garanti yönetiminin gerçekleştirilmesi.

Bu maddelerle birlikte IATF 16949, bünyesinde çok güçlü İstatistiksel teknikleri barındıran birtakım İstatistiksel konulara odaklanmaktadır. Bu tekniklerin OEM'ler ve ana tedarikçiler (Tier 1<sup>5</sup>) tarafından süreçlerinde uygulanmasını şart koşmaktadır. Bu konular:

- İstatistiksel Proses Kontrol (Statistical Process Control – SPC)
- Ölçüm Sistemi Analizi (Measurement System Analyze – MSA)
- Hata Türleri ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effect Analyze - AIAG<sup>6</sup>&VDA<sup>7</sup> FMEA)
- Üretim Parçası Onay Prosesi (Production Parts Approval Process – PPAP)
- İleri Ürün Kalite Planlaması (Advanced Product Quality Planning - APQP)

### Süreç Yaklaşımı

Kalite yönetim sistemlerinde süreç yaklaşımı, bir organizasyonun süreçlerini tanımlamak anlamına gelmektedir. Başka bir deyişle; süreç etkileşimlerinin, gerekli girdi ve çıktıları tanımlanmasıdır. Süreç yaklaşımında amaç; verimliliği artırmak için süreçlerin sistematik bir şekilde yönetilmesine yardımcı olmaktır. Süreç yaklaşımında PUKÖ döngüsü izlenmektedir. Böylece; sürekli iyileştirme kültürünün firmalarda yerleşmesi sağlanmaktadır. Gerçekleştirilen faaliyetlerin

---

<sup>5</sup> OEM'lerin ana tedarikçileri

<sup>6</sup> Otomotiv Endüstrisi Aksiyon Grubu (Automotive Industry Action Groupe)

<sup>7</sup> Verband der Automobilindustrie e.V. (Alman Otomotiv Sanayi Birliği)

değer katıp katmadığı sürekli olarak takip edilmektedir. Bunun için; süreçlerin verimlilikleri ve etkinlikleri ölçülmektedir. Planlanan hedef değerden sapma olması durumunda sürecin sürekli iyileştirilmesi gerçekleştirilmektedir.

### **Firmaların IATF 16949 Uygulama Nedenleri**

Etkili bir şekilde hayata geçirilen IATF 16949; müşterilerin sürekli ve kaliteli bir şekilde ürünler/hizmetler almasını sağlamakta ve güvence altına almaktadır. Bir kalite yönetim sistemine duyulan gereksinim herhangi bir firmanın aşağıda belirtilmiş olan konuları yapmak istediğinde ortaya çıkmaktadır. Bunlar:

- Müşterinin gereksinimlerini karşılayan çıktılarının (ürün/hizmet) karşılandığının kanıtlanması.
- Yasal, düzenleyici ve ürün güvenliği gereksinimlerini karşılanması ihtiyacı.
- KYS'nin etkin bir şekilde uygulanması yoluyla müşteri memnuniyetine yoğunlaşma.
- Sistemin iyileştirilmesi için süreçlerin uygulanması.
- SMART (spesifik, ölçülebilir, ulaşılabilir, gerçekçi ve zamana bağlı) hedeflerin ve yeni iş fırsatlarının belirlenmesi.
- Her zaman öncelikli olarak müşterilerin gereksinimlerinin tutarlı bir şekilde karşılandığından ve müşteri memnuniyetine yoğunlaştığından emin olunması.
- İş süreçleriyle ilgili risklerin belirlenmesi ve riskin etkisini ortadan kaldırmak veya en aza indirmek için uygun önlemlerin alınması.

### **IATF 16949'un Başarılı Bir Şekilde Uygulanması İçin Kilit Noktalar**

Yapılan bilimsel çalışmalar, gerçekleştirilen kalite çalışmalarının %67'sinin ve yeniden mühendislik (reengineering) faaliyetlerinin %80'inin sonuçlarının hedeflere ulaşmada başarılı olmadığını göstermektedir (Young, 2001). Birçok metodolojinin ve kalite yönetim sisteminin uygulanmasında karşılaşıldığı üzere, IATF 16949 çalışmalarının da başarılı olması için dikkat edilmesi gereken bir takım kilit noktalar bulunmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda belirtilmiş olduğu gibidir.

- Süreçlerin efektif olarak yönetilmesi ve müşterilerde güvenin elde edilebilmesi.
- ISO 9001:2015 ve IATF 16949:2016'nın tüm maddeleriyle ilgili gerekliliğinin anlaşılması.
- Her iki standarda göre kurumsal Gap Analyze (Boşluk analizi) yapılması.
- Sorumlulukları ve hedef tarihlerini içeren bir uygulama planının geliştirilmesi.
- İlgili tüm personel için eğitim sağlanması.
- Mevcut sistemin güncellenmesi.

- IATF 16949'un başarılı bir şekilde uygulanması için iç denetimlerin gerçekleştirilmesi.

## Yalın Yönetim

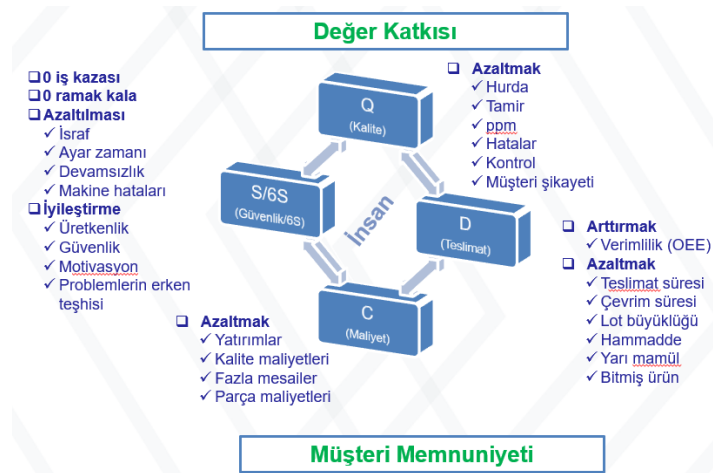
Yalın Yönetim, müşteri için hiçbir değer sağlamayan yalnızca firmanın maliyetlerini arttıran israf kalemlerinin sürekli olarak azaltılarak yok edilmesi ya da en aza indirilmesi yoluyla siparişten teslimata geçen sürenin kısaltılmasıdır. Yalın felsefesi;

- katma değersiz adımları ya da süreçteki ihtiyaç duyulmayan bekleme süresini,
- aşırı üretimi ve
- her hangi bir organizasyonu geliştirmek

için diğer süreçteki verimsizlikleri tanımlar ve ortadan kaldırır. Belirtilen bu zamanın büyük çoğunluğu gereksiz beklemelemlerden oluşur. Gecikmelerin %80'i iş istasyonlarındaki %20'lik zamandan kaynaklandığı bilinmektedir (Taghizadegan, 2006).

Yalın Yönetim, Toyota'da üretimden sorumlu yönetici olarak görev alan Taichi Ohno tarafından Japon endüstrisindeki sorunlara yanıt verebilmek için geliştirilmiştir. Ohno, üretimde karşılaşılan sorunlardan en önemlilerinden birinin değişkenlik kaynaklı olduğunu tespit etmiştir. Bu nedenle; değişkenlik kaynaklarının tespit ederek ortadan kaldırılmasını amaçlamıştır. 1940'ların sonundan itibaren Yalın Yönetim, verimliliği arttırmak ve müşterilere daha iyi hizmet verebilmek için diğer endüstrilerce yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Yalın Yönetim yaklaşımı, değer akışı içinde "muda" olarak adlandırılan israf kaynaklarını en aza indirir. İsrar; sadece hatalı ürünleri değil, aynı zamanda tüm hatalı çalışmaları içermektedir (Pyzek, 2003).

Yalın Yönetim; kalite, teslimat ve maliyet üzerine kurulmuştur. Yani; müşterinin istediği kalitede, istediği zamanda ve en az maliyetle ürün ve hizmetin sağlanmasını amaçlamaktadır. Yalın Yönetim felsefesi merkezine insanı da aldığından işin gerçekleştirilmesi esnasında insan güvenliğine de son derece önem vermektedir. Kısaca; Yalın Yönetimin hedefleri Şekil 2'de gösterilmiş olan konulara odaklanmaktadır.



Şekil 16. Yalın yönetim odak noktaları

Şekil 2’de görüleceği üzere; Yalın Yönetim, değer kavramı ve müşteri memnuniyeti konuları optimize etmeyi amaçlamaktadır.

### Yalın Yönetim Uygulamanın Faydaları

Fabrikalarda gerçekleştiren işlemlerin %95’inden daha fazlası katma değersiz faaliyetleri yapmakla geçmektedir. Yalın Yönetimde, bu katma değersiz işlemleri tespit ederek ve ortadan kaldırmayı amaçlar (George, 2002). Yalın Yönetim uygulayarak aşağıdaki konularda iyileştirme elde edilir (Firuzan, Alpaykut & Gerger, 2013):

- Süreç akışında iyileşme
- Katma değersiz adımlarda azalma
- İsrar, fire, vb. kayıplarda azalma
- Hızlı iyileştirme faaliyetleriyle sonuçları hızlı el de edilmesi

Yalın yönetim felsefesini uygulayan firmaların deneyimleri incelendiğinde aşağıdaki konuların sağlanabildiği görülmektedir (Kulaç, 2012):

- %90 çevrim sürelerinde azalma.
- %50 hurda ve uygunsuz ürünlerde azalma.
- %100 üretkenliğin artması.
- %80 stoklarda azalma.
- %100 oranında ürün geliştirme süresinde iyileşme.

### Yalın Yönetim Prensipleri

Yalın, tüm sürecin hızını ve verimliliğini geliştirmek için kullanılmaktadır. Tablo 2’de gösterilmiş olduğu gibi beş prensipten oluşmaktadır (Nave, 2002).

Tablo 16. Yalın Yönetim Prensipleri

1. Değer
2. Değer Akışı
3. Sürekli Akış
4. Çekme
5 .Mükemmeliyete

Bu prensipler Yalın Yönetim anlayışının temelini oluşturmakta olup, yalın bir organizasyon vazgeçilmez unsurlarıdır.

## Değer

Yalın yaklaşımı müşteri tarafından ürün veya hizmetlere atanan değer in ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasıyla başlar. Değer, Yalın felsefesinin başlangıç noktası olup son müşteri tarafından tanımlanır ve firma tarafından üretilir. Değer, müşterinin parasını ödemeye hazır olduğu ve ihtiyaçlarını karşılamak üzere sunulan fayda (Erol, 2012) ve müşterinin isteklerini, hammaddeden ürün haline getirirken malzemenin şeklini, yapısını, görüntüsünü değiştiren veya birden fazla malzemenin birleştirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Müşteri gereksinimlerinin;

- güvenlik (Safety - S)
- kalite (Quality - Q),
- zamanında teslimat (Delivery -D) ve
- maliyet (Cost - C)

olarak tanımlanmasında ve performansının iyileştirilmesi için kullanılmaktadır. Yapılan iş değer yaratıyor mu? Yanıt evet ise: Bu iş daha iyi nasıl yapılır? Yanıt hayır ise: Tamamen ortadan kaldırılabilir mi? Azaltmak mümkün mü? Gibi sorularla yanıt arar.

Temelde Yalın, değer kavramına odaklanarak müşteri memnuniyetini sağlamayı amaçladığından; müşterinin beklentilerini karşılayabilmesi için israfı ortadan kaldırmaya odaklanmaktadır. Yalın düşüncede israf basit bir dille hiçbir değer katmayan her şey olarak adlandırılmaktadır. Firmalar, genellikle israf kavramından bahsedilince hurdaya atılan malzemeleri anlamaktadır. Ancak; zamanı, kaynakları ve parayı boşa harcayan diğer tüm eylemleri genellikle israf olduğunu unutmaktadırlar. Unutulmaması gereken nokta değer yaratmayan süreçler bünyesinde israf barındırmaktadır (Ohno, 1988). Yalın Yönetimde; kayıplar 3M olarak adlandırılan ve Japonca'da Muda, Muri ve Mura kavramlarının kısaltılmasıyla ifade edilmektedir (Gerger, 2019).

- *Muda*: İsrâflar dolayısıyla çıktının kapasitenin altında elde edilmesine neden olur. Ohno israf türlerini aşağıdaki yedi başlık altında toplamıştır (Womack & Jones, 2002). Bunlar; aşırı üretim, bekleme, taşıma, aşırı işleme, gereksiz hareket, tamir/fireler ve stoklardan oluşmaktadır. Günümüzde; kullanılmayan yetenek ya da insan olarak adlandırılan sekizinci israfta bu listeye girmiştir.
- *Mura*: Değişkenlik ya da düzensizlik anlamına gelen kelimedir. Süreçlerdeki değişkenlik nedenleri; iş planlarının düzensizliği, iş yüklerinin değişkenliği, miktar ve birimlerde yaşanan dalgalanmalar ve proseslerin kararsızlığı gibi nedenlerden kaynaklanan bir kayıp türüdür.
- *Muri*: Aşırı yükleme anlamına gelmektedir. Doğal limitlerin zorlanması ve kapasite aşmaları dolayısıyla ortaya çıkan bir kayıp türüdür. Uzun mesai zamanları ya da makinanın/insanın kapasitesinin üzerinde maruz bırakılması sonucu meydana gelen performans azalmasını ifade etmektedir.

İsrâfların süreçlerden bertaraf edilmesiyle birlikte aşağıdaki kazanımlar elde edilebilmektedir. Bunlar:

- Verimlilik (iş i doğru yapmak) ve etkinlik (doğru iş in yapılması) artar.

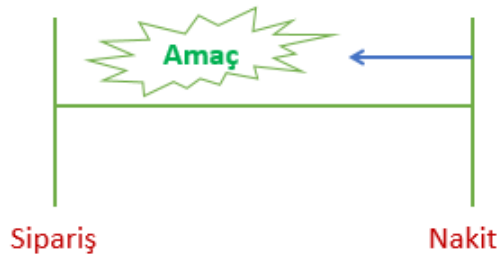
- Süreçlerinin üretkenliğini artırır.
- Tesisin göstergesi olan OEE (Genel Ekipman Etkinliği) performansını artırır.
- Tüm çalışanlar için daha güvenli bir çalışma ortamı yaratır.
- Arıza süresini azaltır

## Değer akışı

Yalın düşünce metodolojisinin ana amacı; müşteri için değer, değer oluşturma aşamalarında kesintisiz bir şekilde aktılarak, hızlı bir şekilde son müşteriye ulaştırılmasıdır. Değer akışı, üretim ana akışı sürecinde bir ürünün meydana getirilmesinde gerçekleştirilen katma değerli ve katma değersiz faaliyetlerin bütünü olup (Türkan, 2010), ürünün hammaddeden müşterinin kullanımına ve ürünün elden çıkarılmasına kadar olan tüm yaşam döngüsünü inceler. Bu aşamada:

- Değer akış haritaları (VSM) oluşturulur,
- Her aşamadaki “katma-değer” yaratan aktiviteler bulunur,
- “Katma-Değer” yaratmayan aktiviteler sistemden uzaklaştırılır.

Akış süresi neden uzun? Neden israflar var? Neyi değiştire bilirim? Gibi soruların sorulması gerekir. Çünkü; Yalın yönetimin amacını Şekil 3’te gösterildiği Taichi Ohno “*Bütün yapmaya çalıştığımız bu zaman çizgisini kısaltmak...*” olarak ifade ettiği durumdur.



Şekil 17. Yalın'ın temel amacı

Yalın'ın bu prensibinde; değer katmayan faaliyetlerin iyileştirilmesi veya süreçten uzaklaştırılması ya da atılması amaçlanır (Öztürk, 2009).

## Sürekli akış

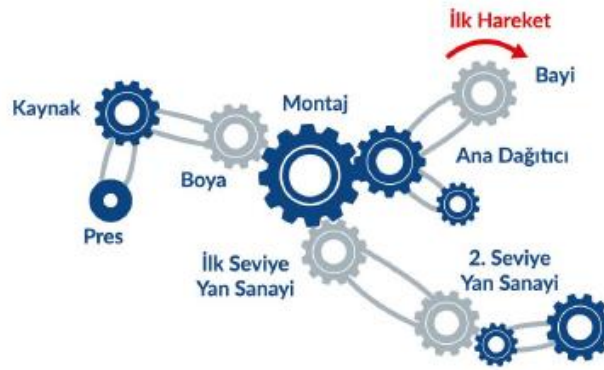
Sürekli akış, tanımlanan değer (malzeme ya da bilgi) bütün değer yaratan süreçler boyunca kesintiye uğramadan akışının sağlanmasını amaçlar. İsrafların sistemden uzaklaştırıldıktan sonra kalan adımların; kesinti, gecikme veya darboğaz olmaksızın sorunsuz bir şekilde aktığından emin olmayı amaçlar. Bunun için; değer yaratan adımları artarda yaparak yani kesintiye uğratmaksızın:

- Hammaddeyi ürüne dönüştürür ve müşteriye ulaştırır.
- Fikri, seri üretime hazır yeni bir ürüne dönüştürür ve üretime başlar.

Yalın Yönetimin bu prensibinde geniş partilerdeki ürün hareketinden ziyade sürekli akışa odaklanır. Kaizen, vb. teknikleri kullanarak her adımının mükemmelleştirilmesi amaçlanır. Aynı zamanda; FMEA, vb. çeşitli risk analiz teknikleri kullanılarak tedarik zincirindeki olası risklerin tespit edilerek, önleme faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi sağlanır.

## Çekme

Çekme, sürecin kendinden sonraki üretim adımlarında yer alan müşterinin talebi olmadan, önceki adım ya da adımlardan hizmet veya ürün hiçbir koşulda üretilmeyeceği anlamını taşır. Çekmenin mantığı; işe, müşterinin ihtiyaç duymuş olduğu bir mamul için yaptığı taleple başlamak ve ürünün müşteriye teslim edilmesine kadar geçen tüm süreç adımlarını geriye doğru incelemektir (Womack & Jones , 1998).



Şekil 18. Çekme sistem örneği

Şekil 4'te görüleceği üzere; sistemin tüm dişlilerinin çalışması için bayinin yani müşterinin talepte bulunması gerekir. Çekme prensibi vaktinden önce hiçbir şeyin yapılmamasını sağlayarak, süreç içi çalışma envanteri oluşturarak, akışı sağlamaya yardımcı olur. Çekme sistemi, tahmine göre itme sistemini kullanan geleneksel Amerikan üretim yaklaşımı yerine müşteri sipariş verene kadar (çekme) hiçbir şeyin üretmeme prensibine dayanır. Çekme sistemi ile ürünlerin önceden üretilmesine veya malzemelerin stoklanmasına gereksinim duyulmaz. Özetle bu prensip; müşterinin istediği ürünü, istediği adette ve kalitede üretmeye; istediği zamanda ve istediği yere teslim etmeyi amaçlar.

## Mükemmellik

Yalın yönetimde; çıktıdaki kusurlar, donanımlardaki problemler ve katma değer yaratmayan faaliyetler olağan karşılanmadığı gibi bu problemlerin nedenleri sürekli bir şekilde sistematik teknik ve metodolojiler kullanılarak kök neden ya da nedenler tespit edilerek çözümlenir. Mükemmelliğe ulaşmak için PUKÖ çevrimi etkin olarak kullanılır. "Her zaman daha iyisi vardır?" bilinciyle hareket edilir. PUKO döngüsü kalite sistemlerinde kullanılmakla birlikte Yalın Yönetim uygulamalarında da oldukça yoğun kullanılmaktadır. Yalın Yönetimde, PUKÖ çevriminin kullanılmasıyla; problemin tekrarının oluşmasını hızlı bir şekilde önler. Bunun nedeni sürecin sürekli bir şekilde akış durumunda olmasıdır. Yalın Yönetimde, kusurlu parçalar bir yığın oluşturmadan kolayca fark edilebilir ve problemlerin sebepleri kolay bir şekilde tespit edilebilir (Rosin vd., 2020).



## Yalın Yönetim Projelerinin Başarısız Olma Nedenleri

Pek çok projede olduğu gibi Yalın Yönetim projelerinde başarısız sonuçlar elde edilebilmektedir. Mora'nın TPM ve Yalın'ın diğer konuları üzerine yapmış olduğu araştırmalar, bu çalışmaların %10'undan daha azının başarılı olduğunu göstermiştir. Yalın çalışmalarının başarısız olmasının pek çok nedeni bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; teknik problemler, yönetsel problemler, idari kaynaklı problemler, kültürel problemler ve uygulama kaynaklı problemlerdir (Taleghani, 2010).

## Yalın Yönetim Teknikleri

Firmalar; ürün/hizmet kalitelerini arttırmak, maliyetlerini azaltmak ve tam zamanında teslimatlarını gerçekleştirebilmek için Yalın Yönetim araçlarını kullanmaktadırlar. Bu tekniklerden bazıları Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 17. Yalın Araçları

---

▪ Kaizen	▪ VSM
▪ Poka Yoke	▪ Benchmarking
▪ Heijunka	▪ TPM
▪ 5S	▪ İş startlaştırma
▪ SMED	▪ Jidoka
▪ Milkrun	▪ Tam Zamanında Üretim (JIT)
▪ Kanban	

---

Yalın Yönetimin bu teknikleri birkaç temel kavram üzerine odaklanır. Bu kavramlar; daha iyi, daha hızlı, daha ucuz ve çalışmalara daha fazla anlam yaratmaktır (McCarty, vd., 2004). Bu kavramlar, IATF 16949 ve Yalın Yönetimin ele alındığı makalenin üçüncü bölümünde ele alınacaktır.

## Yöntem

“Bu çalışma, kapsam gereği etik kurul onayı gerektirmemektedir”. Çalışmanın bu bölümünde; Yalın Yönetim ve IATF 16949:2016 Otomotiv KYS'nin karşılaştırmalı bir inceleme araştırması gerçekleştirilmiştir. Öncelikle; otomotiv endüstrisi ele alınarak, bu endüstrinin önemi hakkında bir literatür çalışması yapılmıştır. Daha sonra otomotiv endüstrisinde KYS olan IATF 16949 standardının incelemesi gerçekleştirilmiştir. KYS'lerinde yüksek seviye yapı olarak adlandırılan ve PUKÖ döngüsüne göre tasarlanan IATF 16949'un ilgili on maddesi hakkında kısa bir inceleme ve değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Bu değerlendirmeyi takiben Yalın Yönetim detaylı olarak incelenerek, sanayi ve akademi açısından Yalın Yönetim felsefesi araştırılmıştır. Buradan hareketle; Yalın Yönetim, felsefesi, prensipleri ve araçlarını anlatan bir literatür araştırması yapılmıştır. Gerçekleştirilen literatür çalışması neticesinde; Literatürde Yalın Yönetim ve IATF 16949 Otomotiv KYS'nin ele alındığı hiçbir çalışmaya rastlanılmamıştır. Oysaki; Yalın Yönetim, otomotiv endüstrisinde doğmuş olup Otomotiv KYS'nin de bel kemiğini oluşturmaktadır. Bu sebeple; literatürde yer alan bu boşluğu doldurabilmek amacıyla IATF 16949 Otomotiv KYS içinde geçen tüm Yalın Yönetim konularının ve tekniklerinin standarttan ilgili maddesiyle kıyaslaması yapılarak, elde edilen bulguların değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular hem bir endüstri profesyoneli olarak hem de bir akademisyen olarak konunun daha iyi anlaşılabilmesi için ele alınmış, çalışma sonuçları paylaşılmıştır.

## Bulgular ve Tartışma

Makalenin bu bölümünde Yalın Yönetim tekniklerinin IATF 16949'un hangi maddesinde ele alındığı ve ikisi arasındaki ilişki ele alınarak, kıyaslaması yapılmıştır. Örneğin; Yalın Yönetimin odak noktası olan kalite, teslimat ve maliyet konuları IATF 16949 8.3.4.1. maddesinde; 'ölçümlerin kalite risklerini, maliyetlerini, teslim sürelerini, kritik yollarını ve diğer ölçümlerini içerebilir' şeklinde belirtilmektedir (IATF, 2016). Diğer Yalın Yönetim araçların önce kısa bir açıklaması yapılmış daha sonra IATF 16949 ilgi maddelerinin içeriği hakkında bilgi verilerek kıyaslaması aşağıdaki gibi verilmiştir

### Hata Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA)

Yalın Yönetim felsefinin üçüncü prensibi sürekli akıştır. Burada işlerin arda yapılarak herhangi bir kesintiye uğramadan yapılması amaçlanır. Bunu sağlamak içinde tedarik zincirin her aşamasında risk analizi yapılmasını öngörmektedir. Çünkü; Yalın Yönetim, kalite, teslimat ve maliye odaklanmaktadır. Bu odak noktaların gerçekleştirilmesi için yaşanabilecek olası tüm risklerin analizinin yapılmasına ihtiyaç vardır. Benzer şekilde; IATF 16949'da risk yönetimi temelli bir KYS'dir. IATF 16949'da geçen risk analizi ile ilgili standart maddelerinden bazıları aşağıda belirtilmiştir.

- 4.4.1.2. *Ürün Güvenliği maddesinde*; risk analizlerinin hem tasarım aşamasında hem de proses aşamasında yapılmasını istenmektedir.
- 6.1.2.1. *Risk Analizi maddesinde*; risk analizi yapılması ve bunu dokümente edilmiş bir şekilde tutmasını istenmektedir. Standartın bu maddesinde risk analizine yönelmenin KYS'nin etkinliğinin artmasını sağlayacağını ifade etmiştir.
- 7.2.3. *İç Denetçi Yetkinliği maddesinde*; FMEA, vb. risk analizi yapılması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca; temel tekniklere yönelik gereksinimlerin (Core Tools<sup>8</sup>) anlaşılması istenmektedir.
- 7.2.3. *İkinci Taraf Denetçi Yetkinliği maddesinde*; Core Tools yetkinliği denetçilerden istenilmektedir.
- 7.3.3.2.2 *Mühendislik Şartnamesi maddesinde*; FMEA gibi risk analizinin yapılması istenmektedir.
- 8.3.2.1 *Tasarım ve Geliştirilme Planlaması – Ek maddesinde*; imalat süreci risk analizinin yapılması gerektiği belirtilmiştir.
- 8.3.3.3 *Özel Karakteristikler maddesinde*; risk analizlerinin dokümente edilmesi istenilmektedir.
- 8.3.5.1 *Tasarım ve Geliştirmenin Çıktıları – Ek maddesinde*; tasarım risk analizinin yapılması istenilmektedir.
- 8.3.5.2 *İmalat Prosesi Tasarım Çıktıları maddesinde*; imalat tasarım çıktılarında proses FMEA'larının doğrulanmasını istenilmektedir.
- 8.5.1.1. *Kontrol Planı maddesinde*; imalat planı risk analiz çıktılarının kontrol planlarında yer alması gerektiği belirtilmiştir.

---

<sup>8</sup> FMEA, SPC, MSA, PPAP, APQP

- 8.5.6.1.1 *Proses Kontrollerinin Geçici Değişikliği maddesinde*; FMEA'ların mutlaka kontrol edilmesi gereken dokümanlardan olduğu aktarılmıştır.
- 8.7.1.4 *Yeniden İşlem Gören Ürünün Kontrolü maddesinde*; Kuruluş, ürüne yeniden işlem uygulamadan önce; yeniden işlemdeki riskleri değerlendirmek üzere, risk analizi (FMEA, vb.) yapması zorunlu tutulmuştur.
- 8.7.1.5 *Tamir Edilen Ürünün Kontrolü maddesinde*; Kuruluş, ürünün tamir kararı öncesi tamir işleminin risklerini değerlendirmek üzere; risk analizi (FMEA, vb.) yapması zorunlu tutulmuştur.
- 9.1.1.1 *İmalat Proseslerinin İzlenmesi ve Ölçümü maddesinde*; Proses FMEA uygulandığının doğrulanmasını istemiştir.
- 9.1.1.2 *İstatistiksel Tekniklerin Belirlenmesi maddesinde*; proses risk analizinde (P-FMEA, vb. gibi) ve kontrol planı içeriğinin bir bölümünde uygun istatistiksel tekniklerin dahil edildiğini doğrulaması gerektiği açıklanmıştır.
- 9.1.1.3 *İstatistiksel Kavramların Uygulanması maddesinde*; FMEA projelerine yüksek risk içeren özelliklerden başlanılması gerektiği belirtilmiştir.
- 9.3.2.1 *Yönetim Gözden Geçirme Girdileri – Ek maddesinde*; risk analizi ile tespit edilen potansiyel saha başarısızlıklarının tanımlanması (FMEA, vb.) zorunlu tutulmuştur.

### Değer Akış Haritalama (VSM) ve Tek Parça Akış

VSM, proses sırasını, malzeme ve bilgi akışını tek bir sayfada görselleştirebilen güçlü bir Yalın tekniğidir (Fukuzawa, 2020). VSM; acil durum kapasite planlamalarında, öncelikli iyileştirme faaliyetleri ve ilgili projelerin belirlenmesinde, üretim miktar artışlarında (Rump up), makine, tesis, aparat ve stokların yerleşimini (layout) akış odaklı olarak düzenlemek istendiğinde ve kayıpların (israf, fire, vb.) tespit edilerek yok edilmesinde, vb. durumlarda kullanılmaktadır. Buradaki amaç tek parça akışın sağlanmak istenmesidir. Tek Parça Akışı (one piece flow), bir üretim sürecini birbiri ardına tamamlayarak yapılan bir üretim sistemidir. Ters kitle üretim ya da Batch sistemi olarak adlandırılan büyük partiler halinde üretme anlayışıdır (Kustiadi vd., 2018).

- 6.1.2.3. Beklenmedik (Acil) Durum Planları maddesinde ‘Tüm üretim süreçlerine ve üretim çıktısı için gereken altyapı ekipmanlarını korumak ve müşteri gereksinimlerin karşılandığını güvence altına almak için iç ve dış risklerin tespit edilmesi ve değerlendirilmesi’ ve ‘Riske ve müşteriye etkisine göre beklenmedik durum planlarının tanımlanmasında’ VSM uygulanması beklenmektedir.
- 7.1.3.1. *Bina, Yerleşke ve Ekipman maddesinde*; gereksinimlerin planlamasında Yalın Üretim ilkelerinden yararlanılması açıkça belirtilmiştir. Fabrikanın tek parça akışa göre ve katma değerli aktiviteleri sağlayacak şekilde tasarlanması istenilmektedir.
- 8.6.2 *Yerleşim Muayenesi ve Fonksiyonel Testler maddesinde*; uygulanabilir müşteri mühendislik malzeme ve performans standartlarına, her bir ürün için kontrol planında belirtildiği gibi Layout (yerleşim planı) kontrolü ve bir fonksiyonel doğrulama yapılması gerektiği ve sonuçların müşteri gözden geçirme çalışmaları için hazır olması ve Layout'ların sıklığı müşteri tarafından belirlenmesi gerektiği belirtilmiştir.

## Tekli Dakikalarda Kalıp Değişimi (SMED)

SMED, belirli bir üretim sürecinde yer alan makinelerin ve cihazların kalıp, vb. parçalarının değişim sürelerini kısaltmayı mümkün kılan bir dizi teknik ve araçtır. SMED metodolojisi, 1950'li yıllarda Shingo tarafından hızlı takım değiştirme amacıyla ortaya atılan bir kavramdır. Makinaların, çene, kalıp, aparat, vb. parçalarının on dakikanın altında değiştirilmesini amaçlayan bir Yalın Yönetim aracıdır (Shingo, 1984). SMED, endüstride İngilizce olarak 'Set up' olarak da kullanılmaktadır.

- 7.1.3.1. Fabrika, Tesis ve Ekipman Planlaması maddesinde; Set up doğrulamalarının yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Yine; bu madde kapsamında yer alan Not 1'de 'Bu gerekliliklerin Yalın Üretim prensiplerinin uygulamasını içermesi esastır' ibaresi bulunmaktadır.
- 8.5.1.1 Kontrol Planı maddesinde; kontrol planlarında Set up doğrulamalarının yer alması gerektiği belirtilmiştir.
- 8.5.1.3 İş Ayar (Set Up) Doğrulamaları maddesinde; Kuruluş, ilk iş başlangıcı, malzeme değişimi ya da yeni ayar gerektiren iş değişimlerinde iş ayarlarını doğrulaması gerektiği belirtilmiştir.

## 5S

Japonca beş kelimenin baş harflerinden oluşan 5S; tertip ve düzenle ilgilidir. Günümüzde güvenlik altıncı "S" olarak eklenmiştir. Şekil 56'te gösterilen kelimelerin baş harflerinden oluşmaktadır.



Şekil 19. 6S adımları

- 7.1.4. Süreçlerin İşletilmesi İçin Ortam maddesinde; ISO9001:2015 belirtildiği gibi üretimin uygun şartlarda yapılabilmesi için tesislerin, tertip, düzen ve temizlik gibi konularını tanımlaması gerektiği zorunlu kılınmıştır.

- 7.1.4.1. *Süreçlerin İşletilmesi İçin Ortam – Tamamlayıcı maddesinde*; ‘Kuruluş, tesislerini ürün ve üretim süreci ihtiyaçları ile tutarlı bir düzen, temizlik ve onarım durumunda tutacaktır’ şeklinde zorunlu kılmaktadır.

### **Toplam Üretken Bakım (TPM)**

Toplam Üretken Bakım (TPM), üretim ve hizmet operasyonlarında her seviyeden çalışanın katılımıyla otonom bakımı öngören, arızaları çözme değil önlemeyi amaçlayan, firmadaki makinaların ve ekipmanların etkinliğini en üst düzeye getirmeyi hedefleyen bakım odaklı bir Yalın Yönetim tekniğidir. Yalın Yönetimde, ürünlerin müşterinin istemiş olduğu kalitede olması amaçlanmaktadır. Bu nedenle; ürünün kalitesini etkileyen ekipmanların bakımı ve doğrulanması son derece önemlidir.

- 7.1.5.1.1. *Ölçüm Sistem Analizinin (MSA) maddesinde*; MSA’nın öncelikle kritik, özel ürün ya da prosese uygulanması istenmektedir.
- 7.1.5.3.1. *İç Laboratuvar maddesinde*; KYS dokümantasyonuna iç laboratuvar bilgilerinin tanımlanması istenmektedir.
- 8.5.1.5 *Toplam Üretken Bakım maddesinde*; kuruluş, dokümente bir Toplam Üretken Bakım sistemi geliştirmesi, gerçekleştirmesi ve sürdürmesi gerektiği ve hangi konuların içerilmesi gerektiği belirtilmiştir.

### **Seviyelendirilmiş Süreç Denetimi (LPA)**

LPA, kalite yönetim sistemlerinin bir gereksinimi olarak farklı yönetim katmanları tarafından yapılan denetimlerdir. LPA’lar, kritik ve dar boğaza neden olan prosesler başta olmak üzere tüm kritik alanlara uygulanabilmektedir (Gerger, 2021b).

- 8.5.6.1.1 *Proses Kontrollerinin Geçici Değişikliği maddesinde*; günlük kalite odaklı denetimlerin (LPA) yapılması gerektiği belirtilmiştir.
- 9.2.2.3 *İmalat Proses Denetimi maddesinde*; LPA’ların, FMEA, vb. risk analiz çalışmalarının denetiminde uygulanmasını istemektedir.

### **Kaizen**

Kaizen, küçük ve sürekli iyileştirmeleri ifade bir Yalın Yönetim tekniğidir. Bu küçük iyileştirmeler, organizasyondaki herkesin yukarıdan aşağıya katılımını gerektirir. Çalışanların kademeli olarak daha yüksek çalışma standartlarına getirilmesiyle uzun vadeli iyileştirme sağlanır. Masaaki Imai tarafından geliştirilmiştir (Gerger, 2018).

- 7.3.2. *Çalışanların Motivasyonu ve Yetkilendirilmesi maddesinde*; sürekli iyileştirme çalışmalarının (Kaizen) yapılması istenmektedir.
- *Sürekli İyileştirme – Ek maddesinde*; kuruluş, sürekli iyileştirme için dokümente bir prosese sahip olması gerektiği zorunlu tutulmuştur.

## Benchmarking (Kıyaslama)

Amerikan Verimlik ve Kalite Merkezi (APQC), Benchmarking'i "performansın iyileştirilmesine yardımcı olmak için başka bir kuruluştan seçkin uygulama ve süreçleri tanımlama, öğrenme ve uyarılama süreci" olarak tanımlamaktadır. En temel anlamıyla Benchmarking "sektördeki en iyi uygulamaları belirleme ve bu uygulamaları belirli bir işletmede uygulamaya koyma süreci" olarak tanımlanmaktadır. Benchmarking, işletmeye ait verilerin değerlendirilmesini, karşılaştırılmasını ve ölçülmesini içerir. İç ve dış Benchmarking olarak iki tipi bulunmaktadır. İç kıyaslama bir yıldan diğer yıla olan kıyaslamayı kapsarken; dış kıyaslama, aynı iş alanındaki başka bir organizasyonun verilerini kıyaslar (Henderson, 2010).

- 8.2.3.1.3. *Kuruluş İmalat Fizibilitesi maddesinde*; Benchmarking çalışmaları yapılması gerektiğini önermektedir.
- 8.3.3.1 *Ürün Tasarım Girdileri maddesinde*; rekabetçi ürün analizi için Benchmarking yapılmasını istenmektedir.

## Poka Yoke (Hatasızlaştırma)

Japonca'da görülmeyen tesadüfî hata anlamına gelen "poke" kelimesi ve yok etmek anlamına gelen "yoke" kelimelerinin birleşiminden türemiştir. Poke ve Yoke ikisi birlikte hata önleme anlamına gelmektedir. Shingo, Poka Yoke'yi kusurların oluşmasını engelleyen fiziksel bir cihaz olarak tanımlanmıştır (Lazarevic vd., 2019).

- 8.3.3.2 *İmalat Prosesi Tasarım Girdileri maddesinde*; problemin büyüklüğüne uygun derecede bir hatasızlaştırma (Poka Yoke) çalışması yapılması gerektiğini belirtmiştir.
- 8.3.5.1 *Tasarım ve Geliştirmenin Çıktıları – Ek maddesinde*; ürün tasarımı girdi gerekliliklerine karşı doğrulanabilir ve geçerli kılınabilir Poka Yoke çalışmaları istenilmektedir.
- 8.3.5.2 *İmalat Prosesi Tasarım Çıktıları maddesinde*; Hata önleme sistemlerinin (Poka Yoke) geçerli kılınması için tuzak parçaların ve sınır numunelerin kullanılması şart tutmuştur.
- 8.5.6.1.1 *Proses Kontrollerinin Geçici Değişikliği maddesinde*; firmanın Poka Yoke araçlarını tanımlaması gerektiği belirtilmiştir.
- 10.2.4 *Hatasızlaştırma maddesinde*; kuruluşun uygun hatasızlaştırma (Poka Yoke) metodolojilerini kullanması için dokümanite bir prosese sahip olması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca; kullanılan metodun detayları, proses risk analizinde (P-FMEA, vb.) ve test frekansları kontrol planında dokümanite edilmesi gerektiği belirtilmiştir.

## İş Standartlaştırma

Yalın Yönetim felsefesinin merkezinde insan yer almaktadır. Bu nedenle; işlerin standartlaştırılmasını ve sorumluların belirlenmesini istemektedir.

- 8.5.1.2 *Standardize İş – Operatör Talimatları ve Görsel Standartlar maddesinde*; standart iş dokümanlarının operatör güvenliğine ilişkin kuralları da içermesi gerektiği aktarılmıştır.
- 8.5.6.1.1 *Proses Kontrollerinin Geçici Değişikliği maddesinde*; her bir alternatif kontrol yöntemi için Standard İş Talimatının hazır olması gerektiği zorunlu kılınmıştır.

### Tam Zamanında Üretim (Just in time - JIT)

Toyota başmühendisi Taiichi Ohno tarafından geliştirilen tam zamanında üretim, ilk olarak Toyota'da uygulanmıştır (Özkan & Esmeray, 2002, s. 129-130). JIT sistemiyle; üretimin ihtiyaç duymuş olduğu malzemelerin ihtiyaç anında operasyon alanında bulunmasını sağlayan ve mümkün olan en az stok miktarını hedefleyen bir stok yönetim sistemidir (Zerenler ve İraz, 2006).

- 8.5.1.7 *Üretim Programlama (Planlama) maddesinde*; Kuruluş, JIT gibi müşteri sipariş/ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla ve sürecin anahtar aşamalarında üretim verisine erişime izin veren bir bilgi sistemi ile destekli, çekme sistemine dayalı (Pull system) olarak üretim planlamayı güvence altına alması gerektiği belirtilmiştir.
- 8.5.4.1 *Ürün Mubafazası – Ek maddesinde*; kuruluş, stokunu optimize etme ve stok rotasyonunu 'İlk Giren İlk Çıkar – FiFo' gibi bir yöntemle güvence altına alma amacıyla envanter yönetim sistemi kullanmalı şeklinde tanımlanmıştır.

### Sonuç

Yalın felsefesi; müşteriye mükemmel değeri sunmayı, israflardan arındırılmış mükemmel prosesler oluşturmayı, insana odaklanmayı (yetkin, bilgili ve tutkun çalışanlar), sürdürülebilir karlılığı, rekabet gücünü arttırmayı ve istikrarlı büyümenin sağlanmasını amaçlar.

Yalın Yönetimi uygulamanın firma açısından önemi ve amacı; müşterinin ürünü sipariş ettiği andan başlayarak, ürünün satılması ve ürün değerinin (nakittin) kasaya konulduğu zaman periyodunu en aza indirmektir. Bunu sağlamanın yolu ancak çok iyi tasarlanmış ve iyi yönetilen bir tedarik zinciri yönetiminin gerçekleştirilmesiyle elde edilebilmektedir. Bu gerçekleştirildiği takdirde müşteri memnuniyeti sağlanmaktadır.

Başarılı bir Yalın Yönetim uygulanabilmesi için; Yalın'ın beş prensibi olan değer, değer akışı, sürekli akış, çekme ve mükemmellik konularının anlaşılması gerekmektedir. Dolayısıyla önce Yalın Yönetimin felsefesinin anlaşılması gerekmektedir.

IATF 16949:2016 Otomotiv KYS risk temelli bir standart olup; tüm tedarik zinciri boyunca olası risklerin analiz edilerek; önleyici faaliyetlerin gerçekleştirilmesini ve süreç yaklaşımı ekseninde tüm süreçlerin optimize edilmesini amaçlar. Süreç yönetim yaklaşımında; sürecin kesintisiz olarak akmasını önleyen özel ya da genel nedenlerin tespit edilerek, bertaraf edilmesi istenir. Bunun için; LPA, VSM, SMED, TPM, 5S, vb. yalın tekniklerin ve SPC, MSA, vb. istatistiksel araçların doğru bir şekilde kullanılması gerekir.

Bu çalışmanın üçüncü bölümünde detaylı olarak kıyaslandığı üzere; esasen IATF 16949 Otomotiv KYS, Yalın Yönetim merkezli bir standarttır. Standartın birçok maddesinin yoğun bir şekilde Yalın tekniklerini işaret ettiği görülmektedir. Bu tekniklerin kullanılması yoğun rekabetin olduğu sektörde hayati öneme sahiptir.

Hem Yalın Yönetimde hem de IATF 16949 Otomotiv KYS'nde sürekli iyileştirme kültürü çok önemli bir yer tutmaktadır. Her ikisi de herhangi bir uygunsuzluğun ortaya çıkmasını engellemeyi, eğer engelleyemezse de uygunsuzluğun bir daha tekrarlanmasının önlenmesi istenilir.

Otomotiv endüstrisi günümüzde artık lot bazlı bir kitle üretim şeklinde değil müşterinin talep etmiş olduğu ürünü Yalın'ın çekme prensibi doğrultusunda üretmekte; müşterinin istediği kalitede, istediği zamanda ve en uygun maliyetle üretimi yapmakta olduğu görülmektedir. Bu nedenle; Yalın Yönetim felsefesini, IATF 16949 Otomotiv KYS içine entegre ederek tüm tedarik zincirinde ürünün/hizmetin kesintiye uğramadan akışını garanti altına almaktadır.



## Kaynakça

- Clarke, C. (2005). *Automotive production systems and standardization from Ford to the case of Mercedes-Benz*. Heidelberg: Physica-Verlag.
- Erol, S. (2012). Yalın Yaklaşım ve Yalın Üretim. *Anahtar*, 24(278), 18-23. <https://edergi.sanayi.gov.tr/Arsiv/Detay/2f02efe7-bf93-4beb-1097-08d921aab3bc> adresinden alındı
- Firuzan, A.R., Alpaykut, S. & Gerger, A., Firuzan, A. R., Alpaykut, S., & Gerger, A. (2013). Yalın Altı Sigma Projeleri İçin Kritik Başarı Faktörleri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 14(4), 65-79.
- Fukuzawa, M. (2020). Function of Value Stream Mapping in Operations Management Journals. *Annals of Business Administrative Science*, 2020(19), 207-225. doi:<https://doi.org/10.7880/abas.0200909a>
- George, M. L. (2002). *Lean six sigma: Combining six sigma quality with lean speed*. New York: The McGraw Hill Companies.
- Gerger, A. (2018). Use of Kobetsu Kaizen Method to Increase Efficiency in the Production Assembly: A Case Study. B. Tunçsiper, & F. Sayın içinde, *Critical Debates in Social Sciences* (s. 54-70). London: FrontPage Publications Limited.
- Gerger, A. (2019). Endüstri 4.0 Üretim Sürecinde Süreç Değişkenliğinin Optimizasyonunda Heijunka Yöntemi. *Izmir Democracy University Social Sciences Journal*, 2(1), 1-17.
- Gerger, A. (2021a). Blockchain Technology in the Automotive Industry: Use Cases and Statistical Evaluation. Z. Mahmood içinde, *Industry Use Cases on Blockchain Technology: Applications in IoT and the Financial Sector* (s. 277-308). Hershey: IGI Global.
- Gerger, A. (2021b). Seviyelendirilmiş Süreç Denetimi (LPA): Havacılık Endüstrisinde Bir Uygulama Örneği. Y. Şahin, & S. Yalçınkaya içinde, *Malzeme Teknolojisi ve Tasarım Bilimlerine Yeni Yaklaşımlar* (s. 386-418). İstanbul: Güven Plus Grup A.Ş.
- Henderson, W. S. (2010). Benchmarking The Neurology Practice. *Neurol Clin.*, 28(2), 365-384. doi:[10.1016/j.ncl.2009.11.003](https://doi.org/10.1016/j.ncl.2009.11.003)
- Hoyle, D. (2000). *Automotive quality systems handbook*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Hoyle, D. (2005). *Quality systems handbook ISO/TS 16949:2002* (2. Ed. b.). Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- IATF. (2016). *IATF. Global Oversight: International Automotive Task Force*.
- Kern, J., & Wolff, P. (2019). The digital transformation of the automotive supply chain – an empirical analysis with evidence from Germany and China. Case study contribution to the OECD TIP Digital and Open Innovation project,» Sectoral Casw Study, 1-23. [https://www.researchgate.net/publication/348189852\\_The\\_digital\\_transformation\\_of\\_the\\_automotive\\_supply\\_chain\\_-](https://www.researchgate.net/publication/348189852_The_digital_transformation_of_the_automotive_supply_chain_-)

an\_empirical\_analysis\_with\_evidence\_from\_Germany\_and\_China\_Case\_study\_contribution\_to\_the\_OECD\_TIP\_Digital\_and\_Open\_Innovation\_project adresinden alındı

Kulaç, Ü. (2012, Haziran 7). Yalın Üretim Felsefesi. Yalın Üretim Nedir? Yalın Enstitü: <https://lean.org.tr/yalin-uretim-felsefesi/> adresinden alındı

Kustiadi, O., Rohimah, A., & Purba, H. (2018). Lean Manufacturing Implementation Using One Piece Flow System For Productivity Improvementin Baritori Process. *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI)*, 7(11), 31-36.

Lazarevic, M., Mandic, J., Sremcevic, N., Vukelic, D., & Debevec, M. (2019). A Systematic Literature Review of Poka-Yoke and Novel Approach to Theoretical Aspects. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 65(2019 (7-8)), 454-467. doi:10.5545/sv-jme.2019.6056

McCarty, T., Bremer, M., Daniels, L., & Praveen Gupta Motorola University. (2004). *The Six Sigma Black Belt Handbook*. Columbus: The McGraw-Hill Companies.

Nave, D. (2002). How to Compare Six Sigma, Lean and the Theory of Constraints. *Quality Progress*, March, 73-78. <http://www.toc-cga.org/upload/reference/3.pdf> adresinden alındı

Ohno, T. (1988). *The Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Portland: Productivity Press.

Özkan, A., & Esmeray, M. (2002). Bir Maliyet Kontrol Sistemi Olarak JIT Üretim Sistemi ve Muhasebe Uygulamaları. *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 3(1), 129-146. <http://eskidergi.cumhuriyet.edu.tr/makale/138.pdf> adresinden alındı

Öztürk, A. (2009). *Kalite Yönetimi ve Planlaması*. Bursa: Ekin Basın Yayın Dağıtım.

Pyzek, T. (2003). *The Six Sigma Handbook Reviswd and Expanded*. USA: The McGraw-Hill Companies.

Rosin, F., Forget, P., Lamouri, S., & Pellerin, R. (2020). Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles. *International Journal of Production Research*, 58(6), 1644–1661. doi:10.1080/00207543.2019.1672902

Shingo, S. (1984). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. (A. P. Dillon, Çev.) Oregon: Productivity Press.

Taghizadegan, S. (2006). *Essential of Lean Six Sigma*. Oxford: Oxford: Elsevier Inc.

Taleghani, M. (2010). Key factors for implementing the lean manufacturing system. *Journal of American Science*, 6(7), 287-291. doi:[http://www.jofamericanscience.org/journals/am-sci/am0607/33\\_3003\\_am0607\\_287\\_291.pdf](http://www.jofamericanscience.org/journals/am-sci/am0607/33_3003_am0607_287_291.pdf)

Türkan, Ö. (2010). Üretimde Yalın Dönüşümün Temel Performans Kriterleri. *BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(2), 28-41. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/223742> adresinden alındı

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2002). *Yalın Düşünce (2 b.)*. (N. Aras, Çev.) İstanbul: Sistem Yayıncılık.

Womack, J., & Jones , D. (1998). Yalın Düşünce. İstanbul: Sistem Yayıncılık.

Young, J. (2001). Driving Performance Results At American Express. Six Sigma Forum Magazine, 1(1), 19-27. <https://asq.org/quality-resources/articles/driving-performance-results-at-american-express?id=5ba05d8f1d394b25938c5de846ef07f1> adresinden alındı

Zerenler, M., & İraz, R. (2006). Japon Yönetim Anlayışı ve Şirket Ağları (Keiretsu) Analizi. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 757-776. <http://dergisosyalbil.selcuk.edu.tr/susbed/article/view/558> adresinden alındı

## Veri Madenciliği Algoritmalarının Sağlık Verileri Üzerinde Karşılaştırılması

Abdullah BAYKAL<sup>1</sup>  
Cengiz COŞKUN<sup>2</sup>

### Giriş

Veri madenciliği, topraktan faydalı madenleri aramak gibi, ileriye yönelik faydalı, belirli bir amaca uygun bilgileri bulmak için büyük veri kümelerini derinlemesine inceleme işlemidir.

Bu bilgiler daha sonra yeni örnekler hakkında gelecekteki tahminlerde bulunmak için kullanılabilir. Veri madenciliğinin uygulama alanları, teknoloji ve ihtiyaçların gelişmesiyle sürekli büyümektedir. Veri madenciliğinin uygulama alanlarından biri de sağlık sistemleridir. Sağlık sistemleri ile ilgili çeşitli veri setleri vardır (Banu Rahaman S. vd. , 2010). Sağlık sistemlerinde bol miktarda veri olmasına rağmen, genellikle veriler yeterince temiz değildir veya bu verilerle ilgili bilgiler çoğunlukla yetersizdir.

Veri madenciliği için kullanılan birçok farklı algoritmalar vardır. Çok çeşitli alanlarda uygulanması nedeniyle, veri madenciliği teknolojisindeki çalışmalar sürekli olarak devam ediyor, yeni yöntemler geliştiriliyor ve mevcut alanlarda geliştirmeler devam ediyor. Ayrıca matematik, istatistik, enformatik ve bilgisayar bilimi gibi farklı disiplinlerdeki gelişmeler veri madenciliğinde kullanılan yöntemlerin geliştirilmesine yardımcı oluyor.

Veri tabanlarından Bilgi Keşfi olarak bilinen süreç, çok miktarda değişken arasındaki kalıpları ve ilişkileri keşfetmek ve tanımlamak için sağlık araştırmacıları arasında popüler bir analiz yöntemi haline gelmiştir ve elde edilen sonuç gelecekteki herhangi bir değeri tahmin etmenin yolunu açmaktadır.

Bu çalışmada, sağlık verileri üzerinde veri madenciliğinde çeşitli sınıflandırma algoritmalarının bir karşılaştırması yapılmıştır. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi, oluşturulan modelde meydana gelen doğruluk ve hata oranı ile gerçekleşmiştir. Bu çalışma, meydana gelen deneylerin doğruluğuna ve hatasına göre en iyi sınıflandırma yöntemini belirlemede bir öngörü sağlar.

Birçok ücretsiz ve ticari veri madenciliği aracı mevcuttur. Veri madenciliği uygulamalarında genellikle bu araçlar kullanılır. Bu çalışmada WEKA, Tanagra ve Scikit-learn açık kaynak araçları tarafından sağlanan sınıflandırma algoritmaları karşılaştırıldı.

"Veri tabanlarından Bilgi Keşfi" ve "Veri Madenciliği" terimleri birbirinin yerine sıklıkla kullanılır. (Hand D.J. vd. ,2001), veri madenciliğini "büyük veri tabanlarından ilginç bilgileri keşfetme süreci" olarak tanımlar. (Witten vd. ,2000) bunu "verilerden örtük, daha önce bilinmeyen ve potansiyel olarak yararlı bilgilerin çıkarılması" olarak tanımlar.

---

<sup>1</sup> Dr.Öğr.Üyesi Abdullah BAYKAL, Dicle Üniversitesi Fen Fakültesi Matematik Bölümü

<sup>2</sup> Dr.Öğr.Üyesi Cengiz COŞKUN, Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Bölümü

Veri madenciliği araçlarının karşılaştırılmasına ilişkin önceki çalışmalar, çoğunlukla ücretsiz veya az sayıda ticari olarak kullanılabilir yazılımla yapılmıştır. Bu çalışmalarda çoğunlukla kullanıcı dostu, arayüz tasarımına sahip yazılımlar üzerinde çeşitli algoritmalar kullanılmıştır. Verilebilir bir örnek (Elder vd. ,1998) çeşitli ücretsiz ve ticari veri madenciliği yazılımlarının bir karşılaştırmasını sunar.

1994 yılında, altısı akademisyen, diğer altısı endüstriyel araştırmacı olan on iki araştırmacıdan oluşan bir ekip, Avrupa Stat Günlükleri Projesi kapsamında sınıflandırma algoritmaları üzerine bir araştırma yaptı. Bu çalışmanın sonuçları “Machine Learning, Neural and Statistical Classification” adıyla yayımlandı ( Michie vd. ,1994)

(Abdullah H. vd. 2011), araçların çeşitli dinamik örnek veri tabanlarına ve sistem tarafından sağlanan hizmetler, iş hedefleri ve veri işleme ve kullanıcı ara yüzünün diğer özellikleri gibi diğer destekleyici niteliklere dayanan bir karakterizasyon şablonu tasarladı. Yaklaşık 40 veri madenciliği aracı değerlendirildi ve iş hedeflerine ulaşmak genel bir şema önerildi.

(Lin vd. ,2004), öğrencileri seviyelerine göre uygun şekilde üç kategoriye yerleştirmek için Fischer'in diskriminant analizi ve kernel tabanlı diskriminat analizi dahil olmak üzere çeşitli diskriminant teknikleri kullanmıştır. Çapraz doğrulama ile seçilen bant genişliğine sahip çekirdek tabanlı yaklaşımın, öğrencileri seviyelerine göre sınıflandırmak için oldukça iyi performans gösterdiği sonucuna varmışlardır.

Kullanılan algoritmanın başarılılarının büyük ölçüde kullanılan veri kümesine bağlı olduğu yaygın çalışmalardan görülebilir. Bu nedenle, benzer çalışmaların çoğu farklı sonuçlara ulaşabilmektedir.

Veri madenciliği, karar vermeyi iyileştirmek için sağlık alanda kullanılmaktadır. Sağlık sistemlerde en zorluklardan biri, tanı verilerinden anlaşılabilir bilgiler çıkarmaktır

(Gandhi vd. ,2010), meme kanseri veri seti için Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmasını kullanarak sınıflandırma kuralları oluşturmayı önerdi. Oluşturulan kurullarla oluşturulan modelin, temel özellikleri etkin bir şekilde tanımlayan doğruluk oranını elde ettiği bildirildi.

(Manaswini Pradhan vd. ,2011) diyabet hastalarını sınıflandırmak için yapay sinir ağlarına dayalı bir sınıflandırma yöntemi kullanmıştır. Çalışmaları için Pima Indians Diabetes Database'i kullandılar. Hem eğitim hem de test verilerinde 10 kat çapraz doğrulamayı benimsediler.

(Kahramanlı H. vd. ,2009), Yapay Sinir Ağı (YSA) eğitmek için uyarlanabilir bir aktivasyon işlevi kullandı ve ardından karaciğer bozukluğu veri seti için kurullar çıkarmak için yapay bağışıklık Algoritmasını kullandı. Önerileri, tüm girdi özelliklerini dikkate alır ve eğitilmiş sinir ağından verimli bir şekilde kurullar çıkarır.

## Yöntem

Bu çalışma SEER (Surveillance Epidemiology and End Results) veri kaynağı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. SEER, çeşitli kanser türleri hakkında hasta verilerini içeren benzersiz, iyi belgelenmiş, güvenilir bir veri kaynağı olarak bilimsel araştırmalarda önemli bir yere sahiptir. ABD'nin çeşitli eyaletlerinden örnekleri içeren önemli istatistiksel bilgiler Ulusal Kanser Enstitüsü (NCI) tarafından sağlanmaktadır. Her yıl genişleyen SEER, binlerce bilimsel araştırma için verimli bir kaynak olmuştur.

SEER veri tabanı farklı kanser gruplarını içeren ve bilimsel araştırmalarda son derece önemli bir yer tutan, güvenilir, dokümente edilmiş, eşine az rastlanır bir veri kaynağıdır. National Cancer Institute (NCI)'in sağladığı Amerika Birleşik Devletleri'nin belli başlı coğrafi bölgelerini kapsayan, nüfusunun %26'sını ilgilendiren ve bu kanser vakaları hakkında istatistiksel önem taşıyan bilgiler içerir. Yıllık olarak güncellenen bu veri tabanı bilimsel çalışma yapanlara, sağlık sektöründe çalışanlara, halk sağlığı konusunda görevli kurumlara açık bir veri kaynağı olup, binlerce bilimsel çalışmada kaynak olarak kullanılmıştır.

Veri seti, başladığı zaman olan 1973'ten beri metin biçiminde farklı kanser türleri içerir. 118 özelliklerden oluşan büyük bir kaynaktır. Veri toplama başlangıcından bu yana, öznelik kümesi zaman içinde değişmiştir. Bazı kanser türleriyle ilgili bazı özellikler, diğer kanser türleri için geçerli değildir. Bazı özelliklerin zamanla anlamını veya önemini kaybettiği tespit edilmiştir.

Bazı nitelikler daha önceki yıl verilerinde yokken sonraki verilerde eklenmiş, bazı niteliklerin sonraki yıllarda değerleri alınmamış ve bazı nitelikler farklı bir tümör tipinde değer taşıırken bazı tiplerde bir anlam ifade etmediği için değer kullanımdan kaldırılmıştır.

Bu çalışmada, verilerin iyi oluşturulmasına ve iyi belgelenmiş olmasına rağmen, veri madenciliği algoritmalarının uygulanmasından önce bazı ön işlemler yapmak bir gerekliliktir. Bu çalışmada kullanılan set, 118 özellik içerir.

## Verilerin Önceden İşlenişi

Kümedeki öznelikler ayrıntılı olarak analiz edilmiştir ve nitelik azaltma işleminde bütün nitelikler titiz bir şekilde incelenerek, sınıflandırma modeli üzerinde etkisinin az olduğu düşünülen nitelikler elenmiştir. Ayrıca, verilerin analizinde sorunlara neden olabilecek bazı bilgilendirici olmayan veya anlamsız öznelik değerleri aşağıdaki gibi uygun değerlerle değiştirilmiştir:

**Tanıda Yaş:** Bu özellik tanıda hastanın yaşını gösterir ve 000 ile 130 arasında değişen değerlerle 3 karakter uzunluğundadır. "999" değeri hastanın yaşının bilinmediğini gösterir. Bu "999" değerini taşıyan kayıtlar eksik değer ifade etmesi için "?" karakteriyle değiştirilmiştir.

**Bölgesel Düğümler Pozitif:** Sayısal bir öznelik olarak, bu öznelik için en büyük değer 90'dır. 90'ın üzerindeki değerler, özneliği eksik değer olarak temsil etmek için "?" karakteriyle değiştirilmiştir. Zaten 90 üzerindeki kayıtlar "İncelenen düğüm yok", "Bilinmiyor – Uygulanamaz", "lenf incelenmedi" gibi aynı kategoriye konulabilecek anlamlara sahiptir.

**CS Tümör Boyutu:** Bu öznelik 2004'te kümeye dahil edilmişti, bu nedenle 2004'den önce toplanan veriler için yok. Ancak, 2004'den önce toplanan veri kümesinin "EOD-Tümör boyutu" adlı bir özelliği vardır. Böylece 2004 öncesi veriler için EOD-Tümör boyut değerleri CS Tümör Boyutu için değerler olarak alınmıştır. "Bilgi yok" anlamına gelen "989" ve "999" değerlerinin yerini "?" karakteri almıştır. "Maksimum 10mm", "maksimum 20 mm", ..., "maksimum 70mm" anlamına gelen 991, 992, ..., 997 değerleri sırasıyla "010", "020", ..., "070" tarafından yeniden alınmıştır.

**Tümör İşaretçisi:** Bu özelliğin 2004'den sonra hiçbir değeri yoktur. Bu tür değerlerin yerini "Bilinmiyor veya girilmedi" anlamına gelen "9" almıştır.

**RX Summ – Birincil Sitenin Cerrahisi:** Bu özellik için boş değerler "Primer cerrahi yapıldıysa bilinmez" anlamına gelen "99" ile değiştirildi. Benzer anlamlara sahip 10-19 aralığında değerlere sahip kodlar "10" ile, 20-80 aralığındaki kodlar ise "20" değeri ile değiştirilmiştir.

***RX Summ – Bölgesel Lenf Nodu Cerrahisinin Kapsamı:*** Bu özellik için boş değerler "Bilinmiyor/Uygulanamaz" anlamına gelen "0" ile değiştirildi.

***RX Summ - Diğer Sitenin Cerrahi Prosedürü:*** Bu özellik için boş değerler "Bilinmiyor" anlamına gelen "0" ile değiştirildi.

### Sınıfların Atanması

Veri kümesinde hastanın hayatta kalma durumuna dair bir gösterge olmamasına rağmen, hastanın sağkalım durumunu belirleyebileceğimiz ve daha sonra her örnek için bir sınıf değeri atayabileceğimiz Hayatta Kalma Süresi Yeniden Kodlaması “Survival Time Recode - STR”, "Cause of Death to Seer Site Recode - COD" ve "Vital Status Recode – VSR" alanları vardır. (Delen vd. ,2004) STR alanı kullanılır. STR alanına ek olarak, (Bellachia vd. 2006) sınıf değerini atamak için VSR ve COD alanlarını kullanarak atama yapmışlardır.. Bu çalışmada sınıfı, yani kansere bağlı hastaların sağkalım durumunu çıkarmak için aşağıda verilen algoritma çalıştırılmıştır.

```
if (VSR != '1') /* hasta yaşıyor mu? */
{ if ( STR > 60)
Sınıf= '1'; /* Kanserden kurtuldu */
}
else /* canlı değil */
{ if (COD=kanser) /* kansere neden olursa?
Sınıf='2'; /* kanserden kurtulamadı */
}
```

Yukarıdaki algoritmaya göre "1" veya "2" olarak sınıflandırılmamış örnekler yok sayıldı. Denemeler, ön işleme adımından sonra kalan 60948 örnekle gerçekleştirildi.

### Veri Madenciliği Araçları

Bu çalışmada karşılaştırılan veri madenciliği araçları aşağıda verilmiştir.

#### Weka

Weka, Waikato Üniversitesi'nde geliştirilen açık kaynaklı bir veri madenciliği aracıdır. Java tabanlı olup veri madenciliği uygulamaları için makine öğrenimi algoritmaları topluluğudur. Weka, veri ön işleme, sınıflandırma, regresyon, kümeleme, birliktelik kuralları ve görselleştirme için araçlar içerir. Ayrıca yeni makine öğrenimi şemaları geliştirmeyi ve eklemeyi sağlar. Weka, "Waikato Environment for Knowledge Analysis" kısaltmasıdır. Modüler bir tasarıma sahiptir ve verileri önceden işleme, verilerin görselleştirilmesi ve veri madenciliği için büyük ölçekli algoritmalar sağlar. Weka'nın "Attribute-Relation File Format", ARFF adlı kendi ASCII metin dosyası formatı tanımı vardır. Herhangi bir csv dosyasını arff formatına dönüştürmek için bir araç sağlar. Weka, arff, csv

ve C4.5 türündeki dosyaları işleyebilir. Ayrıca Jdbc bağlantısı ile bir veri tabanına bağlanmayı ve veri tabanındaki veriler üzerinde çalışmayı sağlar.

### Tanagra

Tanagra, araştırma ve akademik amaçlar için Lumière Üniversitesi Lyon'da Ricco Rakotomola tarafından geliştirilen veri madenciliği yazılımının ücretsiz bir sürümüdür. Görselleştirme, istatistiksel değer hesaplamaları, örnek seçimi, öznitelik seçimi, öznitelik oluşturma; ve regresyon, kümeleme, faktör analizi, sınıflandırma ve birliktelik kuralları için araçlar sağlar. Kullanıcı diyagramlar yardımıyla bir veri madenciliği sürecini görsel olarak tasarlayabilir. Diyagramdaki her düğüm ya bir istatistiksel ya da makine öğrenimi algoritmasıdır ve iki düğüm arasındaki bağlantı veri akışını temsil eder. Tanagra, txt, xls, arff ve dat uzantılı dosyaların kullanılmasına izin verir. Sonuçlar html formatında görüntülenebilir, bu nedenle sonuçları herhangi bir web tarayıcıda görüntülemek kolaydır.

### Scikit-learn

Scikit-learn, makine öğreniminde en çok kullanılan python kitaplıklarından biridir. Anaconda ve WinPython ile birlikte gelir ve lineer regresyon, lojistik regresyon, karar ağaçları, rastgele ormanlar gibi birçok yöntemi içerir. Python paketini kendi web sitesinden indirmek mümkündür. Scikit-learn, veri madenciliği algoritmalarının çoğunu içerir ve veri analizi için araçlar sağlar. Veri temizleme, öznitelik seçimi, çapraz doğrulama ve sonuç yorumlama için modüller sağlayarak ekstra araçlara olan ihtiyacı azaltır..

### Deneysel Analiz

Bu çalışmada Weka, Tanagra ve Scikit-learn gibi veri madenciliği araçları kullanıldı. Sonuçların yorumlanmasında test sonuçlarının doğruluğu ve hata oranı kullanılmıştır. Bir veri kümesinin sınıflandırma testinde doğruluk için yüksek bir değer ve hata oranı için düşük bir değer, modelin başarısını gösterir.

Çalışma için veriler eğitim ve test için iki bölüme ayrıldı. Sınıflandırma modelini oluşturmak için eğitim kümesi kullanıldı. Verilerin %66'sını eğitim kümesi ve geri kalan %34 ise test kümesi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan veri kümesinin açıklaması Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1: Veri Kümesi Tanımı**

Öznitelik	Örnek Sayısı	Sınıf Sayısı
7	60948	2

### Weka Uygulama Sonuçları

Weka ile elde edilen sonuçlar Tablo 2'de, Weka'nın sonuç ekranı ise Şekil 1'de verilmiştir. Weka ile elde edilen en iyi sonuç% 85.44 doğrulukla KStar ile elde edilirken, onu% 84.23 doğrulukla

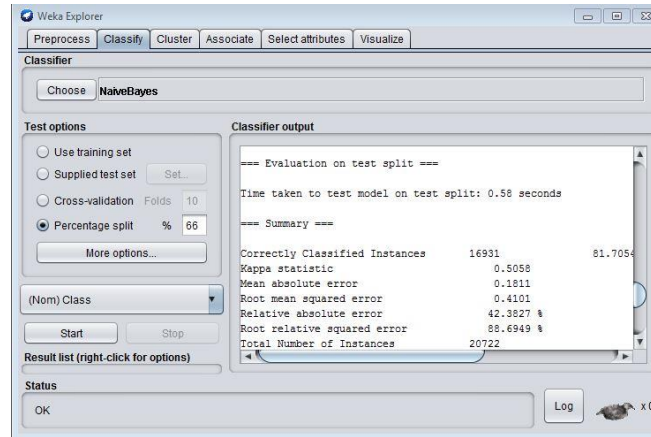


J48 algoritması takip ediyor. Bu sonuçları daha sonra %71,64 doğruluk oranıyla 1Bk algoritması izledi.

Tablo 2: Weka'da elde edilen sonuçlar

Algoritma	Doğruluk Oranı	Hata Oranı
Naive Bayes	81.70	18.30
J48	84.23	15.77
Random Tree	81.64	18.36
KStar	85.44	14.56
Lojistik	81.57	18.43
SMO	81.02	18.98
IBk	71.64	28.36

şekil 1: Weka Sonuç Ekranı



### Scikit-learn Uygulama Sonuçları

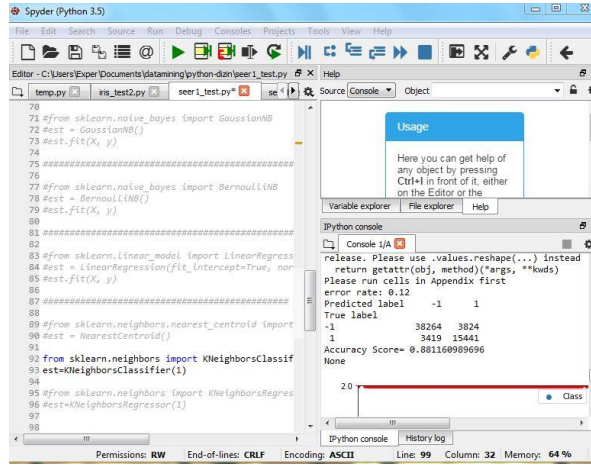
Modelleri Scikit-learn ile oluşturmak için bir python programı uygulanmıştır (şekil 2) ve modeller bu program kullanılarak oluşturulmuştur.

Tablo 3'te de görülebileceği üzere Scikit-learn ile elde edilen en iyi sonuç %91,84 doğrulukla Decision Tree Classifier algoritması ile elde edilmiş ve en kötü sonuç %68,15 doğruluk oranı ile Nearest Centroid algoritması ile elde edilmiştir. KNeighbors sınıflandırma algoritması ile doğruluğun artan k değerleri ile azaldığı da gözlemlendi.

Tablo 3: Scikit-learn sonuçları

Algoritma	Doğruluk Oranı	Hata Oranı
Decision Tree Classifier	91.84	8.16
Naive Bayes GaussianNB	81.06	18.94
Naive Bayes BernoulliNB	81.94	18.06
Linear Regression	80.46	19.14
Nearest Centroid	68.15	31.85
KNeighbors Classifier(k=1)	88.11	11.89
KNeighbors Classifier(k=2)	86.87	13.13

şekil 2:Scikit-learn Sonuç Ekranı



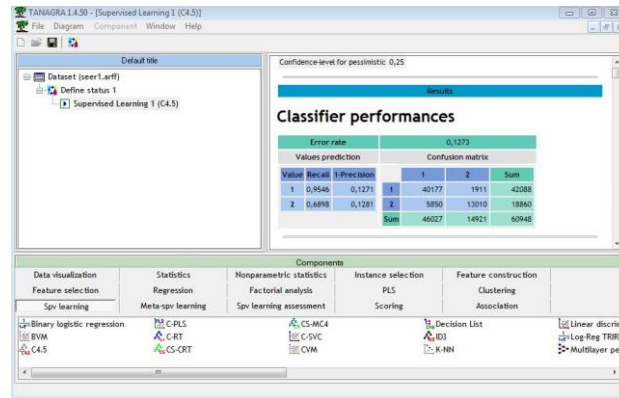
### Tanagra Uygulama Sonuçları

Tablo 4'te de görülebileceği gibi, Tanagra ile en iyi sonuç 87.75 doğrulukla Rnd algoritması ile elde edildi ve en kötü sonuç % 80.51 doğrulukla Naive Bayes Algoritması ile oldu. Tanagra'nın sonuç ekranı şekil 3'te verilmiştir.

Tablo 4: Tanagra'dan Sonuçlar

Algoritma	Doğruluk Oranı	Hata Oranı
C4.5	87.26	12.74
ID3	83.52	16.48
Naive Bayes	80.51	19.49
kNN	86.62	13.38
Rnd Ağacı	87.75	12.25
Lojistik Reg.	82.05	17.95
Linear dis analysis	81.45	18.55

Şekil 3: Tanagra Sonuç Ekranı



## Sonuç

Bu çalışmadaki deneyler SEER veri kümesinden alınan 60948 örnek üzerinde gerçekleşmiştir. Weka, Tanagra ve Scikit-learn'de aynı bilgisayarda yedi sınıflandırma algoritması çalıştırıldı.

Tablo 5: Uygulamalardan elde edilen en iyi sonuçlar

Program	Algoritma	Doğruluk Oranı
Scikit-learn	Decision Tree	91.84
Tanagra	Rnd Tree	87.75
Weka	KStar	85.44

Tablo 5'ten de görülebileceği gibi elde edilen en iyi sonuç 91.84 doğruluk oranıyla Decision Tree Algoritması ile Scikit-learn aracı ile yapılan testin sonucuydu Bunu Tanagra ve ardından Weka takip etmiştir..

Bu çalışmada karşılaştırıldığında üç araç arasında, Scikit-learn en iyi sonuç verdiği görülmektedir. Ancak, modelleri oluşturmak için Python programlama becerileri gerektirdiğinden, bu aracın kullanımı görsel ara yüzler sağlayan diğer ikisine kıyasla biraz daha kullanımı zordur.

Bu çalışmanın bir sonucu olarak, Scikit-learn yazılımının karşılaştırıldığında üç araç arasında iyi bir alternatif olduğu söylenebilir.

## Kaynakça

- Abdullah H. Wahbeh, Qasem A. Al-Radaideh, Mohammed N. Al-Kabi, and Emad M. Al-Shawakfa., (2011). “A Comparison study between data mining tools with some classification methods”, International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), Special Issue on Artificial Intelligence
- Banu Rahaman S. , Shashi M., (2010). “Sequential mining equips e-Health with knowledge for managing diabetes,” 4th International Conference on New Trends in Information Science and Service Science (NISS) , pp.65-71.
- Delen, D. ; Walker, G. ; Kadam, A.(2004 ). *Predicting breast cancer survivability:a comparison of three data mining methods*; Artificial Intelligence in Medicine, Vol 34, issue 2 ; 113-127.
- Elder, J. F. , Abbot, D. W.(1998). A Comparison of Leading Data Mining Tools; Fourth International Conference on Knowledge Discovery& Data Mining, New York.
- Gandhi Rajiv K., Karnan Marcus and Kannan S.,(2010). “Classification rule construction using particle swarm optimization algorithm for breast cancer datasets,” Signal Acquisition and Processing. ICSAP, International Conference, pp. 233 – 237.
- Hand D.J., Mannila H., Smyth P. (2001). Principles of data mining, MIT Press, Boston,MA.,USA.
- Kahramanli Humar and Allahverdi Novruz,(2009). “Mining Classification Rules for Liver Disorders”, International Journal of Mathematics and Computers in Simulation, vol. 3.
- Lin, M. , Huang, S. ; Chang, Y.(2004). Kernel-based discriminant technique for educational placement; Journal of Educational and Behavioral Statistics, Vol 29; 219-240
- Manaswini Pradhan and Dr. Ranjit Kumar Sahu,(2011). “Predict the onset of diabetes disease using Artificial Neural Network (ANN)”, International Journal of Computer Science & Emerging Technologies (E-ISSN: 2044-6004), pp.303 -311, vol. 2, iss. 2.
- Michie, D. , Spiegelhalter, D. J.(1994).Machine Learning, Neural and Statistical Classification; Taylor, C. C. ; Prentice Hall,
- Witten, I. H., Frank, E.(2000). Data mining: Practical machine learning tools and techniques with Java implementations. Morgan Kaufmann, San Francisco, CA. USA, 371 pp.

## Yapıştırıcılar ve Yapıştırıcıların Genel Özellikleri

Nürettin AKÇAKALE<sup>1</sup>

### 1.Giriş

İkinci Dünya Savaşından günümüze kadar, pek çok sektörde olduğu gibi kimya ve malzeme sanayinde de büyük gelişmeler meydana gelmiştir. Bu gelişmelere paralel olarak, polimerler ve elastomerlerde de aynı hızda gelişmeler olmuş, değişik tür ve çeşitte polimer çeşitleri üretilmiş, demir, seramik, cam, ağaç, kâğıt, deri ve tekstil gibi malzemelerin yerine alternatif malzeme olarak polimer ve elastomer esaslı malzemeler kullanılmaya başlamıştır. Polimerlerin yapışkanlık özellikleri dikkate alınarak, endüstriyel amaçlı yeni ve kuvvetli yapıştırıcılar üretilerek bu alanda büyük ilerlemeler sağlanmıştır.

Yapıştırma işleminde iki parçanın birleştirme görevi yapan, genellikle sentetik esaslı bir kimyasal ile yapılan çözülemeyen bir bağlantıdır.

Yapıştırılacak parçalar arasında çok ince bir tabaka oluşturan yapıştırıcı, çok defa kimyasal reaksiyonlar sonucunda makro moleküller oluşumu ile sertleşir.

Yapışma olayı, yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme arasında meydana gelen adhezyon ve yapıştırıcının kendi içinde meydana gelen kohezyon kuvvetleri neticesinde oluşan fiziksel ve kimyasal bir olaydır.

Yapıştırıcı gerek kendi iç mukavemeti (kohezyon direnci) ve gerekse parça yüzeylerine yapışması (adezyon direnci) ile etkiyen dış kuvvetlerin karşılanmasını sağlar.

Bu çalışmada; yapıştırıcı teknolojisi temelleri ele alınarak yapıştırıcılar, yapışma mekanizması ve yapıştırıcı mühendisliğinde kullanılan terimler ve yapıştırıcı çeşitleri hakkında temel bilgiler verilmeye çalışılmıştır.

### 2.Yapıştırıcılar

Endüstride birleştirme hakkında bilimsel çalışmalar oldukça yenidir. Birleştirme maddelerini inceleyen bilim dalına zigoloji adı verilmektedir. Zigoloji; dikme, çivileme, perçinleme, vidalama, kaynak yapma, yapıştırma gibi mekanik, termik ve kimyasal yöntemler ile birleştirme olayını inceleyen bilim dalıdır.

Malzemelerin ek yerlerinin birleştirilmesinde çok farklı yöntemler kullanılmaktadır. Dikme, çivileme, zımbalama, perçinleme, mandallama bu birleştirmeyi sağlayan mekanik bağlama yöntemleridir. Son yıllarda endüstrinin pek çok alanında mekanik bağlanmaların yanında ek yerlerinin birleştirilmesinde yapıştırma yöntemleri de çok sıkça kullanılmaktadır. Son yıllarda yapıştırıcı formülasyonundaki gelişmeler ile yapıştırıcıların endüstride kullanımını giderek artmaktadır.

---

<sup>1</sup> Doç. Dr., Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Gerede Meslek Yüksekokulu, Orcid ID: 0000-0002-2038-3294

Yapıştırıcı madde ile birleştirme; vidalama, çivileme ve dikmedeki derin bağlanmanın aksine bir yüzey bağlanması şeklindedir. Bu sebeple birleştirilecek olan malzemelerin yüzey özellikleri yapışma dayanımının kalitesi açısından önemlidir.

Üretim tekniklerindeki ve kimya sektöründeki gelişmelere paralel olarak farklı kullanıma sahip pek çok yapıştırıcı madde çeşidini ortaya çıkarmıştır. Piyasada kolaylıkla bulunabilen bu maddeler yardımıyla bir yandan sağlam ve hızlı üretimler yapılmakta diğer yandan ise alternatif yapıştırıcı madde üretimleri için hammadde geliştirmeleri söz konusu olmakta ve her geçen gün yeni yapıştırıcı türleri ortaya çıkmaktadır.

Yapıştırıcılar konusu oldukça önemli ve çok geniş bir konudur. Konunun daha iyi anlaşılabilmesi için öncelikle yapışma ile ilgili bazı sözcükleri kısaca tarif etmek gerekir.

Yapıştırıcı madde; aynı veya ayrı türdeki malzemelerin adhezyon ve kohezyon esasına dayalı olarak birleştirilmesinde kullanılan kimyasal maddelerdir.

Yapışma; yapıştırıcı maddelerin kullanımı vasıtasıyla ek yerlerinin birleştirilmesidir.

Yapışma Yüzeyi; ek yerlerinin yapıştırılma yüzeyidir.

Bağlanma; yapıştırıcı maddenin kurutma, soğutma veya kimyasal reaksiyonlar vasıtasıyla katılmasıdır.

DIN 16920'ye göre yapıştırıcı tanımı "Ek yerleri; yüzey yapışması (adhezyon) ve çekme dayanımı (kohezyon) yardımıyla birleştiren metal olmayan maddelerdir" şeklinde yapılmaktadır.

## **2.1.Kimyasal Yapışma**

Birbirine tutturulacak olan yüzeyler ile yapıştırıcı arasında kimyasal bir bağlanma sağlanır. Bu yüzden yapıştırıcı maddenin yapıştırılacak materyallere nüfuz etmesi gerekmez. Bu bağlanma türünün bir örneği termoplastik kauçuk tabanın (TR) tatbik edilirse kolaylıkla ayrılabilir. Termoplastik kauçuğun (TR) poliüretan yapıştırıcı ile bağdaşmasını temin etmek için halojenasyon (aktivasyon) denen bir ön işlem gerekmektedir. Ancak böylelikle kimyasal bir bağlanma oluşturulabilir.

## **2.2.Fiziksel Yapışma**

Yapıştırıcının yapıştırılmak istenen malzemelerin yapısına veya lifleri arasına girdiği ve kenetlendiği bir fiziksel bağlanma söz konusudur. Bu tür yapışma bu sebeple sadece yüzeyi gözenekli malzemelere uygulanır. Örneğin; deri, kumaş vb. fiziksel yapışmada yapıştırıcı içindeki çözücü (inceltici) buharlaştığında malzeme ile kenetlenmiş olur. Oluşturulan bu birleşme yapıştırıcı veya malzemenin yüzeyine fiziksel bir zarar vermeden ortadan kaldırılamaz. Bu yapıştırma türü yaygın bir şekilde kullanılır ve bağlaması istenen yüzeylerin her ikisine de sürülür. Sağlam bir bağlanma oluşturmak için yapıştırıcıdan her iki yüzeyde yeteri kadar bulunması gerekir. Aksi takdirde yüzey üzerinde yapıştırıcı az kalır ve hatalı zayıf bir birleşme ortaya çıkar.

## **3.Yapıştırıcı Maddelerin Yapıları**

Yapıştırıcı malzemeler; bünyelerinde bağlayıcı maddeler, çözücü maddeler ve çeşitli katkı maddelerini bulundururlar.

### 3.1.Bağlayıcı Maddeler

Bağlayıcı maddeler ek yerlerinin fiziksel ve kimyasal olarak bir arada tutulmasında etkili olan maddelerdir. Burada büyük oranda polimerler diğer bir deyişle sentetik ve doğal polimer maddeler kullanılmaktadır.

### 3.2.Çözücü Maddeler

Bağlayıcı maddelerin kimyasal yapısında bir değişiklik meydana getirmeden çözen sıvılardır. Bunlar sadece yapıştırıcı madde üretiminde kullanılmazlar. Lak, suni ipek üretimi, ayakkabı boyası ve cilası üretimi gibi alanlarda da kullanılırlar.

Yapıştırıcılarda çözücü madde olarak en çok aseton, asetat, benzin, toluol, metiletiketon, etilasetat, metil metilenklorid, vb. kullanılmaktadır.

Günümüzde kullanılan hemen tüm yapıştırıcı türlerinde büyük oranda çözücü maddeler ihtiva etmektedir. Ancak çözücü (solvent bazlı) ihtiva eden yapıştırıcılar gerek sağlık açısından gerekse çözücü maddelerin yanma ve alevlenme özelliklerinin yüksek olması nedeniyle birçok problemi beraberinde getirmektedir. Son yıllarda bu yüzden kullanılan çözücü içerikli ürünlerin yerine çözücü içermeyen su bazlı ürünlerin kullanımı yönünde çalışmalar hızla devam etmektedir. Dispersiyon yapıştırıcılarda çözücü olarak su kullanılmaktadır. Termoplastik yapıştırıcılarda ise bağlayıcı madde sıcaklık yardımıyla kullanılabilir hale getirilmektedir.

### 3.3.Katkı Maddeleri

Genellikle yapıştırıcılara kuruma süresinin kısaltılması, viskozitenin artırılması, çatlamların önlenmesi ve bu gibi özellikleri sağlamak amacıyla ilave edilen maddelerdir. Bu katkı maddelerinin bazıları; reçineler, yumuşatıcılar, mumlar (vakslar), metal tuzları, boyar maddeler, dolgu maddeleri ve çapraz bağ oluşumunu sağlayan maddeler vb. dir.

## 4.Yapıştırma İşleminin Mekanizması

Yapıştırma işlemi iki faktöre bağlıdır. Bu faktörlerin birincisi; birleştirilecek veya yapıştırılacak malzemelerin yüzeylerine yapıştırıcı maddelerin bağlanması (adhezyon), ikincisi ise; bağlayıcı madde filminin birbirine bağlanması (kohezyon) yani moleküller arası çekim kuvvetidir. Burada tarif edilen adhezyon ve kohezyon kuvvetleri yapıştırarak birleştirmede beraber rol oynarlar.

Yapışmanın doğasını daha iyi anlayabilmek için adhezyon ve kohezyon kuvvetlerini daha iyi anlamak gerekir.

Adhezyon; yapıştırılan materyalin yüzeyi ile yapıştırıcı arasındaki bağlanma kuvvetinin meydana gelmesi ve gelişmesidir. Yapıştırıcı madde moleküllerinde ortaya çıkan kuvvetler sonucu bir yakınlaşma söz konusu oluyorsa; yapıştırılacak maddeler birbirlerine yapışırlar. Buna da kohezyon denir.

Yapıştırılmak istenen maddenin yüzeyleri tamamen düz değildir. Bu maddelerin yüzey şekilleri büyütülmüş görünüşleriyle incelenecek olursa girinti ve çıkıntılardan ibaret olduğu anlaşılır. Yapıştırıcı maddenin bir görevi de düz olmayan bu yüzeyler arasında köprü ve dolgu oluşturmaktır. Yani yapıştırıcı madde yapıştırılacak malzeme yüzeyinde bulunan yükseklik ve çukurluklarını düzeltici yani dengeleyici özellikte olması gerekir.



#### 4.1.Yapışma

Yapışma, iki yüzey arasında oluşan bağlar vasıtasıyla malzemelerin birbirini çekmesi ve tutması olarak tarif edilebilir. Yapıştırıcı ile malzemelerin temas eden yüzeyleri arasında bir güç oluşmaktadır. Oluşan bu güçleri kimyasal ve fiziksel bağlar şeklinde açıklamak mümkündür. Kimyasal bağlanma; yapıştırıcı molekülleri ile yapıştırılacak malzemenin molekülleri arasındaki bağlardan oluşur. Yapıştırıcı ve malzeme arasında meydana gelen bağ yapışmadan kaynaklanmaktadır ve “Adhezyon” olarak adlandırılır.

İki yüzeyi birbirine birleştiren yapıştırıcının kendi molekülleri arasında da bir çekme gücü bulunmaktadır. Yapıştırıcı moleküllerini, dışarıdan uygulanan kuvvetler karşısında kopmadan bir arada tutan ve iki parçayı veya yüzeyi yapıştırarak bir arada kalmalarını sağlayan yapıştırıcının molekülleri arasındaki güç ise “Kohezyon” olarak adlandırılır.

Yapıştırılan ve yapıştırıcının yapıldığı maddeler ve özellikleri yapışmada büyük önem taşımaktadır. Yapışmada etken olan bazı özellikler şunlardır:

- a) Yapıştırılan yüzeyin gözenekli olup olmadığı veya düzgünlüğü
- b) Yapıştırıcının özellikleri
- c) Yapıştırılan yüzeyin ve yapıştırıcının yapısı
- d) Yapıştırıcının molekül ağırlığı ve yapısı
- e) Yapıştırıcının kurumasi, sertleşmesi ve yapışmanın oluşmasını sağlayan kimyasal reaksiyonlar

Kösele, deri, suni deri ve ağaç gibi malzemelerin yüzeyleri pürüzlüdür ve bazı küçük kılcal deliklere ve boşluklara sahiptirler. Pürüzlü olan yüzeylerin üst üste konup bastırılmasıyla pürüzlerden dolayı hava boşlukları kaldığı görülür ve bu yapışmayı engelleyen bir durumdur. Ancak malzeme olarak sunta ve kontrplak kullanıldığında bu malzemelerin yüzeylerinin pürüzlü olması yapışmayı kolaylaştırır. Örneğin; ahşap gibi yüzeyin çok pürüzlü olması durumunda yapıştırıcı kullanımı artar. Bu nedenle yapıştırıcı tüketimini azaltmak ve kuvvetli bir yapışma sağlamak için yapıştırıcının ince bir film tabakası halinde uygulanması daha uygundur.

Yapıştırılacak her malzemenin görünen bir geometrik yüzeyi vardır. Gerçek yüzey ise yapıştırıcının etkili olduğu, yüzeyleri kapladığı ve ıslattığı kullanılacak yapıştırıcı miktarını etkileyen yüzeydir. Gerçek yüzey geometrik yüzeyden fazladır ve bu fazlalık yüzeyin düzgün olmamasından kaynaklanır. Yapıştırıcı bazen yüzeydeki boşlukları ve gözenekleri dolduramaz. Bunda yapıştırıcının akıcılığı ve yüzey gerilimi gibi özellikleri etkili olmaktadır.

Sağlam ve kuvvetli bir yapışma için yapıştırıcılarda olması gereken özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- a) Yapıştırıcının doğru viskozitede olması
- b) Tüm yüzeye yayılmayı sağlayacak yüzey gerilimine sahip olması
- c) Yapışmanın geç veya erken olmaması
- d) Büzülmenin az olması veya hiç olmaması

- e) Yapıştırılan parça veya yüzey ile kimyasal reaksiyona girmemesi
- f) Yapışmanın kuvvetli olması
- g) Yüzeyden sıyrarak alınması veya yapıştırılan parçayı ayırmak gerektiğinde yüzeyde iz bırakmaması ve yüzeye zarar vermeden ayrılması
- h) Atmosferik şartlara dayanıklı olması ve zamanla renginin solmaması

Genel olarak yapıştırıcıların düşük viskozitede olmaları beklenmektedir. Viskozitesi yüksek olan yapıştırıcıların akarak yayılmaları zordur. Bu nedenle yapıştırıcının viskozitesini düşürmek ve yapıştırıcının solüsyon veya akıcı bir sıvı haline getirilmesi gerekmektedir. Yapıştırıcının viskozitesini düşürmek ve gerekli akıcılığı elde etmek ısı ve çözücülerin katkısıyla mümkündür.

Viskozitenin düşük olması, yapıştırıcıyı meydana getiren polimerin molekül ağırlığının veya molekül ağırlığı dağılımının düşük olmasını gerektirir. Yapıştırıcının viskozitesi, yapışmada rolü üstlenen polimerik maddenin molekül ağırlığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yüksek viskoziteli, yapıştırıcılarla daha mükemmel ve sağlam yapışma elde edilmektedir. Molekül ağırlığı yüksek olan yapıştırıcıların viskozitesi ve yapıştırıcı molekülleri arasındaki çekme gücü de (kohezyon) yüksektir. Bu nedenle yapışma ile elde edilen sonuç da oldukça kuvvetlidir. Molekül ağırlığının yüksek olması kohezyon gücünün de kuvvetli olmasını gerektirir. Ancak molekül ağırlığı yüksek olan her polimer ile kuvvetli bir yapıştırıcı elde edileceğini söylemek mümkün değildir. Düşük, orta ve yüksek molekül ağırlıklarına sahip polimerlerle yapılan yapıştırıcılarla kuvvetli bir yapışma sağlanabilir. Ancak yapıştırıcıdan kuvvetli kohezyon ve adhezyon gücü istenmektedir. Bu durum, viskozitesi yüksek, dolayısıyla molekül ağırlığı yüksek olan hotmelt gibi veya kimyasal reaksiyonlarla yapışmayı sağlayan yapıştırıcılarla daha mükemmel olarak sağlanmaktadır.

Yapıştırıcılar, polimerik madde veya maddelerin karışımından meydana gelmektedir. Çok az polimerik madde tek başına kendinden istenen yapışmayı sağlamaktadır. Yapıştırmadan sorumlu olan maddelerin büyük bir bölümünü özellikleri diğer organik ve inorganik maddelerin özelliklerinden farklı bulunan doğal ve sentetik polimerler oluşturmaktadır. Polimerlerle organik ve inorganik maddeler arasındaki en belirgin fark molekül ağırlığından kaynaklanan farktır. Organik ve inorganik maddelerin molekül ağırlıkları düşüktür ve molekül ağırlıkları kesin olarak bilinmektedir. Oysa polimerik maddelerin kesin bir molekül ağırlıkları mevcut değildir. Kesin bir molekül ağırlığı yerine molekül ağırlığı aralığı kullanılmaktadır ve molekül ağırlıkları çok yüksektir. Polimerin molekül ağırlığını, polimeri oluşturan monomer veya monomerlerin molekül sayısı, bir zincirin halkasında olduğu gibi zincir uzunluğu tespit etmektedir. Bu nedenle polimerlerde tek bir molekül ağırlığından bahsetmek yerine molekül ağırlığı aralığı tanımı kullanılmaktadır.

Sentetik polimerler, homopolimer ve kopolimer olmak üzere iki şekilde tanımlanmaktadır. Homopolimerler tek bir monomerden, kopolimer birden fazla farklı monomerin polimerizasyonu sonucu elde edilmektedir.

Polimerizasyon, monomerlerin birleşerek ve birbirlerine bağlanarak daha büyük bir molekül oluşturdukları kimyasal reaksiyondur. Farklı polimerizasyon reaksiyonları bulunmaktadır. Bunlardan poliadisyon (katılma-zincirleme) ve polikondensasyon polimerizasyonu polimerizasyon reaksiyonları içerisinde en çok bilinenleridir.

Poliadisyon polimerizasyonu meydana gelen polimerler tek bir monomerden oluşmaktadır ve monomer moleküllerinin birbirlerine eklenmesiyle homopolimerler elde edilmektedir. Polietilen, polistiren, polipropilen ve PVC gibi polimerler poliadisyon polimerizasyonu ile elde edilen polimerlerin en önemlileridir.

Kondensasyon polimerizasyonunda, farklı monomer karışımlarının reaksiyonu sonucu oluşan polimerin formülasyonunda, reaksiyona giren monomerlerin formülüne benzemeyen farklı bir ürün elde edilmektedir. Naylon, poliester, poliüretan ve selüloz gibi ürünler polikondensasyon polimerizasyonu ile elde edilen polimerlerdir.

Yapıştırıcıların bazıları, polimerlerin elde edilmesinde olduğu gibi, polimerizasyon reaksiyonları sonucu elde edilmektedir. Polimerizasyonda, polimeri oluşturan monomerler, reaksiyonu başlatıcı olarak kullanılan maddeler, katalist ve diğer maddelerin yardımıyla, reaksiyona girerek daha büyük molekül ağırlığına sahip polimerler meydana getirmektedir. Polikondensasyon reaksiyonunda, monomerler birbirlerine eklenerek yapıştırıcıyı oluştururlar ve reaksiyon sonunda, su ve alkol gibi molekül ağırlığı düşük olan maddeler yoğunlaşarak sistemden ayrılırlar. Poliadiyon polimerizasyon reaksiyonunda, aynı monomer moleküllerinin uç uca eklenmesiyle oluşur, büyür ve yapıştırıcı elde edilir. Yapıştırmanın diğer birleştirme yöntemlerine göre avantajları aşağıda verilmiştir. Bunlar;

- a) Yapıştırıcıların uygulanması kolay ve ucuzdur.
- b) Bağlanacak malzemede delik, çentik vb. olmadığı için gerilme yığılması olmaz.
- c) Isıl bir işlem içermediği için artık gerilmeler olmaz.
- d) Hemen tüm malzemelere uygulanabilir.
- e) Çok ince veya kalın parçalara aynı kolaylıkla tatbik edilebilir.
- f) Gerilmeler her noktada yaklaşık aynı olduğundan, sürekli mukavemet altında yorulma hasarı riski düşüktür.
- g) Yüzeyler arasında aynı zamanda sızdırmazlık sağlanır.
- h) Boşluklar kolayca doldurulduğundan aralık ve galvanik korozyon riski olmaz.
- i) Yüzeyler arası yapıştırıcı dolacağı için hassas tolerans vermeye gerek kalmaz.
- j) Yapıştırıcıların iyi sönüm ve yalıtım özellikleri vardır.
- k) Mukavemet/ağırlık oranı son derece uygundur.

Bütün bu avantajların yanında yapıştırmanın diğer birleştirme yöntemlerine göre bazı dezavantajları vardır. Bunlar;

- a) Çalışma sıcaklığı arttığında (80-120 °C) mukavemet düşer. (Yeni nesil yapıştırıcılarla sınır çalışma sıcaklığı değeri 450 °C' ye kadar çıkmıştır.)
- b) İyi bir yapıştırma için yapıştırıcı sürülecek yüzeylerin temizlenmesine özen ve dikkat gerektirir.
- c) Çekme ve eğilme tipi zorlanmalara karşı mukavemeti iyi değildir.
- d) Bazı yapıştırıcılarda sertleşme (kür) süresi uzundur.
- e) Viskoelastik özellikli malzemeler olduklarından zaman içinde yaşlanma ve sürünme (creep) olayları gözlenebilir.

- f) Kritik uygulamalar için çok karmaşık gerilme analizleri yapmak gerekir.
- g) Tahribatsız muayene ile kontrolleri kolay değildir.
- h) Bağlantının ömrü atmosferik ve çevre şartlarından etkilenir.
- i) Yapıştırıcılar bazı solventlere karşı dayanıksız.

## 5.Genel Yapıştırıcı Formülasyonu

Yapıştırıcılar, organik maddeler, polimerik maddeler ve inorganik esaslı maddelerin karışımından meydana gelmektedir. Ancak yapışmayı organik ve polimerik maddeler sağlar. İstenilen yapışma bir polimerik madde ile elde edilebiliyorsa ve yapıştırıcıdan istenen özellikleri bu madde sağlayabiliyorsa, daha fazla madde kullanımına ihtiyaç yoktur. Genel olarak bir yapıştırıcıda bulunması gereken önemli maddeler şunlardır:

- a) Polimerik maddeler
- b) Katalist, sertleştirici, pişirme ajanları
- c) Yapışmayı arttırıcı maddeler
- d) Çözücü, seyrelticiler
- e) Reaksiyonu hızlandıran, yavaşlatan ve geciktiren maddeler
- f) Modifiye eden maddeler, dolgu maddeleri, plastifayanlar, uzatıcı, antioksidantlar vb.

Polimerin eksik taraflarını tamamlayan ve yapışmayı geliştiren maddelerden olan katalistlere sertleştiriciler polimerik maddelerin sertleşerek, çapraz bağlanarak yapışmayı gerçekleştirmelerini kolaylaştırırlar. Katalistlerin kendileri reaksiyona girmeksizin kür ajanı olarak (termosetlerde olduğu gibi) kür süresini kısaltmak, reçinelerin çapraz bağlanmalarını hızlandırmak amacıyla kullanılırlar. Katalist olarak asitler, bazlar, tuzlar, kükürt ve kükürlü bileşikler, peroksitler kullanılmaktadır. Sertleştiriciler küring işlemini artırmak amacıyla kullanılırlar ve kimyasal reaksiyon sonunda yapıştırıcının bir parçası olurlar. Sertleştiricinin ve katalistin formülasyona katılan polimere oranı, yapıştırıcının ve sağlanan yapışmanın özelliklerini etkilemektedir. Formülasyona katılan katalistin gerekenden az veya çok olmasına bağlı olarak yapışma zayıf ve kuvvetli olmaktadır.

Yapıştırıcıların büyük bir çoğunluğunda çözücüler kullanılmaktadır. Viskozite yapıştırıcının en önemli özelliklerinden biridir. Yapıştırıcıların kolay uygulanması ve yapıştırmadan sorumlu ana maddenin yapıştırılacak yüzeyin her bölgesinde eşit miktarda bulunması bazı yapıştırıcılarda formülasyonlara katılan çözücüler ve seyrelticilerle mümkün olmaktadır. Viskozitenin ayarlanması çözücülerle olduğu gibi sıvı halde olan reçinelerle de mümkündür.

Yapıştırıcının uygulanacağı yere, yapıştırıcının türüne ve yapışmayı sağlayan maddelerin cinsine bağlı olarak reaksiyonu hızlandırıcılar, reaksiyonu yavaşlatan veya önleyen maddeler, dolgu ve katkı maddeleri, seyrelticiler, plastifiyan, antioksidant ve stabilizatörler kullanılmaktadır.

Yapışma reaksiyonu hızlandıran, yavaşlatan veya durduran maddeler kür işlemini etkileyen maddelerdir. Hızlandırıcılar ve yavaşlatıcılar ile reaksiyonun hızını kontrol edilir. Reaksiyonun durdurulması için sisteme inhibitör adı verilen reaksiyonu durduran, reaksiyonu engelleyen maddeler katılmaktadır. Yapıştırıcıya ilave edilen katkı maddeleri yapıştırıcının kullanımı sırasındaki

özelliklerini belirlerler. Modifiye edici maddeler olan dolgu maddeleri, plastifiyanlar, antioksidant ve stabilizatörler plastiklerde olduğu gibi yapıştırıcılarda da her biri ayrı amaç için kullanılan maddelerdir.

Plastifiyanlar yapıştırıcılara yumuşaklık kazandırarak kırılma olmalarını engellemektedir. Antioksidantlar oksijene, ısı ve ultraviyole stabilizatörleri yapıştırıcıyı ısıya ve ultraviyole ışınlarına karşı koruyarak daha uzun ömürlü olmalarını ve yapışkanlıklarını uzun süre sürdürmelerini sağlamaktadır.

Sıcaklık yapıştırıcıların uygulanmasında en önemli faktördür. Sıcaklığın yapıştırıcı üzerine etkisi aşağıda maddeler halinde verilmiştir. Bunlar;

- a) Yüksek ısı sıvı hale gelen yapıştırıcının viskozitesini düşürür.
- b) Yapıştırıcı bünyesinde bulunan çözücü maddelerin buharlaşarak sistemden ayrılmasını sağlar.
- c) Termoset türü plastiklerde olduğu gibi reçinenin pişmesini ve yapıştırmasını sağlar.
- d) Çözücü içermeyen katı halde olan yapıştırıcıyı eriterek yüzeye yayılmasını sağlar.

## 5.1.Yapıştırıcılarda Kullanılan Polimerik Maddeler

Yapıştırıcılarda kullanılan polimerik maddeleri doğal maddelerden yapılan yapıştırıcılar, termoplastikler, termosetler, elastomerler (kauçuklar) ve polimerik karışımlar olarak beş başlık altında incelemek mümkündür.

### 5.1.1.Doğal Maddelerden Yapılan Yapıştırıcılar

Doğal kaynaklı organik maddeler yapıştırıcı formülasyonunda kazein, nişasta, dekstrin, balık ve diğer hayvansal maddelerden elde edilen maddeler, rosin, mumlar, çam sakızı gibi maddeler kullanılmaktadır. Bu maddelerin çoğunun kendiliğinden yapışkanlık özelliği bulunmaktadır ve çoğu suda çözünmektedir. Solüsyon ve emülsiyon halinde buldukları gibi pasta, macun ve katı halde de bulunurlar. Bu maddelerden yapılmış yapıştırıcılar suya, rutubete karşı pek dayanıklı değildir.

Ambalaj sanayiinde nişasta veya dextrinden yapılan bitkisel kökenli, su bazlı pasta halindeki yapıştırıcılar kullanılmaktadır.

### 5.1.2.Termoplastikler

Normal sıcaklıkta katı halde bulunan ısıtıldığında yumuşayan ve eriyen ve bu süreç içerisinde herhangi bir kimyasal değişikliğe uğramayan, soğutulduğunda tekrar katı hale gelen ve ilk özelliklerini koruyan plastik maddelerdir. Termoplastikler defalarca ısıtılarak eritilirler ve işleme metotlarıyla şekil verilerek yeniden kullanılabilirler.

Yapıştırıcı olarak termoplastikler solüsyon, dispersiyon ve katı halde kullanılırlar. Solüsyon ve dispersiyon halindeki termoplastik yapıştırıcılarda sıvı fazın sistemi terk etmesi sonucu, termoplastik madde yapıştırıcı film olarak kalır ve yüzeyleri yapıştırır. Katı olanları eritilerek sıvı hale getirilirler ve soğumaya bırakılan termoplastik madde yapışmayı sağlar. Selüloz türevleri, polivinil asetat (PVA), polivinil klorür (PVC), polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil alkol (PVAL) gibi maddeler termoplastik yapıştırıcı olarak kullanılmaktadır. Bu maddelerin büyük bir çoğunluğu

organik çözücülerde çözünürler. Bu nedenle daha çok çözücü bazlı yapıştırıcı olarak kullanılırlar. Ayrıca emülsiyon, film ve katı halde de yapıştırıcı olarak kullanılırlar.

Termoplastik yapıştırıcıların birçoğu 100 °C sıcaklığa dayanmaktadır. Yapışma kuvvetlidir. Çekme gücü pek kuvvetli değildir. Atmosferik şartlar ve kullanıldıkları şartlarda çatlamaları mümkündür.

### **5.1.3. Termosetler**

Termosetler, ısıtıldıklarında kimyasal bir değişime uğrarlar ve çözünen ve eriyen bir yapıdan sonuçta çözünmez erimeyen bir yapıya ulaşırlar. Termosetlerin ilk halleri A kademesi, son olarak aldığı katı ve sert şekil C kademesi olarak tanımlanır. Bu iki kademe arasında bulunan ve kısmen yumuşayarak termoplastik özelliği kazanan kademe de B kademesidir. Epoksi reçineleri, poliesterler ve amino grup reçineleri bu gruba girmektedir. Sıvı, pasta ve toz halinde bulunan yapıştırıcılarla çok kuvvetli bir yapışma elde edilmektedir. Kopma ve kırılmalara karşı yüksek dirence sahiptirler.

### **5.1.4. Elastomerler**

Doğal kauçuk, SBR, kloropren, nitril, bütül, poliisopren, polibüten, blok kopolimerlerinden yapılmış olan kauçuk türleri gibi sentetik kauçuklar, poliüretanlar, sentetik ve termoplastik elastomerler, silikonlar ve polisülfidlerden yapılmış olan yapıştırıcılar bu grubu oluşturmaktadır. Elastomerlerle yapılan yapıştırıcılar esnek bir yapışma sağlarlar. Yapıştırıcıların sağladığı çekme gücü pek kuvvetli değildir. 80–100 C<sup>0</sup> arasında güvenli bir şekilde kullanılabilirler.

Doğal deri ve kumaş malzemelerinin yapıştırılmasında doğal kauçuk solüsyon halinde, viskoziteye göre belirlenen çözücü ile kullanılmaktadır.

### **5.1.5. Polimer karışımları**

Bu tür yapıştırıcılar seçilen malzemenin cinsine bağlı olarak çok iyi yapışma sağlayan, kuvvetli ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilen yapıştırıcılardır. Bazı elastomerlerin fenolik reçinelerle veya epoksi reçinelerinin fenolik reçineleriyle ve bazı termoplastiklerin epoksi ve elastomerlerle yapmış oldukları karışımlar bu gruba girer. Metal, seramik ve cam gibi ısı, basınç ve suya karşı dayanıklılık isteyen malzemelerde kullanılırlar.

## **5.2. Yapıştırıcıların Fiziksel Durumlarına Göre Sınıflandırılması**

Yapıştırıcıları buldukları fiziksel durumlarına göre beş gruba ayırmak mümkündür. Bunlar;

### **5.2.1. Sıvı halde bulunan yapıştırıcılar**

Yapıştırıcıların çoğu suda veya organik bir çözücüde çözünmüş olarak veya sıvı içerisinde emülsiyon veya dispersiyon halinde bulunurlar. Sıvı haldeki yapıştırıcılar değişik viskozitede bulunmaktadır.

### **5.2.2. Pasta veya macun halinde bulunan yapıştırıcılar**

Katı ile sıvı arasında bir yoğunlukta bulunan yapıştırıcılardır.

### 5.2.3.Film veya bant halinde bulunan yapıştırıcılar

Bir kâğıt veya film üzerine sürülmüş olan yapıştırıcı bulunduğu ortamdan transfer edilerek yapışmayı sağlamaktadırlar. Bu yapıştırıcılar bir transfer kâğıdına veya filmine tutturulmadan da elde edilebilirler. Daha düzgün bir yapışma sağlarlar.

### 5.2.4.Toz halinde bulunan yapıştırıcılar

Katı halde bulunan bu yapıştırıcıların solüsyon haline veya ısı ile eritilerek aktif hale getirilmesi gerekmektedir.

### 5.2.5.Granüle, çubuk ve değişik geometrik şekilde olan yapıştırıcılar

Isı ile eriyen hotmelt yapıştırıcılar bu gruba girer.

## 5.3.Yapıştırıcıların Etkili Olduğu Sıcaklık Aralıkları

Yapıştırıcıların etkili olduğu sıcaklık aralığına göre üçe ayrılır. Bunlar;

- a) Oda sıcaklığı ile 60 C<sup>0</sup> arasında etkili olan yapıştırıcılar
- b) 60–100 C<sup>0</sup> arasında sertleşen yapıştırıcılar
- c) 100 C<sup>0</sup> ve üzerinde sertleşen ve etkili olan yapıştırıcılar

Yapıştırıcıların en çok kullanıldığı sıcaklık aralığı oda sıcaklığı ile 60°C arasında olanlarıdır. Dekstrin, nişasta ve çözelti halinde bulunan termoplastikler, elastomerler ve yapıştırıcıların büyük bir çoğunluğu oda sıcaklığında kullanılırlar.

Orta derecedeki sıcaklık aralığında özellikle termosetlerde sıcaklık katalisti harekete geçirir ve yapıştırıcının sertleşmesini sağlar. Sıcaklık aralığı 60–100 C<sup>0</sup> gibi düşük bir aralıkta bulunduğundan bütün termosetlerde geçerli bir aralık değildir.

Termoplastik özellikli maddeler 100 C<sup>0</sup>'nin üzerinde erirler, değişik plastik işleme prosesleriyle film, levha, şekilli parça haline getirilirler.

## 5.4.Yapıştırıcılar ve Çözücüler

Çözücüler normal sıcaklık ve basınçta sıvı halde bulunan organik maddelerdir. Su organik bir madde olamamasına karşın yine bir çözücüdür. Suyun sağladığı birçok kolaylığa ve üstünlüğe rağmen birçok maddenin suda çözünmemesi nedeniyle çözücü olarak genellikle organik kökenli maddeler kullanılmaktadır.

Su veya organik çözücülerle yapıştırıcının karışımından elde edilen karışım çözelti-solüsyon olarak adlandırılmaktadır. Bir solüsyon veya çözeltide iki komponent bulunur. Bunlardan çözen madde çözücü, çözünen madde de daha çok plastikler ve doğal kaynaklı organik maddelerdir.

Yapışmadan sorumlu madde seçilen çözücü ile uyumlu olmalı yani plastik çözünebilir. Sıcaklık ve karıştırma ile birçok maddenin suda ve diğer organik çözücülerdeki çözünürlüğü artar. Karıştırma ile çözünme daha kısa sürede gerçekleşir. Isı ve karıştırma ile daha fazla çözünürlük elde edilirken, ulaşılan nokta doygunluk noktasıdır ve bu noktadan sonra daha fazla maddeyi çözmek

mümkün değildir. Plastik maddelerin büyük bir çoğunluğu oda sıcaklığında belirli çözücülerde çözünerek belirli bir konsantrasyona sahip bir çözelti meydana getirirler. Çözücüdeki katı madde miktarı çözeltinin konsantrasyonunu ve çözeltinin akışkanlığını belirlemektedir. Bu nedenle istenen çözünürlükte ve viskozitede bir çözelti elde etmek bazı şartlara bağlıdır. Bu şartların başında çözücünün kuvvetli ve zayıf oluşu gelmektedir. Ayrıca çözeltinin konsantrasyonu sıcaklıkla değişmektedir. Konsantrasyonu fazla olan bir çözeltinin akıcılığı azalmaktadır.

Solüsyon halindeki yapıştırıcılarda çözücü ve çözünen madde dışında yapıştırıcıya farklı özellikler kazandıran dayanıklılık veren, yapıştırıcının üretim ve kullanımını kolaylaştıran başka katkı maddeleri de ilave edilmektedir. Bu maddeler arasında dolgu maddeleri, antioksidanlar, ısı stabilizatörleri, bazı renk verici maddeler, viskozite ayarlayıcı maddeler bulunmaktadır.

Çözücüleri genel olarak; Hidrokarbon türü çözücüler ve Oksijen içeren çözücüler olarak iki grupta sınıflandırmak mümkündür.

#### **5.4.1.Hidrokarbon Türü Çözücüler**

Petrol ve doğal gazdan elde edilen çözücülerdir ve kaynama sıcaklıklarına göre tanımlanırlar. Petrol esaslı hidrokarbon türü çözücüler genel olarak parafinik, naftenik, olefinik ve aromatik yapıda bulunurlar. Parafinik yapıda olan çözücüler en zayıf çözücü olarak bilinirler ve kokuları azdır. Naftenik olanlar orta derecede çözünürlüğe ve kokuya sahiptirler. Aromatiklerin hem kokuları hem de çözünürlükleri fazladır. Petrol esaslı çözücülerin en önemlileri arasında hekzan, siklohekzan, benzen, tolüen ve ksilen gibi aromatik çözücüler vardır. Petrol türevi olan çözücüleri buharlaşmalarına veya kaynama sıcaklıklarına göre üçe ayırmak mümkündür:

#### **5.4.2.Kaynama sıcaklık aralığı düşük olan (60–95 C<sup>0</sup>) çözücüler**

Bu çözücüler çabuk buharlaşırlar ve kurumamanın çabuk olması istenen yapıştırıcı türlerinde kullanılırlar. Ancak bu tür yapıştırıcıların iyi olduğu söylenemez. Yapışma işleminde taşıyıcı rol oynayan çözücünün hızlı bir şekilde buharlaşması yapıştırıcının bütün yüzeye yayılımının sağlanmasından önce gerçekleşmesi yapışma işlemine olumsuz etki eder. Benzen bu tür çözücülerdendir.

#### **5.4.3.Kaynama sıcaklık aralığı orta derecede olan (95-160 C<sup>0</sup>) çözücüler**

Hemen kurumayan orta sıcaklıktaki çözücülerdir. Bu tür çözücülerin buhar basınçları çok fazla değildir ve sistemi hemen terk etmezler. Bu tür çözücülerle yapılan yapıştırıcılar sağlam, kuvvetli bir yapışma sağlamaktadır. Tolüen ve ksilen bu grupta yer almaktadır.

#### **5.4.4.Kaynama sıcaklık aralığı yüksek olan (160 °C ve üzeri) çözücüler**

Bu tür çözücüler geç buharlaşırlar ve dolayısıyla bu tür çözücüleri içeren yapıştırıcılar geç kururlar. Bu özellikler sadece hidrokarbon türü çözücüler için değil, bütün çözücüler için geçerlidir. Ancak bazı çözücülerin kaynama sıcaklık aralığı yerine belirli bir kaynama sıcaklığı mevcuttur.

Yapıştırıcı için kullanılan polimerin de çözücülerin de bir çözünürlük parametresi vardır. Birbirleri ile aynı ya da yakın çözünürlük parametresine sahip olan polimer ve çözücüler birbirleri ile uyumludur ve birlikte kullanılabilirler.



### 5.4.5.Oksijen İçeren Çözücüler

Molekül yapılarında hidrojen, karbon ve oksijen içeren oksijen içeren çözücüler kimyasal çözücü olarak da bilinir. Bazı kimyasal çözücüler klor, azot ve kükürt gibi maddeleri de içerirler. Kimyasal çözücüler yapılarında bulunan fonksiyonel gruplara göre sınıflandırılırlar.

Çözücü tanımlamada yoğunluk, viskozite, buharlaşma basıncı ve etil alkol, metil alkol, metil etil keton gibi oksijen içeren çözücülerde belirli bir kaynama noktası kullanılır.

Oksijen içeren bazı çözücüler;

**Esterler:** Etil asetat, izopropil asetat

**Ketonlar:** Aseton, metil etil keton

**Glikol eterler:** Etilen glikol monometil eter, dietilen glikol monoetil eter

**Alkoller:** Etil alkol, izopropil alkol

**Diğerleri:** Tetrahidrofur, dimetilformamid

Çözücülerini solüsyon içerisindeki fonksiyonlarına bağlı olarak sınıflandırmak da mümkündür:

- a. **Aktif çözücüler:** Aktif olarak hareket ederek çözünecek maddeyi yalnız başına çözer ve çözünen maddenin çözücüdeki konsantrasyonuna bağlı olarak değişik viskozitede solüsyon elde edilmesini sağlar
- b. **Latent çözücüler:** Aktif çözücülerin çözme gücünü arttırırlar ve kendi başlarına çözücü olarak hareket edemezler.
- c. **Seyrelticiler:** Reçinelerin ve yapıştırıcıların viskozitesini ayarlamak amacıyla kullanılırlar.
- d. **Reçineler:** Bazı plastik maddeler yapışma özelliklerinin yetersizliği nedeniyle yapıştırıcı formülasyonlarında kullanılamazlar. Bu plastiklerin yapışkanlıkları ile ilgili eksikliğini gidermek için ve yapışkanlıklarını arttırmak amacıyla reçineler ilave edilir. Yapışmayı arttırıcı reçinelerin plastifiyan gibi hareket etmesi, yapıştırıcıya esneklik kazandırması, polimer içinde çözünmesi, ısıya karşı dayanıklı olması ve çözücülerde çözünmesi gerekmektedir. Reçineler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;
- e. **Rosin (Reçine) ve Rosin esterleri:** Çam sakızında ve tall oilden elde edilir. Aslında organik asitlerden oluşan bir karışımdır. Tall oilden elde edilen rosinin yumuşama sıcaklığı düşüktür ancak asidik karakterde oluşu kullanım alanını daraltmaktadır. Pentaeritritol ile oluşan reaksiyonu sonucu rosin esterleri meydana gelmektedir. Hidrojene edilmesi ve ısıya karşı dayanımındaki iyileştirmeler yapıştırıcılarda kullanımını sağlamaktadır. Rosin esterleri ve doğal kauçukla yapılan basınca duyarlı yapıştırıcılar başlıca kullanım alanlarıdır.
- f. **Politerpenler:** Terpenik reçine olarak da bilinen politerpenler cam gibi olan oligomerlerden oluşmaktadır. Kâğıt hamurunun elde edilmesinde yan ürün olarak kazanılan terebentin ve limon üretiminden elde edilen di-limonen başlıca kaynaklardır. Politerpenler, neoprenden ve EVA'dan yapılmış yapıştırıcılarda

kullanılmaktadır. Bu yapıştırıcıların yapışkanlığını arttırmak, açık zamanını uzatmak ve plastifiyan gibi hareket ederek yapıştırıcının yumuşak olmasını sağlamaktadır.

- g. Hidrokarbon Reçineleri:** Petrokimya endüstrisinden etilenin elde edilmesi sırasında oluşan yan ürünlerin polimerizasyonu ile kumaron ve inden reçinelerinin elde edilmesi de mümkün olmaktadır. Bu reçineler de diğer bitkisel kaynaklardan elde edilen reçineler gibi camımsı oligomerlerdir ve yapışmayı artırma amacıyla kullanılırlar.

## 6.Sonuç

Kimya ve yan sanayiindeki gelişmeler ve buna paralel olarak yapılan araştırmalar; endüstrinin her alanı için üstün vasıflı yapıştırıcıların geliştirilmesinin önünü açmıştır.

Hemen hemen bütün endüstriyel yapıştırıcılar özellikle 80 C<sup>0</sup>'nin altındaki sıcaklıklarda mukavemetlerini korumaktadırlar.

Yapıştırıcılar diğer birleştirme yöntemlerine göre daha kolay tatbik edilmeleri ve ağırlık tasarrufu sağlamaları nedeni ile tercih edilmektedirler.

## KAYNAKÇA

- Adams, R. D. and Wake, W. C., (1984), 'Structural Adhesive Joint in Engineering', Elsevier Science Publisher, London.
- Adams, R. D., (1989), 'Strength Predictions for Lap-Joints', Especially with Composite Adherents, *Journal of Adhesion*, 30, 219-242.
- Andruet, R. H., Dillard, D. A. and Holzer, A. M., (2001), 'Two and three-dimensional geometrical nonlinear finite elements for analysis of adhesive joints', *Int. Journal of Adhesion and Adhesives*, 21, 17-34.
- Avila, A. F. and Bueno, P. O., (2004), 'Stress analysis on a wavy-lap bonded joint for composites', *Int. Journal of Adhesion and Adhesives*, 24, 407-414.
- B, Bahattin., (1994), 'Polimer Kimyası', ODTU Fen ve Edebiyat Fakültesi Yayın No:33.
- Benson, N. K., (1969), 'Influence of Stres Distribution on Joint Strength, Adhesion Fundamentals and Practice', UK Ministry Technology, McLaren, London, pp 191.
- Bigwood, D. A. and Crocombe, A.D., (1990), 'Nonlinear adhesive bonded joint design analyses', *Int. J. Adhes.*, 10, 31-41.
- Brcker, G. W. and Braun D., (1965), 'Encyclopedia of Polyer Science and Technology', Why interscience New York.
- C. M. Blow, C. Hepburn., (1981), 'Rubber Tecnology and Manufacture' 2nd Edition Butterworth Scentific.
- Carpenter, W., (1980), 'Stresses in bonded connections using finete elements', *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 30, 1659-1680.
- Carpenter, W.C. and Borsoum, R., (1989), 'Two finite element for modeling the adhesive bonded configuration', *J. Adhes.*, 30, 25-46.
- Chan, W.S. and Vedhagiri, S., (2001), 'Analysis of composites bolted-bonded joints used in repairing', *J. Compos. Mater*, 35(12), 1045-1061.
- Chang, D.J. and Muki, R., (1974), 'Stress Distribution in a Lap Joint under Tension Shear', *Int. J. Solids Structures*, 10, 503-517.
- Dorn, L. and Liu, W., (1993), 'Stress state and failure properties of adhesive-bonded plastic/metal joints', *Int. J. Adhes.*, 13, 21-31.
- Eleanor Mellan., (1968), 'Industrial Solvents Handbook' – Noyes Data Corporation.
- Erhan Pişkin., (2000), 'Polimerler II. Mühendislik Polimerleri', PAGEV Yayınları.
- Ernst W. Flich., (1994), 'Adhesive and Sealant Components and their formulations'. Noyes Data corparation park Ridge, New Jersey, USA.
- Farley, G. L., Smith, B. T. and Maiden, J., (1992), 'Compression Response of Thick Layer Composite Laminates With Through-the-Thickness Reinforcement'. *Reinforced Plastics & Composites*, 11, 787-810.
- Fu Maofeng and Mallick, P. K., (2001), 'Fatigue of hybrid (adhesive/bolted) joints in SRIM', *Int. Journal of Adhesion and Adhesives*, 21, 145-159.
- Gali, S., Doley, G. and Ishai, O., (1981), 'An effective stres-strain concept in the mechanical characterization of structural adhesive bonding', *Int. Journal of Adhesion and Adhesives*, 1(3), 135-140.
- Goland, M. and Reissner, E., (1944), 'The Stresses in Cemented Joints', *Journal of Applied Mechanics*, 11, 59-45.

- Goncalves, J. P. M., De Moura, M. F. S. F. and De Castro, P. M. S. T., (2002), 'A threedimensional finite element model for stres analysis of adhesive joints', *Int. J. Adhes.*, 22, 357-365.
- H. Schon Born., (1970), 'Adhesives', *Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, Interscience Publishing, Newyork.
- Handziella, L. A. Pilente, A. Knop., (2000), 'Phenolic Resins', Springer, Verlag Berkin Heidelberg.
- Hart-Smith, L. J., (1973), 'Adhesive-bonded single-lap joints', CR-112235, Nasa Langley Resesarch Center.
- Houwink, R. and Salomon, G., (1965), 'Adhesion and Adhesives', 2nd Edition, Elsevier Publishing Co.
- Humfeld G. R. and Dillard, D. A., (1998), 'Residual stres development in adhesive joints subjected ot thermal cycling', *J. Adhes.*, 65(1-4), 277-306.
- I. Weyler, Chairman (1970), 'Adhesive in Modern Manufacturing, Society of Manufacturing Engineers', Deartorn, Michigan.
- Ibert Mellan, (1968), 'Compatibility and solubility' – Noyes Data Corporation.
- J. Shield, (1974), 'Adhesive Bonding Engineering' Design Guide 02 – Boss Printers Limited, Wallop, Hampshire.
- J. Shield, B. Sc, (1970), 'Adhesive Handbook'- London, Butterworth.
- J. Skeist; (1997), 'Handbook of Adhesives', Reinhld Publishing company, New York.
- John Delmonte (1965), 'The Technology of Adhesive'- Hafner Publishing Company Newyork.
- Joseph S. Armstock (2000), 'Handbook of Adhensive and Sealants in Coustruction' Mc. Graw Hill.
- Kaya, F., (2004), 'Yapıştırıcılar', Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Kelly, G., (2005), 'Load transfer in hybrid (bonded/bolted) composite single-lap joints', *Composite Structures*, 69, 35-43.
- Kinloch, A. J., (1987), 'Adhesion and adhesives science and technology', Chapman&Hall, ISBN 0-412-27440-X, p.441, London.
- Li, G. and Lee-Sullivan, P., (2001), 'Finite element and experimental studies on singlelap balanced joint in tension', *Int. Journal of Adhesion and Adhesives*, 21, 211220.
- Louis F. Martin, (1974), 'Pressure Sensitive Adhesives Formulations and Technology', Noyes Data Corporation.
- M.J. Satriana, (1974), 'Hot Melt Adhesives Manufacture and Applications', Noyes Data Corporations.
- Mazumdar, S. K. and Mallick, P. K., (1998), 'Static and Fatigue Behaviour of Adhesive Joints in SMC-SMC Composites', *Polymer Composites*, 19, 139-146.
- Muki, R. and Sternberg, E., (1968), 'On The Stres Analysis of Overlapping Bonded Elastic Sheets', *Int. J. Solids Structures*, 4, 75-94.
- Savaşçı O. T., Uyanık N., Akovalı G., (1996), 'Plastikler ve Plastik Teknolojisi', Cantay Kitapevi İstanbul.
- R. Hauwenk and G. Soloman, (1965), 'Adhesion and Adhesives' – Volme 1 Adhesives Elsevier Publishing Company.
- R. Thompson, (1984), 'Adhesive Bonding', *Modern Plastic Eocyclopedia*, Mc. Graw Hill, Inc. Newyork.
- R.S.R. Taylor and P. Taylor, (1968) 'Adhesion and Adhesives', Pergamon Press Ltd.

Reedy, S. J. and Guess, T.R., (1996), 'Butt joint strenght and effect of residual-stress and stres-relaxation', *Journal of Adhesion Science and Technology*, 10 (1), 33-45.

Robert Patrick, (1969), 'Adhesion and Adhesives' – Volme 1 Adhesives Marcel Dekler, Lac Newyork.

Taib, A. A., Boukhili, R., Achion, S. and Boukehili, A., (2006), 'Bonded joints with composite adherends.' Part II. Finite element analysis of joggle lap joints, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 26, 237- 248.

Tsai, M. Y. and Morton, J., (1995), 'The effect of a spew filet on adhesive stres distribution in laminated single-lap joints', *Computers and Structures*, 32, 13131.

V. Cogle., (1968), 'Adhesive Bonding' Mc. Graw – Hill Inc., Newyork.

Wake, W. C., (1986), 'Adhesion and the Formulation of Adhesives, Structural Adhesives in Engineering', *Proceedings of the Instition of Mechanical Engineers, IMechE*, 151/86, 161-168.

## Yeraltısuyu Akış Modellemesinin Hazırlık Ve Dizayn Aşamaları

İbrahim İskender SOYASLAN<sup>1</sup>

### Giriş

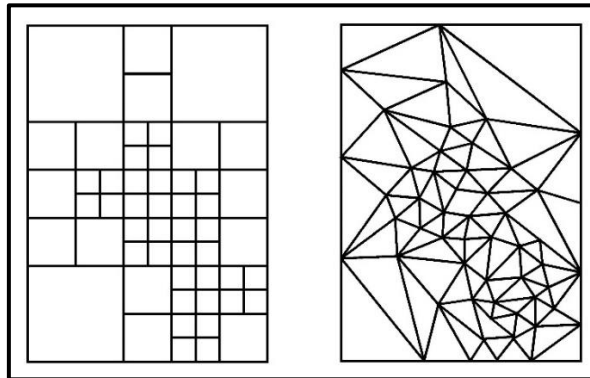
Yeraltısuyu akım modelleri bilgisayar ve yazılım teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte giderek yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. Bu modeller yeraltısuyu akım ve su kalitesi değişimine yönelik çevresel sorunların çözümünde etkin bir araç olarak kullanılmaktadır.

Yeraltısuyu modelleri gerek işletme öncesi hidrojeolojik havza etütlerinde yeraltı sisteminin belirlenmesinde gerekse yeraltısuyunun işletilmesi sırasında yeraltısuyunda meydana gelebilecek düşüm, rezerv ve su kalitesi değişimlerinin tespit edilmesinde kullanılabilir. Yeraltısuyu modelleri tüm hidrojeolojik çalışmalarda yeraltı sistemini modelleyen, tanımlayan ve sorunlara karşı çözüm önerileri oluşturarak gerekli tedbirlerin alınması amacıyla kılavuzluk eden bir araçtır (Tezcan, 1999)

3D yeraltısuyu akım modelinde sonlu farklar yöntemi ile MODFLOW-88 (McDonald & Harbough, 1988) veya MODFLOW-96 (Harbaugh & McDonald, 1996) geliştirilerek farklı yeraltısuyu problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Özellikle yeraltısuyunda kirlilik taşınımı sorunlarında ise PMPATH (Chiang & Kinzelbach, 1993; Chiang, 1994; Chiang & Kinzelbach, 1998), MT3D (Zheng, 1990; Chiang & Kinzelbach, 1993), MT3DMS (Zheng & Wang, 1998), UCODE (Poeter & Hill, 1988), SUTRA (Voss, 1984), MODPATH (Pollock, 1989), PATH3D (Zheng, 1992) ve PEST (Doherty, Brebber & Whyte, 1994) yaklaşımları MODFLOW esaslı modeller kullanılmaktadır (Soyaslan, 2019).

### Kullanılacak Modelin Hazırlanması Ağ Sisteminin Oluşturulması

Sonlu farklar yönteminde tek boyutlu kare ağ sistemi kullanıldığı gibi, hidrolik eğimin fazla olduğu ve verilerin bol bulunduğu bölgelerde küçük, hidrolik eğimin zayıf olduğu ve verilerin az bulunduğu bölgelerde ise büyük boyutlu sağ sisteminin kullanılması uygun olur (Şekil 1) (Dilek, 1978)



Şekil 1. Matematik modellerde ağ sistemi (Dilek, 1978)

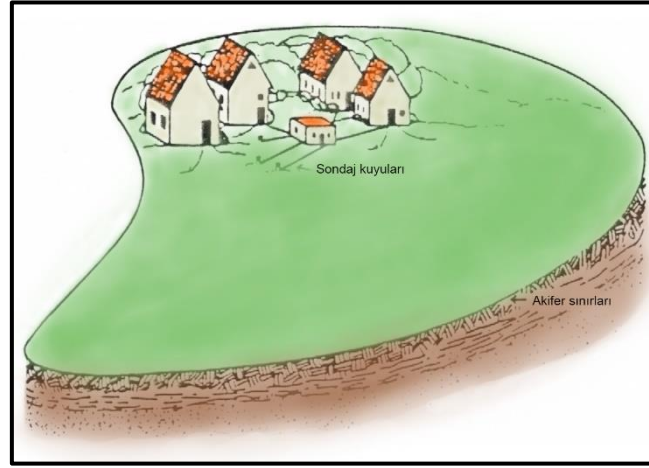
<sup>1</sup> Doç.Dr., Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Sonlu elemanlar yönteminde de, elemanların büyüklüğü seçilirken aynı kural uygulanır (Dilek, 1978),

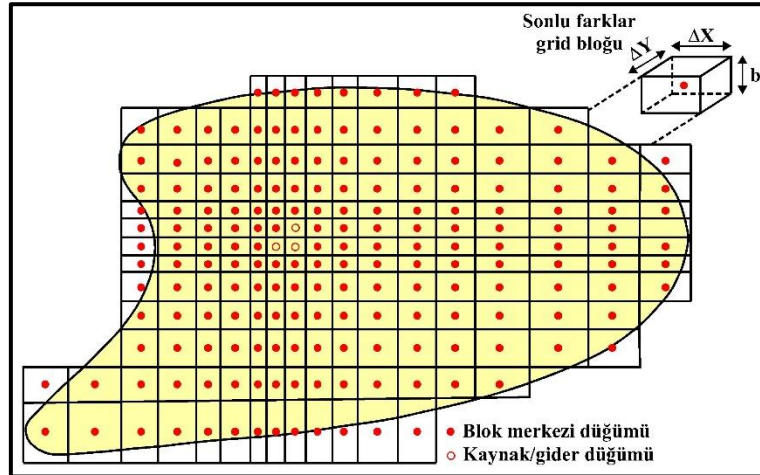
### Ağlara Ait Verilerin Hesaplanması

Sonlu farklar yönteminde kare ağlara ait, sonlu elemanlar yönteminde ise kullanılan (üçgen, dikdörtgen ve dörtgen) elemanların köşe noktalarına ait transmisibilite değerleri, depolama katsayısı değerleri eş transmisibilite ve eş depolama katsayısı haritalarından yararlanılarak, enterpolasyonla saptanır.

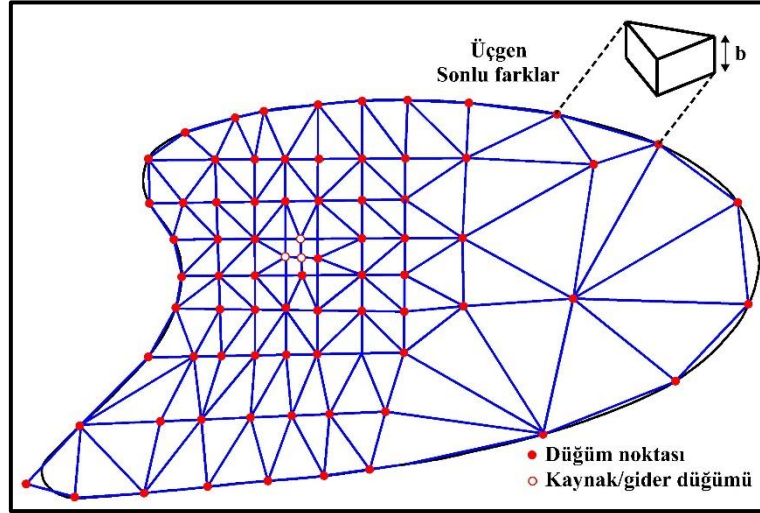
Sonlu farklar ve sonlu elemanlar yöntemlerine göre çalışma alanının grid düzeni aşağıdaki şekil 2, şekil 3 ve şekil 4'de gösterilmiştir (Thomas, 1992)



Şekil 2. Çalışma alanındaki kuyular ve akifer sınırlarını gösteren harita (Thomas, 1992)



Şekil 3. b akifer kalınlığı, x yönünde  $\Delta x$  ve y yönünde  $\Delta y$  genişliğindeki akifer alanı için sonlu farklar grid düzeni (Thomas, 1992).



Şekil 4. b akifer kalınlığındaki akifer çalışması için sonlu elemanlar düzeni (Thomas, 1992).

Debi değerleri ise ait olduğu ağlara göre veya elemanların köşe noktalarına pompaj kuyularının uzaklıkları göz önünde bulundurularak saptanır. Genellikle akiferlerin kenar bölgelerindeki ağlara ait veriler toplanırken, bu bölgelerdeki bilgi azlığı nedeniyle güçlükler ortaya çıkar. Sonlu farklar yönteminde kare ağlar arasındaki geçiş transmissibilite değerleri ise aşağıdaki denklem 1 ile hesaplanır (Dilek,1978).

$$T_{NC} = 2 \frac{T_N * T_C}{T_N + T_C} \quad (1)$$

### Sınır Koşullarının Saptanması

Sonlu farklar ve sonlu elemanlar yöntemlerinde meydana gelen lineer denklemlerin çözümü için sınır koşullarının bilinmesi gerekmektedir. Bunlar yeraltısuları ile doğrudan doğruya ilişkili olan serbest su yüzeylerinin bulunduğu ağlardaki sabit potansiyelli sınır koşulu (DIRICHLET koşulu) ile beslenme sınırlarının oluşturduğu ağlardaki sabit akışlı sınır koşulu (NEUMANN koşulu) olmak üzere iki türdür (Dilek, 1978)

Her iki modelinde avantaj ve dezavantajları vardır ve belirli bir problem için biri diğerinden çok daha uygun olabilir. Fakat, çok daha az karmaşık matematik ilişki gerektirmesi, anlaşılır olması ve dizaynının daha kolay olmasından dolayı, hidrojeoloji uygulamalarında sonlu farklar modeli daha yaygın olarak kullanılır. Buna ek olarak, Unites States Geological Survey tarafından geliştirilmiş olan sonlu farklar modelleri mümkün olan en geniş faydayı halka ilgili alanda sunmaktadır. Bunlardan biri olan MODFLOW, (Bir Modüle ait 3 Boyutlu Sonlu Farklı Yeraltısuyu Akış Modeli) Mc Donald ve Harbaugh (1988) tarafından yapılmıştır (McDonald & Harbough, 1988). Modflow, muhtemelen bugün en geniş olarak kullanılan, test edilen, doğrulanan modeldir ve açık yapıda bulunan bağımsız alt programlara sahip kendi çok yönlülüğü sayesinde endüstri standardı haline gelmiştir. Yeni modüller ve paketler, ana kod yada programlar değiştirilmeden mevcut paketlere kolayca eklenebilmektedir. Bu nedenlerden dolayı MODFLOW, model prensiplerini açıklamak için en ideal standart seçenek olmaktadır. Diğer bazı bilgisayar programları ve sonlu farklar ve sonlu elemanlar metotları hakkında daha detaylı açıklama için, Anderson ve Woessner (1992) tarafından yapılmış olan çalışmaya bakılabilir (Anderson & Redshaw, 1979; Kresic, 1997)).

Yeraltısuyu modelleri, 3 genel amaç için kullanılabilir.



Çalışılan sistemdeki (akifer), doğal yada yapay beklenen değişiklikler tahmin edilebilmektedir. Olasılık modellerinde tahmin terimi kullanılırken, kesinlik derecesi daha yüksek olan belirleyici (sayısal) modellerde önceden haber verme (predictive) teriminin kullanımı çok daha uygundur. Önceden haber veren modeller, hidrojeoloji uygulamalarında kullanılan modellerin çok yaygın olanlarındandır.

Kendi doğal ve dinamikleri hakkında çeşitli varsayımları analiz etmek için sistemi tanımlamak. Tanımlanan model, gelecekteki incelemelerin planlanmasına ve sistemin daha iyi anlaşılmasına yardım eder.

Spesifik problemler yada yeraltısuyu akış prensipleri ile ilgili çeşitli genel çalışmalarda kullanılabilen bir varsayım sistemi üretilir. Genel modeller, çoğu kez yeni geliştirilen bir bilgisayar kodunun bir parçasının oluşturulması yada eğitimi için kullanılır (Kresic, 1997).

### **Yeraltısuyu Modellemesinin Dizayn Aşamaları**

1. Her bir yeraltısuyu model dizaynı, aşağıdaki 13 aşamadan meydana gelir.
2. Gelecekteki tüm faaliyetlerin temeli ve modellemenin en önemli parçası kavram (concept) gelişimidir.
3. Modelin amacına uyan ve kavramı çok etkili bir biçimde simule edebilecek bir bilgisayar kodunun seçimi.
4. Model geometrisinin tanımı, model olacak alanın yatay ve düşey uzanımı, tabakaların sayısı ve konumu, grid takımı, model sınırları tarafından tanımlanır.
5. Sınır düzeni tanımı, örneğin hücre tipleri (aktif, pasif, sabit seviye hücreler).
6. Porozite, depolama özellikleri, transmisibilite (yatay ve düşey anizotropiyi içerebilecek), hidrolik iletkenlik gibi her hücre için hidrojeolojik parametrelerin girişi.
7. Sınır şartlarının tanımı (akışa bağlı seviye yada bilinen akış, bilinen seviyeli sınırlar)
8. Başlangıç şartlarının tanımı (hidrolik seviyenin dağılımı).
9. Diğer kaynaklardan (komşu akifer, beslenme kuyusu), suyun içe akışı, drenajlar, kaynaklardan dışa akış, pompaj kuyusu, buharlaşma, görünmeyen beslenme gibi sistem üzerinde etkili olan basınçların tanımı.
10. Tekrarlama prosesini bitirmek için kabul edilebilir hata kriterleri, tekrarlama kriterleri ve cebirsel denklemlerin çözümü için matematiksel bir metot seçimini içeren model.
11. Ayarlama (kalibrasyon) ve duyarlılık analizi. Bu, belki de her hangi bir modellemenin en uzun ve en çok gerekli parçasıdır.
12. Model geçerliliğinin doğrulaması (verifikasyon). Ayarlanmış (kalibre edilmiş) model, model dizaynında kullanılmayan saha bilgileri yerleştirilerek tekrar kontrol edilir.
13. Model dizaynının çoğu durumdaki amacı (prediction) tahmindir.

14. Model dizaynının konu ile ilgili tüm belgelenen bilgilerin derecesi ve tahmin edilen sonuçların her ikisini birden içeren sonuçların gösterimidir (Kresic, 1997).

### Kavram Gelişimi

Bir modellenme kavramının gelişimi, her modelleme aşamasının en önemli ve başlıca parçasıdır. O, inceleme alanındaki ve etrafındaki yeraltısuyu akımının dinamikleri, hidroloji ve hidrojeoloji bilgilerine ihtiyaç duyar. En son sonuç, model dizaynında kullanılabilecek enine kesit ve basitleştirilmiş haritalar ile bilgisayarla hesaplanmış bir bilgi tabanıdır. Su tablasının hidrolik eğiminin oldukça uniform olarak değişmesi, alüvyon akiferin transmisibilitesinin oldukça homojen olduğu anlamına gelmektedir (Kresic, 1997).

### Bilgisayar Kodunun Seçimi

Sayısal yeraltısuyu modellenmesi için bir bilgisayar programı, matematiksel denklemlerin bir parçası olan matriksi çözer. Bu matriks, yeraltısuyu akışının kısmi diferansiyel denklemler tarafından formüle edilmiş matematik modelin yaklaşımını ifade etmektedir. Sonlu farklar ve sonlu elemanlar yöntemleri, bu yaklaşım için en sık kullanılan iki yoldur. Yöntem doğrudan modeli tasarlayanın bilgisi ve problemin türüne bağlı olarak kullanılabilir. Sonlu elemanlar, fay gibi iç sınırları ve düzenli model sınırlarını çok kolay tanımlar. Bunlar, su tablasındaki geniş değişim miktarları ile çukur ve kaynak noktalarının elle işlenmesine çok uygundur. Bununla birlikte, sonlu farklar modelleri, bilgi girişi için daha uygun ve daha az bilgi gerektiren daha basit bir program olarak tanımlanabilir. “3 boyutlu sonlu farklar yeraltısuyu akış modeli” Mc Donald ve Harbough (1998) tarafından mevcut en güvenilen, en çok doğrulanmış ve en yararlı yeraltısuyu akış modeli olarak tasarlanmıştır. Modflow olarak bilinen bu model, United States Geological Survey tarafından geliştirilmiştir (Kresic, 1997).

Modflow, gözenekli ortam içinde yeraltısuyu akımı için geçerli olan denklem 2 için sayısal bir çözüm içerir (Kresic, 1997).

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2)$$

( $Lt^{-1}$ ) hidrolik iletkenliğin başlıca eksenlere paralel olduğu varsayılan x,y, ve z koordinat eksenleri boyunca hidrolik iletkenlik değeri  $K_{xx}$ ,  $K_{yy}$  ve  $K_{zz}$ 'dir.

$h$ = Potansiyel su seviye yüksekliği (L),

$W_i$  = Suyun kaynaktan görülen ( $t^{-1}$ ), birim hacimdeki hacimsel akışı,

$S_s$ = Gözenekli ortamın depolama özelliği ( $L^{-1}$ ),

$t$  = Zamandır.

Genellikle  $S_s$ ,  $K_{xx}$ ,  $K_{yy}$  ve  $K_{zz}$ , alanının bir fonksiyonu olabilir. ( $S_s = S_s(x,y,z)$ ,  $K_{xx} = K_{xx}(x,y,z)$ ) gibi) ve  $W$ , zaman ve alanın fonksiyonu  $W = W(x,y,z,t)$  olabilir. Denklem 1 koordinat yönleriyle sıralanmış hidrolik iletkenliğin başlıca eksenlerinin sağlanması, anizotrop ve heterojen ortamdaki dengesiz şartlar altında yeraltısuyu akışını tanımlar (McDonald & Harbough, 1988)

## Model Geometrisi

Model geometrisi, modelin şekil ve boyutlarını tanımlamakla birlikte modelin fiziksel ve hidrolik sınırlarını da belirlemektedir.

**Fiziksel Sınırlar:** Yeraltısuyu akışına etki eden, jeolojik ve hidrojeolojik özellikler olarak tanımlanmasıdır. Örnek olarak, beton perde gibi yapılar ile arkasında bulunan zemin arasındaki dokanak, büyük bir su gövdesi yüzeyi ve gözenekli ortam arasındaki dokanak, iki jeolojik birim arasındaki geçirimsiz dokanak verilebilir (Kresic, 1997).

**Hidrolik Sınırlar:** Model tasarımcısı tarafından yapay olarak yerleştirilmiş ve bundan dolayı yeraltısuyu akım ağından türemiştir. Bu sınırlar, seçilen nehir hatlarıyla gösterilen akış olmayan sınırlar veya eş potansiyel çizgileri tarafından gösterilen hidrolik seviyeler ile bilinen sınırlar olabilir. Zamanla değişebilen ve kalıcı olmayan özelliklerinden dolayı, hidrolik sınırlar ile modelleme daha az tercih edilir. Bu sınırlar, pompaj ve enjeksiyon gibi hidrojeolojik işlemlerle oluşturulacak gelecekteki akış kalıplarına etki etmemesi için model içindeki inceleme alanından yeterince uzakta olmalıdır (Kresic, 1997).

## Grid

Yeraltısuyu akım modellemesinin esasını oluşturan kavramsal modelin en önemli ve ilk unsuru olan grid ağları her bir tabaka için farklı farklı hazırlanmaktadır (Soyaslan, 2019). Bloklar, hücreler olarak adlandırılan bu çizgiler tarafından oluşturulur. Her bir hücrenin merkezinde, modelin hidrolik seviyeyi hesapladığı bir düğüm noktası vardır. Hidrolik ve hidrojeolojik özelliklerin bir hücre boyunca uniform olduğu kabul edilir (Kresic, 1997).

Griddeki her bir hücrenin yeri,  $i, j, k$  işaretleme sistemi ile tanımlanmıştır. Her ne kadar MODFLOW'un uygulanması kartezyen koordinatlarının  $x, y$  veya  $z$  terimleri ile ifade edilmesini gerektirmese de, genellikle aşağıdaki ilişkinin olduğu varsayılır.

Sütunlar ( $J$ ),  $x$  koordinatına,

Satırlar ( $I$ ),  $y$  koordinatına,

Sütunlar ( $K$ ),  $z$  koordinatına karşılık gelir (Kresic, 1997).

Grid ağı, hücre boyutları farklılaştığında ve tüm hücreler aynı boyutta sahip olduğunda, “uniform” olabilir. Bir uniform gridin aşağıda belirtilen durumlarda seçilmesi uygundur (Kresic, 1997).

- Sistem olarak tanımlanan akifer karakteristiklerindeki var olan bilgi, model alan üzerinde düzenli dağılmış ise,
- Model alanının tümü eşit öneme sahipse,
- Toplam hücre sayısı, modelin zamanı veya bilgisayar hafızası açısından herhangi bir sorun oluşturmuyorsa,
- Costum grid, çoğunlukla akış alanı içindeki bir veya daha çok küçük alanda ilgilenilen özellikler varsa veya model alanın belli bir bölümü için kullanılabilir bilgi az yada yoksa uygulanır.

Örneğin, bir kirlilik yayılımının temizlenmesi için, bir yeraltısuyu çıkarma sisteminin tasarımı amaçlı bir model, aşağıdakilerin genellikle doğru olması nedeniyle costum grid tasarımı için ideal olabilir (Kresic, 1997).

- Yayılımın boyutu, gerekli model alanından çok daha küçüktür.
- Yayılım boyutu dikkate alındığında akiferin karakteristik bilgileri mevcut değildir veya sınırlıdır.
- Çoklu kuyu sisteminin en iyi şekilde kullanımı için yayılım içindeki küçük bir hücre boyutuna ihtiyaç vardır.

### Tabaka Tipleri

MODFLOW'da 4 temel tabaka tipi vardır.

**Tip 0;** Bu tabaka tipi, tüm simülasyon zamanı için her bir hücrenin transmisibilitesinin sabit kaldığı sınırlı şartlarının simülasyonunda kullanılır.

**Tip 1;** Bu tabaka tipi, en üstte bulunan sadece ilk tabaka için geçerlidir ve basınçsız şartlardaki kurallar için uygulanır. Tabakanın transmisibilitesi, simülasyon boyunca akiferin doymuş kalınlığına bağlı olarak değişim gösterir. Modelleme çalışmalarında en üstteki alüvyondan oluşan serbest akifer, “tip 1” in bir tabakası olarak modellenir (Soyaslan, 2014; Soyaslan 2019).

**Tip 2;** Bu tip tabaka, basınçlı ve basınçsız akifer arasında alternatif akifer olduğu zaman kullanılır. Ancak, simülasyon periyodu boyunca sabit olan transmisibilitenin tekrar hesaplanması gerekli değildir, bu yüzden tabaka kalınlığının büyük bir kısmının doymuş kalınlıkta kaldığı kabul edilir (Kresic, 1997).

**Tip 3;** Bu tip bir tabaka, basınçlı-basınçsız geçişleri içinde kullanılır. Her tekrarlama kullanılabildiği takdirde hidrolik iletkenlik ve yeni doymuş kalınlık tarafından tekrar hesaplanan değişen transmisibiliteye sahiptir (Kresic, 1997).

Chiang ve Kinzelbach (1996) tarafından yapılan MODFLOW programı tarafından bu eklenen dört tabaka tipi desteklenir. Yarı basınçlı birim, MODFLOW'da aktif gibi simüle edilemez. Yarı basınçlı birimin etkisi, iki aktif model tabakası arasında “düşey sızıntı” terimiyle isimlendirilerek tanımlanmalıdır (Chiang & Kinzelbach, 1996).

### Hücre Tipi

Gridin tasarlanmasından sonra, modeldeki her bir hücre tipinin tayin edilmesiyle adım adım model sınırları tanımlanır. Sabit seviye hücreler ve inaktif hücreler (akış olmayan) olmak üzere, MODFLOW'da sınırların tanımlanmasında kullanılan 2 tip hücre vardır. İnaktif hücreler MODFLOW'un sınır düzeninde “0” numara ile dizayn edilir ve tüm simülasyon süresince hücrenin içinde yada dışında akış meydana gelmez. Model bu hücreler için düşümü hesaplamaz ve onlar akış alanının dışında model düzeninden çıkarılmış olarak kullanılırlar. Eğer hücrenin yarısından daha fazlası geçirimsiz birim içinde ise, hücreler inaktif olarak gösterilir. Sınır hücrelerinin dışındaki tüm hücreler (akış olmayan) inaktif olarak gösterilir. Kalan hücreler, “aktif” yada “değişken-seviyeli hücreler” olarak isimlendirilir. Onlar, MODFLOW'un sınır düzeninde (IBOUND), 1 numara ile gösterilirler. Aktif hücreler için hidrolik seviyeler zamandaki değişimden bağımsız ve model tarafından hesaplanır (Soyaslan, 2004).

Sabit-seviye hücreler, başlıca yüzey sularının seviyeleri ve akifer dokanağı gibi bilinen seviyeler ile model sınırlarının tanımlanmasında kullanılır. Bu hücrelerin hidrolik seviyeleri ilk önce tayin edilir ve simülasyon periyodu boyunca değişmez. Sabit-seviyeli hücreler; MODFLOW sınır düzeninde 1 numara ile gösterilirler (Soyaslan, 2004).

## Model Parametreleri

Model parametreleri; zaman, kalınlık ve hidrojeolojik karakteristikler olarak tanımlanan hidrolik iletkenlik, depolama katsayısı ve efektif porozite olmak üzere 3 gruba ayrılır.

### Zaman

Zaman parametreleri, geçici şartlarda modelleme yapıldığı zaman tespit edilir. Zaman parametreleri; zaman periyotlarının sayısı, uzunluğu ve zaman birimini içermektedir. Bir zaman periyodu boyunca tüm model parametreleri, sabit kalan farklı basınçlar ve sınır şartları ile ilişkilidir. Düşüm ve hidrolik seviyedeki değişimlerin analizi için bir zaman periyodu basamaklara ayrılmıştır. Zaman basamakları, aynı uzunlukta olamazlar. Zaman basamaklarının çarpanı tarafından kontrol edilen bu seçim, her bir zaman basamağı bir öncekinden daha uzun olan ve sonuçlar logaritmik devreler üzerine çizilebilen, bir pompaj testi simule edildiği zaman özellikle yararlıdır. Zaman basamaklarının çokluğu, tekrarlanan hesaplamaların doğruluğunu arttırmaktadır (Kresic, 1997).

### Kalınlık

Eğer kullanıcı, akifer tabakalarına ait transmisibilitesi, düşey sızıntı yada depolama katsayısını programda hesaplamak isterse ki bu tavsiye edilir, o zaman en üst ve an alt tabakanın kotunun programa girilmesi gerekmektedir. Orijinal MODFLOW tip 1 yada 3 tabakalar için en alt kotu, tip 2 yada 3 tabakalar için sadece en üst kotu okur. MODFLOW basınçsız akifer modellendiği zaman (örneğin Tip 1 yada Tip 3) çok tabakalı K ile doymuş kalınlık tarafından transmisibiliteyi hesapladığı durumda sadece hidrolik iletkenliğe ihtiyaç duyar. Geçici model için, tüm diğer şartlarda depolama özelliği ve transmisibilite kullanıcı tarafından tespit edilir. Bu geçerli tabaka kalınlığı bilinmediği yada tabaka şekli çok karmaşık olduğu zaman uygundur. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, “*basınçsız akifer için en üst tabaka toprak yüzeyi (topoğrafya) değil, su seviyesidir*”. Akiferlerin kendi geometrileri ile farklı tabakalardaki, hidrolik seviyeler arasında önemli bir bağlantı olduğu için tüm tabakaların en alt ve en üst bilgileri mümkün olduğunca doğru olmalıdır (Kresic, 1997).

En alt ve en üst tabaka tanımlandığı zaman sık sık karşılaşılan bir problem, araya giren tabaka sorunudur. Bu durumda araya giren tabakalar, sayısal yeraltısuyu modellerini gerektirirler. Model alanında genellikle sınırlar düzenli lokasyonlara yayıldığından dolayı, her bir hücrenin (araya giren) parametre değerinin hesaplanması gerekli olacaktır. Yüksek derecede heterojen akiferin geniş çoklu tabakalı modelleri için model parametrelerinin girişi, orijinal MODFLOW kullanan her bir modelleyici için bir sorun olmaktadır. Dolayısıyla jeolojik yapısı karmaşık olan alanlarda modelleme çalışması oldukça zorlaşmaktadır (Soyaslan, 2019).

## Yatay Hidrolik İletkenlik, Transmisibilite ve Depolama Parametreleri

Hidrolik iletkenlik, pek çok durumda çok eleştirel bakılan ve hassas modellenen parametredir. Tercihen pompaj testleriyle sahada elde edilen  $K$ 'nın gerçekçi değerleri ile bir model dizaynı yapılabilir. Hidrolik iletkenliğin gelişi güzel değişimine rağmen tecrübeli bir modelleyici, kalibrasyon için kullanılan alan bilgilerine çok benzer bir modelleme sonucunu yaklaşık olarak elde edebilir. MODFLOW'daki yatay hidrolik iletkenlik, ( $K_x$ ) satırlara ait grid iletkenliğidir. Eğer akifer (tabaka)

izotrop ise, model sütunu ( $K_y$ ) boyunca  $K$ , aynı olacaktır. Bazı programlar doğrudan  $K_y$ 'nin girişi için izin verirken, orijinal MODFLOW ve pek çok işlemcilerde (izotrop şartlar için 1 olan) anizotropi faktörünün girilmesi gereklidir (Kresic, 1997).

**Düşey Hidrolik İletkenlik ve Sızma;** Tam 3-D modeller ve birden fazla tabakaya sahip 3-D benzeri model için, MODFLOW iki tabaka arasındaki düşey sızmanın girilmesine ihtiyaç duyar. Eğer istenirse MODFLOW tarafından, düşey hidrolik iletkenlik ve tabakanın en üst ve en alt seviyeleri kullanıcı tarafından verilen bilgilerden düşey sızıntı her bir tabaka için ayrı ayrı hesap edilebilir. Düşey hidrolik iletkenlik, pompaj testlerinden tam doğru tespit edilmedikçe, genellikle ayarlanır yada kabul edilir. Örneğin, genellikle tabakalanmış sedimanter kayaların pek çoğu için, düşey hidrolik iletkenlik, yatay hidrolik iletkenliklerinden çok daha düşük kabul edilir (Kresic, 1997).

**Depolama Terimleri;** Depolama terimleri, serbest tabakalar (Tip 1, Tip 2 ve Tip3) için “Özgül Verim” ve basınçlı tabakalar (Tip 0, Tip 2 ve Tip 3) için “Depolama Katsayısı”, sadece geçici simülasyon için gereklidir. Depolama katsayısı (S), özgül verim ( $S_s$ ) ve tabaka kalınlığından (b) bulunur (Kresic, 1997).

$$S = b * S_s \text{ (boyutsuz)}$$

Basınçlı akiferde pompaj testleri tarafından tespit edilen depolama terimi S'dir. Serbest akiferdeki pompaj testleri, depolama katsayısından daha geniş büyüklüğün birçok kuralları özgül verim (boyutsuz) verirler. Özgül verim için tipik değerler, 0.3 ve 0.001 arasında, depolama katsayısı için 0.001 ve 0.00001 arasında değişmektedir (Kresic, 1997).

**Efektif Porozite;** Eğer MODFLOW tarafından yeraltısuyu akışının ortalama lineer hızının hesaplanmasıyla (üretilen) elde edilen sonuçlar diğer programlarla birlikte kullanılacaksa, modelde sadece efektif poroziteye ihtiyaç duyulur. Bu hız, gözenekli ortam içinde taşınan su partiküllerinin izlerine ihtiyaç duyar. MODFLOW'un temel aldığı yaygın olarak kullanılan 2 partikül izleme programı, MODPATH (Pollock, 1989) ve PATH3D (Zheng, 1992) dir (Kresic, 1997).

## Sınır Şartları

Her bir model hücresi için, mesafe, zaman ve hidrojeolojik parametreler tayin edildikten sonra, bir sonraki adımda kullanılan MODFLOW paketleri için ortamı en iyi temsil edecek sınır şartları tanımlanır. Tanımlanan bu sınır şartları bilinen seviyeli sınırlar, seviyeye bağlı akış sınırları ve bilinen akış sınırı olmak üzere 3 kısma ayrılmaktadır.

## Bilinen Seviyeli Sınırlar

Bilinen seviyeli bir sınır, mesela geniş bir su gövdesi yüzeyi ile akifer arasındaki bir dokanak veya eşpotansiyel çizgisi olabilir ve önceden açıklandığı gibi sabit seviye hücreler tarafından simüle edilebilir. Fakat böyle bir simülasyonda sabit seviye hücreler, akiferdeki ve sınırdaki değişikliklere bakmaksızın suyun kaynağı bitmez gösterildiğinden dolayı büyük bir dikkatle ve titizlikle yapılmalıdır. Sabit seviye hücrelerdeki seviye, simülasyonun zaman periyodu içerisinde sabit kalır. Bu sınır şartlarına örnek olarak, akifere sürekli su sağlayacak küçük bir nehir verilebilir (Kresic, 1997).

### Seviyeye Bağlı Akış Sınırı

Bu sınırlar, komşu akifer hücreleri ve sınır arasındaki farklı düşümler esas alınarak hesaplanan akış oranıdır ve seviyeye bağlı sınır akışı olarak isimlendirilir. Nehir, drenaj ve genel seviye sınır paketi olmak üzere üç MODFLOW paketi bu şartlarda simule edebilir (Kresic, 1997).ağ

### Bilinen Akış Sınırı

Bilinen akışlı tipik sınırlar, nehirlerden beslenim, komşu tabakalardan sızıntı ve farklı akiferler arasındaki yanal dokanak içinden içe akış/dışa akışın olduğu, serbest akiferdeki su tablalarıdır. (Kresic, 1997)

## SONUÇ

Yeraltısuyu modelleri yazılım ve bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak son yıllarda özellikle yeraltısuyu potansiyeli, kirliliği ve su kalitesi konularından yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle havzalardaki sürdürülebilir yeraltısuyu modellerinin hazırlanması ve karar vericiler tarafından alınacak kararlarda yeraltısuyu akım modelleri etkili olarak kullanılmaktadır.

Yeraltısuyu modellerinin avantajı yeterli verinin bulunması durumunda detaylı olarak hazırlanabilmesi ve gelecekte olası senaryolara çok iyi adapte olabilecek esnek bir yapıya sahip olmasıdır. Tüm modellerde olduğu gibi doğru ve hassas veriye ihtiyacı olması yanında karmaşık jeolojik yapılarda hazırlanmasındaki zorluklar dezavantajını oluşturmaktadır.

Yeraltısuyu modelinin oluşturulmasındaki en önemli aşamalar; ağ sisteminin oluşturulması, ağlara ait verilerin hesaplanması ve sınır koşullarının saptanması aşamalarından oluşmaktadır. Ağ sisteminin oluşturulmasında; sonlu farklar yöntemi ve sonlu elemanlar yöntemi en sık kullanılan yöntemlerdir. Sınır koşullarının saptanmasındaki sınır koşulları, yeraltısuyu ile ilişkili olan serbest su yüzeylerine ait sabit potansiyel sınır koşulu ve beslenme sınırlarına ait sabit akışlı sınır koşulu bulunmaktadır.

Yeraltısuyu modellemesinin dizaynı 13 aşamada gerçekleştirilir. Bu aşamalarda belirlenecek hidrolojik ve hidrojeolojik unsurlar; kavram gelişimi, bilgisayar kodunun seçimi, model geometrisi, grid ağları, tabaka tipleri, hücre tipi, model parametreleri, sınır şartları, iletkenlik, transmissibilite ve depolama parametreleridir.

Bu çalışma kapsamında model doğruluk ve hassasiyetini belirleyen başka bir ifade ile modelle gerçek ortam arasındaki tutarlık doğrudan bu unsurların doğru seçilmesi ile mümkün olmaktadır.

## KAYNAKÇA

Anderson, M. P. & Redshaw, S. C. (1979). *Applied groundwater modelling*. San Diego, California: Academic Press Inc.

Chiang, W. H. (1994). *PMPATH for Windows. User's manual*. . Washington, DC.: Scientific Software Group.

Chiang, W. H. & Kinzelbach, W. (1993). Processing Modflow (PM), Pre- and postprocessors for the simulation of flow and contaminants transport in groundwater system with MODFLOW, MODPATH and MT3D.

Chiang, W. H., Kinzelbach, W. & Rausch, R. (1998). *Aquifer Simulation Model for Windows - Groundwater flow and transport modeling, an integrated program*. , Stuttgart, ISBN 3-443-01039-3. Stuttgart, ISBN 3-443-01039-3: Gebrüder Borntraeger Berlin.

Doherty, J., Brebber, L. & Whyte, P. (1994). *PEST: Model independent parameter estimation*. Australian: Watermark Computing Trademarks.

Harbaugh, A. W. & McDonald, M. C. (1996). User's documentation for MODFLOW-96, an update to the U.S. Geological Survey modular finite-different ground-water flow model. U.S. Geological Survey Open File Report 96-486.

Kresic, N. (1997). *Quantitative solutions in hydrogeology and groundwater modeling*. Boca Raton: Lewis Publishers.

McDonald, M. C. & Harbough, A. W. (1988). *A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model*. Washington DS: Techniques of Water Resources Investigations of the U.S. Geological Survey Open File Report 83-875, Chapter A1.

Poeter, E. P. & Hill, M. C. (1988). *Documentation of UCODE, a computer code for universal inverse modeling*. . Washington DC.: U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 98-4080.

Pollock, D. W. (1989). Documentation of computer programs to compute and display pathlines using results from the U.S. Geological Survey modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. U.S. Geological Survey Open File Report 89-381 188p.

Soyaslan, İ. İ. (2004). *Eğirdir Gölü doğusunun hidrojeoloji incelemesi ve yeraltısuyu modellenmesi*. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

Soyaslan, İ. İ. (2019). Hoyran Havzasının Yeraltısuyu Akım Modellemesi ile Su Bütçesinin Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(17), 1184-1197. doi:DOI: 10.31590/ejosat.656606

Tezcan, L. (1999). *Hidrojeolojik Modelleme Ders Notları*. Ankara (yayımlanmamış): Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji-Hidrojeoloji Mühendisliği.

Voss, C. A. (1984). A finite-element simulation model for saturated-unsaturated, fluid density dependent ground water flow with energy transport or chemically reactive single species solute transport. U.S. Geological Survey Water Resources Investigations Report 84-4369 409p.



Zheng, C. (1990). *MT3D, a modular three-dimensional transport model*. Maryland: S.S. Papadopoulos & Associates, Inc., Rockville.

Zheng, C. (1992). *PATH3D: A Ground water path and trend simulator, Version 3.2*. Bethesda, MD.: Papadopoulos and Associates.

Zheng, C. & Wang, P. P. (1998). *MT3DMS, A modular three-dimensional multispecies transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems. Documentation and user's guide*. . Alabama: University of Alabama, Departments of Geology and Mathematics, .

## Yeraltısuyu Kirlilik Mekanizması, Etüt ve İyileştirme Çalışmalarının İncelenmesi

İbrahim İskender SOYASLAN<sup>1</sup>

### Giriş

Son yıllarda giderek artan nüfusa ilave olarak gelişen endüstrileşmenin bir sonucu olarak; artan su ihtiyacının yüzey suları tarafından karşılanamaması veya bazı yüzey su kaynaklarının kirlenmesi yeraltı sularının ek bir kaynak olarak önemini artmasını sağlamıştır. Yeraltısularının su kaynağı olarak önemi anlaşıldıkça, yeraltısularının kirliliğinin önlenmesi ve azaltılmasının önemi de artmaktadır. Yeraltısularının kirlilik kaynakları ve sebepleri suyun kullanımı ile çok yakından ilgili insan aktivitelerinin hidrolojik çevrim üzerindeki etkisinden dolayı su kalitesinin etkilenmesi çok karmaşık ve etkileşimlidir. Yeraltısuyu kirliliğinin temel unsurları; evsel, endüstriyel, tarımsal ve çevresel olarak 4 kategori altında toplanır. Bu çalışma; önce yeraltı sularının kirlilik kaynaklarının içeriğini konuşma incelenmesine ve sonunda kirlilik etütlerinin metodolojisinin detaylı olarak tanımlanmasına olmaktadır.

Bir kirlilik unsuru, su kaynağını tamamen kullanılamaz hale getirebilir. Ayrıca zehirlilik ve hastalık edilmesinden dolayı halk sağlığı için tehlike oluşturabilir. Kirliliğin başlıca nedeni, çok değişik kullanımlardan sonra oluşan katı ve sıvı atıkların bilinçsiz tavsiyesidir. Su kaynaklarına yönelik çok sayıda kirlilik kaynağı sayılabilir ve bunlar ana grupları altında anlatılacak. Yüzey suları kirliliğinin aksine yeraltı suları kirliliğinin tespiti zor, kirliliğin kontrolü ise daha da zor, öyle ki kirlenme uzun yıllar sürebilir. Yeraltısularının doğal yenilenme süresi yüksek olduğu için yeraltı sularının herhangi bir kirlenmeye maruz kalması halinde kirleticiler daha uzun süre yeraltısuyunda kalmakta, kirlenmenin tekrarı ile kirlilik birikimi olmaktadır. İşte tüm bu nedenler önemli bir su kaynağı olan yeraltısularının korunması çalışmalarının ve konunun öğrenilmesinin önemine açıklamaktadır.

### Yeraltısuyu Kirliliğinin Tanımı

Yeraltısuyu kirliliği; yeraltısuyunun değişik uygulamalarda kullanımının sınırlayan veya engelleyen fiziksel kimyasal ve biyolojik özelliklerini değişmesidir (Fried, 1975).

Yeraltısuyu kirlenmelerinde etkili olan faktörler tablo 1'de listeler halinde gösterilmiştir. Bu elementleri ve bileşikleri içinde bulunduran su mutlaka kirlenmiş demek değildir ve kirlenme suyun kullanım şekline bağlıdır. Örnek olarak içme suyu, kişisel temizlik ve sulama kullanım şekillerinden bazılarıdır. Bu kullanım şekillerinde en yüksek risk ise içme suyuna aittir. Bundan dolayı kullanım şekillerine göre ayrı ayrı suların özellikleri belirlenmiştir.

*Tablo 1. Kirlilik belirtileri ve yeraltısuyunu kirletmesi mümkün olan başlıca kirlilik unsurları (Kocabaş, 1994)*

---

<sup>1</sup> Doç.Dr., Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Çözünüş katılar	Nitrit	Klorid
Kimyasal oksijen	Amonyum	Fluorür
Biyolojik oksijen	Serbest CO <sub>2</sub>	Fosfat
Organik hidrojen	Bikarbonat	Çinko
Nitrojen	Demir	Kurşun
Fenoller	Manganez	Bakır
Çözünmüş oksijen	Sodyum	Arsenik
Sülfat (SO <sub>4</sub> )	Potasyum	SiO <sub>2</sub>
H <sub>2</sub> S	Kalsiyum	Elektriksel iletkenlik
Nitrat	Magnezyum	Ph

Yeraltı sularının kirlenmesinden denetleyen faktörler genel olarak yeraltı sularının kirlenmesi şu faktörlere bağlıdır;

- Yeraltısuyunun yüzeyden derinliği,
- Net sızma hızı,
- Akifer ortamının hidrojeolojik özellikleri,
- Zemin özellikleri,
- Toğoğrafik eğim,
- Vadoz bölgenin özellikleri,

Bunların yanında kimyasal madde açısından da;

- Kimyasal unsurların yeraltısuyuna ulaşma zamanı,
- Yeraltısuyunda karışma derinliği,
- Kimyasal uygulanması ile sulu ortama geçiş zamanı,
- Kimyasalın yeraltında bozulma hızı,

gibi bilgiler kirlilik potansiyel tahminlerinde önemli etkenlerdir (Kocabaş, 1993).

Özellikle atık depolarından belirli etmenlerin çevreye dağılması tamamen depolama ortamı temel kayasının şu özelliklerine bağlıdır (Kocabaş, 1994);

- Mineralojik ve petrografik özelliklerine,
- Tabaka kalınlığına,

- Ayrışma derecesini,
- Doku özelliklerine,
- Yapısal özelliklerine,
- Yeraltısuyu durumuna.

### Yeraltısuyu Kirliliğinin Kökeni

Evsel ve endüstriyel atıkların belirli bir alanı depolanması sonucunda, o bölgede bulunan yeraltısularının kimyasal olarak kirlenmektedir. Ayrıca tarımda verimi artırılması için kullanılan binlerce çeşit kimyasal madde bir yandan üretim miktarını artırırken, diğer yandan da içme ve kullanma sularına karışarak insan sağlığını tehdit etmeye başlamıştır. Bilindiği gibi kimyasalların büyük bir bölümü yüzey sularında yeraltısularına oranla daha çok çabuk bozulmaktadır. Yeni analiz tekniklerinin gelişmesi ile birlikte üretilen kimyasal madde miktarı ve çeşitleri artmaktadır. Dolayısıyla herhangi bir yolla suya karışan bu maddeler yeraltısularının kalitesini de kolayca değiştirebilmektedir (Wang & ark., 2002).

Kirletici maddeler fiziksel kimyasal ve biyolojik kirleticiler olmak üzere üç grupta toplanabilir. Fiziksel kirleticileri askı maddeleri ve sıcaklık oluşturur. Kimyasal kirleticiler kimyasal madde ve biyokimyasal maddeler olarak iki alt gruba ayrılırlar. Kimyasal madde kirleticileri zehirli maddeler (Zn<sup>-</sup>, Pb<sup>-2</sup> vb.), radyoaktif elementler (Ra<sup>+2</sup>, vb.), metal iyonlar (Fe<sup>+3</sup>, Cu<sup>-2</sup> vb.), temel iyonlar (Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>-1</sup>, SO<sup>-2</sup> vb.), petrol ve kömür türevleri olmak üzere 5 çeşittir. Biyokimyasal maddeler ise, kimyasal maddeler (NO<sup>-3</sup>, NH<sup>+4</sup>, vb.), gazlar (CO<sup>2</sup>, CH<sup>4</sup>, H<sup>2</sup>S vb.) ve asitler (NCL, H<sup>2</sup>SO<sup>4</sup> vb.) olmak üzere üç çeşittir. Son olarak biyolojik kirleticiler grubunu hastalık yapan bakteriler oluşturur.

Yeraltısuyunun kirlenmesi ve kirlenme derecesinin ülkeden ülkeye ve yerel olarak değişiklikler göstermesine karşılık kirlenmenin temel nedenlerini doğal ve doğal kökenli olmayan olmak üzere iki ana gruba ayırmak mümkündür.

### Doğal Kökenli Kirlilik

Yeraltısularının içinden geçtikleri kayalar oluşturulan minerallerden kaynaklanan kirliliktir. Değişik fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip bulunan yeraltısuları, bu özelliklerine bağlı olarak içlerinden geçtikleri kayalar oluşturulan minerallerden bazı iyonları bünyelerine almaları sonucunda, fiziksel ve kimyasal özelliklerinde meydana gelen değişikliklerdir. Bu tür kirlilik doğal kökenli olduğundan dolayı, yeraltısularının bu jeolojik kirlilikten korunması söz konusu değildir.

### Doğal Kökenli Olmayan Kirlilik

Doğal kökenli olmayan bu kirlilikte kirliliğe sebep olan etkenlerin kökenine göre endüstriyel, evsel, tarımsal ve çevresel olmak üzere 4 gruba ayrılabilir (Kocabaş, 1993).

Endüstriyel atıklar, endüstrinin türüne bağlı olarak önemli farklılıklar göstermektedir. Özellikle zararlı endüstriyel atıklar başta olmak üzere endüstriyel atıkların; toplanması, uzaklaştırılması ve zararsızlaştırılması gerekmektedir. Evsel atıklar, bütün atıkların üretimi içinde oldukça küçük bir bölüm oluşturmasına rağmen insan sağlığı açısından en önemli atıklardan birisidir. Büyük kentlerde bile yetersiz kalan altyapı tesisleri, küçük yerleşim merkezlerinde hemen hemen hiç bulunmamakta, kanalizasyon çukurlarından sızan sular yeraltısuyuna kolaylıkla

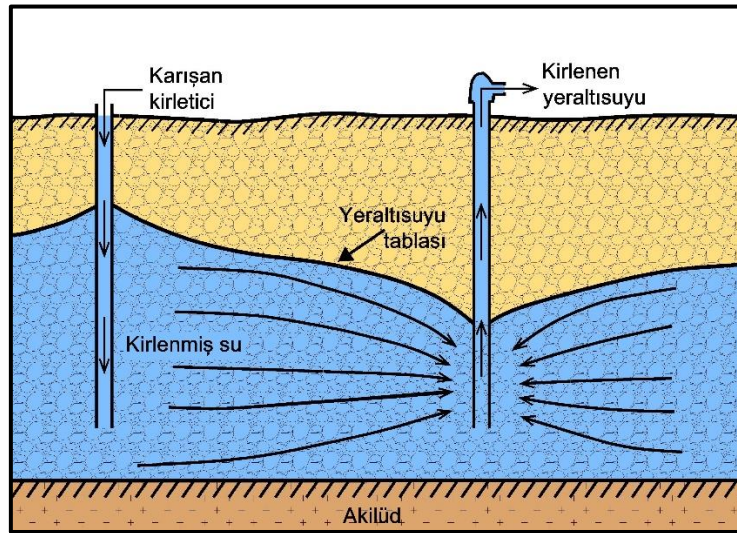
ulaşabilmektedir. Ayrıca evsel atıkların nispeten küçük bir alan içinde üretilmesi zararsızlaştırmak ve depolanmak için toplamayı beklemeleri ve yoğun nüfuslu ile iç içe bulunmaları nedeniyle zararlı etkileri artmaktadır.

Yeraltısuyunun kirlenmesine sebep olan unsurlardan birisi de, tarımsal faaliyetlerden ileri gelen sulama suyu, hayvan atıkları, suni gübre ve zirai mücadele ilaçlarından kaynaklanan kirliliktir. Çevresel kirlilik ise esas olarak deniz suyunun kıyı akiferlerine girmesi ile meydana gelir.

### Endüstriyel Kaynaklı Kirlilik

Endüstriyel kaynaklı kirlilik, kirli kaynaklarının türüne bağlı olmak üzere 4 gruba ayrılır.

**Endüstriyel atıklardan kaynaklanan kirlilik:** Endüstri tesislerinde su başlıca soğutma, kanalizasyon, imalat ve işlemede kullanılır. Atık suyun kalitesi, kullanım alanı ve endüstri sahasına bağlı olarak değişiklik gösterir. Kabuklanmayı önlemek için kullanımdan hemen önce sertliği giderilmiş soğutma suyu, kullanmadan sonra tuzlanmış ve ısınmış atık suya dönüşür. Suyun kirlenmesi, endüstriyel atık suların çukur ve havuzlar boşaltılması ve böylece yeraltısuyuna sızmasına imkân vermesiyle meydana gelir. Soğutma suyu bazen sığ kuyular aracılığıyla doğrudan yeraltına gönderilir. Bu kuyulardan atık sular, tatlı su akiferinden çok daha derindeki tuzlu su akiferine gönderilir. Endüstriyel atıkların enjeksiyonu ile oluşan yeraltı suyu kirliliği şekil 1'de görülmektedir (Kocabaş, 1993).



Şekil 1. Yakındaki bir tasfiye kuyusundan pompaj kuyusuna doğru kirletici taşınmasını (Kocabaş, 1993)

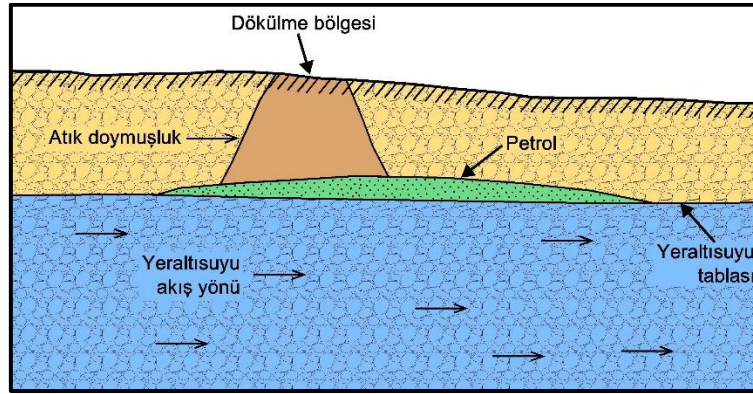
**Madencilik çalışmalarından kaynaklanan kirlilik:** Maden ocaklarında üretilen maden ve öğütme işlemine bağlı olarak çok farklı türde yeraltısuyu kirliliği oluşmaktadır. Başlıca kirleticiler, kömür, fosfat, uranyum madenleri, demir, bakır, çinko ve kurşun üretimi için çıkarılan metal cevherleridir. Taş, kum ve çakıl ocakları ise sayısal olarak çokluklarına rağmen kimyasal açıdan çok daha az önemlidirler. Yüze ve yeraltı madenleri, su tablasından daha derinlere uzandıkları için, ocakları genişletmek için su boşaltımı uygulanır. Bu sebeple pompalanan su oldukça mineralli, yüksek oranda pH ve demir, alüminyum ve fosfat içeriğine sahiptir.

Pirit mineralleri ile ilişkili, kömür madenlerinde, pirit ( $FeS_2$ ) su tablası altında kararlıdır, ancak su tablasının düşürülmesi ile oksidasyon oluşur. Oksitlenmiş pirit su ile temas ederse, çözülmüş demir sülfat ( $FeSO_4$ ) ve sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) meydana gelerek suya karışır. Bu su ile karışan

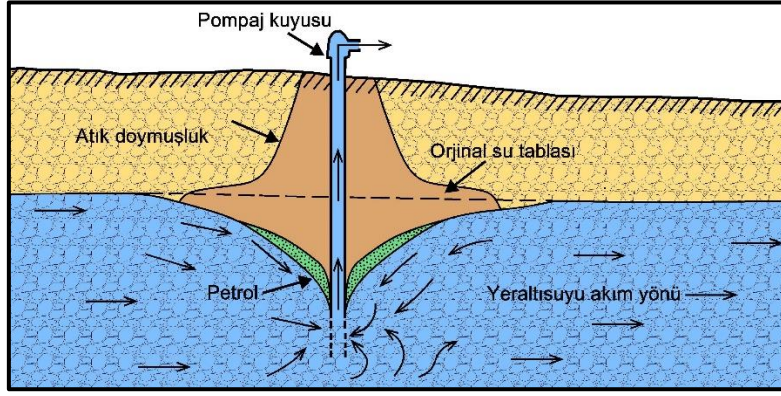
yeraltısuyu düşük pH ve yüksek sülfür ve demir içerecektir. Eski maden ocaklarının uzantılarında ve çökeltme havuzlarında meydana gelen kaçaklarda yeraltısuyu kirliliğine neden olabilir. Bu nedenle kirlilik hem aktif hem de eski madenlerle ilişkili olabilir (Kocabaş, 1993)

**Petrol sahalarından kaynaklanan kirlilik:** Petrol ve doğalgaz üretimi genelde önemli miktarda tuzlu atık suların oluşmasına neden olmaktadır. Tuzlu suyun içeriği sodyum (Na), kalsiyum (Ca), amonyak (NH<sub>4</sub>), bor (Bo), klor (Cl), sülfat (SO<sub>4</sub>), iz metaller ve yüksek miktarda çözünmüş katı maddelerden oluşur. Geçmişte petrol sahaları sularının tasfiyesi, akarsulara boşaltma veya buharlaştırma havuzları yoluyla yapıldı. Her iki durumda da, sızan suyun yeraltısuyuna ulaşması yeraltısuyunun kirlenmesine neden olmaktadır. Bütün bu tasfiye metotları, yasal düzenlemelerle yasaklanmıştır. Bugün petrol ve doğalgaz üretiminde, tuzlu atık sular tatlı su akiferlerinin altında ve jeolojik olarak bağımsız formasyonlara enjekte edilmektedir. Uygun şekilde dizaynı yapılmış kuyular, koruma borusu içinde bir iç enjeksiyon borusu içermektedir. Bu durumda bile çevredeki terk edilmiş ve tıkanmamış petrol, doğalgaz ve deneme kuyuları enjekte edilen suların göçü için dikey yollar oluşturup, üst kısımlardaki akiferlere karışarak yeraltısuyu kirliliğine neden olabilmektedir (Kocabaş, 1993).

**Tank boru hattı sızıntılarından kaynaklanan kirlilik:** Sanayi ve ticaret tesisleri de yakıt ve kimyasal maddelerin yer altında depolanmaları ve boru hatları ile taşınmaları yaygın bir uygulamadır. Bu tank ve boru hatları, yapısal bozulmalara maruz kalınca ortaya çıkan sızıntılar, yeraltısuyunun kirlenmesine neden olur, bu kirliliğin büyük bir kısmına petrol ve petrol ürünleri sebep olmaktadır. Sızıntılar özellikle, petrol istasyonlarının ve evlerin depolarından kaynaklanmaktadır. Petrol gibi su ile karışmayan bir sıvı yeraltısuyuna sızarsa, burada geçirimli toprağın içinde aşağı yönde ve su tablasına ulaşmaya kadar hareket eder. Bundan sonra su tablası üzerinde ince bir yağ tabakası gibi yayılır ve bir yeraltısuyu hareketi ile yanal yönde göç eder. Yeraltısuyunun petrol kaynaklı kirliliği ve bir pompaj kuyusuyla kontrol edilmesi Şekil 2 ve Şekil 3 verilmiştir. Sıvı radyoaktif atıklar da bazen yeraltı tanklarında depolanırlar, bu gibi yerlerde sızıntı olursa bu durum yerel yeraltı suyu kirliliğine neden olur (Kocabaş, 1993).



Şekil 2. Yeraltısuyu seviyesi üzerinden bulunan petrol ve bunun yeraltısuyu akış yönündeki hareketi (Kocabaş, 1993).

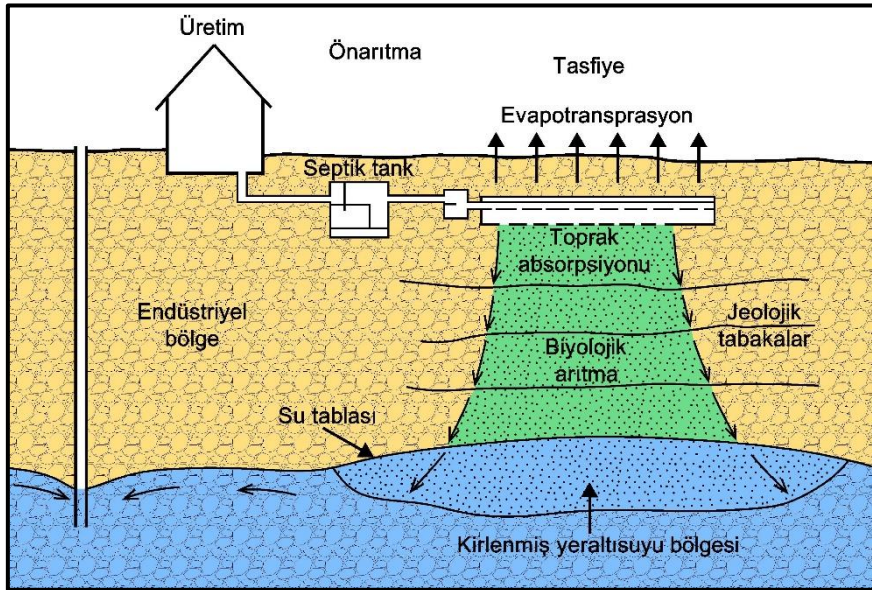


Şekil 3. Pompaj kuyusu tarafından oluşturulmuş düşüm konisi tarafından sınırlandırılmış petrol kütlesi (Kocabaş, 1993).

### Evsel Kaynaklı Kirlilik

Eser kaynaklı kirlilik, kirliliğe sebep olan kirleticilere göre kanalizasyon atıklarından kaynaklanan ve katı atıklardan kaynaklanan kirlilik olmak üzere ikiye ayrılır.

**Kanalizasyon atıklarından kaynaklanan kirlilik:** Kanalizasyon borularının su sızdırmaz olması amaçlanır, ancak kanalizasyon suları toprağa sızması sık rastlanılan bir olaydır. Sızmalar, zayıf işçilikten, bozuk borulardan, boruların ağaç kökleri tarafından kırılmasından, ağır yüklerden veya toprak kaymasından dolayı çatlamadan, sismik aktivitelerden dolayı çatlamalardan, temel desteğinin kaybolması vb., nedenlerden dolayı meydana gelir. Bununla birlikte, kanalizasyon suyu içinde askı maddelerinin toprağın çatlaklarını tıkama eğilimi ve yakın çevredeki topraktaki havasız ortamdan dolayı geçirimsizleşmesi nedeniyle küçük açıklardan sızmalar önemli olmamaktadır. Kanalizasyon borularının yukarıda sayılan nedenlerle sızdırmasının yanı sıra, arıtılmadan gelişigüzel yüzeye verilen kanalizasyon suları da yeraltına sızarak yeraltısuyu kirletmektedir. Evsel atıkların yer altında tasfiyesi ise geleneksel septik tank sistemi ile gerçekleşir (Şekil 4) (Kocabaş, 1993).



Şekil 4. Evsel atıkların, geleneksel bir septik tank sistemiyle tasfiyesi (Kocabaş, 1993)

Kanalizasyon sularının sızması sonucu, yüksek konsantre konsantrasyonlu BOD (biyolojik oksijen ihtiyacı), COD (kimyasal oksijen ihtiyacı), nitrat, organik kimyasal maddeler ve büyük

ihtimalle de bakteriler yeraltısuyuna karışabilir. Sızıntı sularının, yeraltısularını kirletmesi özellikleri tablo 2’de verilmiştir.

**Katı atıklardan kaynaklanan kirlilik:** Katı atıkların tasfiyesi, yeraltısuyu kirliliğinin önemli bir kaynağını oluşturur. Bir çöplük, evsel katı atıkların tasfiyeyi yeri olarak kullanılan herhangi bir toprak parçasıdır. Çöplüklerin çoğu basit boşaltma yerleridir ve çok azı da mühendislik yapısı özellikleri ile donatılmış ve planlanmış düzenli depolama alanlarıdır. Çeşitli nedenlerle dolgu malzemesi sızdırırsa çöplüklerden gelen sızıntılar da yeraltısuyunu kirletebilir. Bu sızıntıya sebep olabilecek suyun muhtemel kaynakları, yağış, yüzey sularının sızması, yakın çevreden buraya süzülen su veya çöplükle teması olan yeraltısuyudur (Bakış, Tombul, & Bilgin, 1999).

Tablo 2. Çöp depolama alanı sızıntı suyunun kirletici özellikleri (Duran & Cuci, 2016; Kocabaş1994)

Parametreler	Birim	Genel Aralık	Tipik Değer
BOD	mg/L	2000-40000	10000
TOC	mg/L	1500-2000	6000
COD	mg/L	3000-60000	18000
T. Süsp. Madde	mg/L	100-1000	500
Amonyak azotu	mg/L	10-2040	1000
Nitrat	mg/L	5-40	25
T. Fosfat	mg/L	5-100	40
Alkalinite	mg/L	1000-10000	3000
pH	mg/L	3,5-8,5	6,0
Sülfat	mg/L	300-10000	1000
Kurşun	mg/L	8-1020	350
Bakır	mg/L	1-1400	500
Toplam krom	mg/L	30-1600	650
Nikel	mg/L	0,1-140	50
Çinko	mg/L	0,1-1,5	0,75

Evsel kaynaklı katı atık depolama alanlarından oluşan sızıntı suları yoğun zehirli madde ve kanserojen kimyasallar içermektedir. Bu zararlı maddelerin kaynağı depolama alanındaki evsel katı atıkların ayrışması sonucu oluşan ürünlerdir (Slomczynska, Wasowski, & Slomczynski, 2004). Normalde katı atıkların nem oranı çöplüğün kendi su depolama kapasitesinin altındadır. Bu nedenle eğer yukarıda sayılan kaynaklardan gelen tehlikeler önlenemezse, çöplüklerden sızma kendi başına bir tehlike oluşturmayacaktır. Uygun bir şekilde yapılmış bir çöp deponi alanının, ortaya çıkaracağı sızıntıların yeraltısuyunu kirletmesi kolayca önlenemez. Çöp depolama alanlarından kaynaklanan kirlenme, yüksek yağış alan ve sığ su seviyesi olan yerlerde en yüksektir. Bu tür kirlenmelere sebep; BOD, COD, demir, manganez, klor, nitrat, sertlik ve iz elementlerdir. Sertlik, alkalinite ve karbondioksit, amonyak, hidrojen sülfat da yine çöplüklerin yan kirlilik ürünleridir (Kocabaş, 1993).

### Tarımsal Kaynaklı Kirlilik

Tarımsal çalışmaların gereği olarak uygulanan zirai mücadele ilaçları, verimin artması için toprağa verilen suni gübrelerin, çeşitli kullanımlar altındaki alanlarda oluşan yüzey akışı ve hayvan gübresi olmak üzere her türlü tarımsal çalışma sonucu oluşan katı ve sıvı atıkların dolaylı yollardan yeraltısuyuna ulaşması sonucu oluşan kirliliktir. Tarımsal kirlilik, kirlilik kaynaklarına göre 4 gruba ayrılabilir.

**Suni gübre ve toprak düzenlemelerinden kaynaklanan kirlilik:** Tarımsal çalışmalarda, daha fazla ürün elde etmek amacıyla tarımsal arazilere uygulanan kimyasal gübrelerin neden olduğu kirlilikler vardır. Bunlar arasında en önemlileri ise azot ve fosforun doğal düzen içindeki



dönüşümleri sonucunda oluşan kirliliktir. Atılan gübrelerin bir kısmı çoğunlukla toprak içinden sızarak su tablasına ulaşır. Başlıca gübreler fosfor ve nitrojen, fosfor ve potasyum bileşenlerdir. Fosfor ve potasyum gübreleri hemen toprak taneleri tarafından emildiklerinden nadiren kirliliğe sebep olurlar. Ancak çözünmüş halde bulunan nitrojen yalnızca kısmen bitkiler tarafından kullanılır, toprak tarafından emilir ve bu nedenle başlıca gübre kirleticisidir.

Toprak düzenlemeleri, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirmek için sulanmış arazilerde uygulanır. Kireç, jips ve sülfür yaygın olarak bu amaçla kullanılır ve önemli miktardaki toprak düzenlemeleri sonucunda yeraltısuyuna sızarak tuzluluk artışına sebep olabilir (Kocabaş, 1993).

**Hayvan atıklarından kaynaklanan kirlilik:** Hayvanların büyük şehirlerde, süt ve et temini amacıyla besledikleri alanlarda büyük miktarda atık depolanabilir. Bir büyük baş hayvan otladığı 120-150 gün içinde yarım tonun üzerinden gübre üretebilir. Böyle bir beslenme alanında, binlerce hayvanın bulunmasıyla, toprağın doğal asimilasyon kapasitesi aşılır ve toprak aşırı doymuş hale gelir. Yağış ve yüzey sularının bunlarla teması sonucunda, yeraltısularına ulaşması sonucunda kirlilik oluşur. Bu atıkların su tablasına ulaştırdığı en dayanıklı kirleticisi nitrat ve nitrojendir.

**Tarımsal mücadele ilaçlarından kaynaklanan kirlilik:** Kültür bitkileri yetiştirilen arazilerde, yabancı ot ve böceklerle mücadele amacıyla kullanılan herbisid ve pestisidlerin yıkanarak yeraltısuyuna karışmasıyla oluşan kirliliktir.

Tarımsal mücadele ilaçları, tarımsal alanlardaki yeraltısuyu kirliliğinin önemli bir sebebi olabilir. Yeraltısuyunda bu maddelerin bulunması, çok küçük miktarda bile olsa yeraltısuyundan içme suyu için önemli bir engel oluşturur. Tarımsal mücadele ilaçlarının, yeraltısuyu kalitesine etkisi, ilaç artığına, yağışa, sulama oranına ve toprağın özelliklerine bağlıdır. Bazı ilaçlar suda az çözünürler, birazı ise hem toprak tarafından emilir hem de mikrobiyolojik bozunmaya uğrarlar.

**Atık sulama suyundan kaynaklanan kirlilik:** Sulama sularının yaklaşık olarak yarısından fazla bir kısmı buharlaşma ve terleme ile tüketilir. Geriye kalan atık sulama suyu akımı olarak tanımlanan kısmı ise, ya yüzeydeki arklara akar veya yeraltısuyuna karışır. Sulamada kullanılan atık sulama suyunun tuzluluğu, 3 ile 10 kat arasında artar. Bozunma, sulama işlemi boyunca çözünen tuzların katılımlından, gübre atımı bir toprak düzenleme işlerinden gelen tuzlardan ve buharlaşma terleme sonucu artan tuz konsantrasyonundan kaynaklanır. Atık sulama suyundan dolayı kirlenme, özellikle sulamanın çok yaygın olarak yapıldığı kurak ve yarıkurak bölgeler için geçerlidir (Kocabaş, 1993).

### Çevresel Kaynaklı Kirlilik

Çevresel kirlilik, esas olarak tuzlu deniz suyunun, tatlı kıyı akiferine girmesi sonucu meydana gelir. Normal şartlarda, kıyı akiferindeki yeraltı suyu seviyesi genellikle topografyaya bağlı bir hidrolik eğimle denize, göle veya yüzeysel akışa boşalmaktadır. Ancak yeraltısuyunun hidrolik eğiminin bazı doğal olaylar ve insan etkisiyle bozulması ya da yeterli beslenmenin olmaması halinde deniz suyu yeraltı suyuna doğru hareket ederek çevresel kaynaklı kirliliğe neden olur (Erguvanlı & Yüzer, 1976).

### Sızıntı Sularının Hareketi

Yeraltı sularının kirlilik etütünün başarısı için önce suların yeraltında gözenekli ortamdaki hareketinin anlaşılması gerekir. Yeraltısuyu kirliliğinin, en önemli kirlilik kaynaklarından biri olan sızıntı sularının hareketi, yeraltı suyuna ulaşıncaya kadar ve ulaştıktan sonra yeraltısuyunun içindeki hareketi olmak üzere iki bölümde incelenir (Kocabaş, 1994).

### **Sızıntı Sularının Doygun Olmayan Bölgedeki Hareketi**

Sızıntı sularının uygun olmayan bölgedeki hareketi ve bu hareketin engellenmesi 3 kuvvetin etkisine bağlıdır. Adsorpsiyon olayı moleküler tanelerin çevresinde ince bir su zarı oluşturur. Kapilarite yüzey gerilimine etkisi ile kılcal yollarla suyu tutar veya hareket ettirir. Gravite ile su yük farkı veya hidrolik eğimin artması sonucunda genişçe boşluklarda harekete geçer. Bu kuvvetlerin birbirleri arasındaki etkisi sonucu nemin gözenekli malzeme içindeki boşluk oranına bağlıdır. Doygun olmayan bölgede, su ile doldurulmuş boşluklar hava ve diğer gazlar tarafından doldurulmuştur. Burada sızıntı suyu yerçekimi ve kapilaritenin etkisi altında suyun havaya oranına veya suyun toplam boşluk oranına bağlı olarak hareket eder (Kocabaş, 1994).

Yeraltısuyu üzerindeki tabakaların sızıntı suyundaki kirleticileri tutabilme özelliği vardır. Zemin tane çapı, sıcaklık, pH, sızıntı suyun miktarındaki değişim ve süzölen suyun bıraktığı madde miktarı gibi faktörler sızıntı suyunun hızında ve kirletici maddelerin tutulmasında önemli rol oynarlar. Zemin partiköler boyutu küçöldükçe organik ve inorganik kirletici maddelerin kolayca tutulduğu görölmöştür. Kil gibi katyon değiştirme kapasitesi yüksek toprak türleri Cu, Pb, Zn ve Fe gibi metalleri ve NH<sub>4</sub>, Mg, K, Na gibi katyonları büyük ölçüde tutarken NO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub> gibi kirletici maddelerin tutulmasında pek etkili olmamaktadır (Gönöllü, Baştürk, & Samsunlu, 1988).

### **Sızıntı Sularının Doygun Bölgedeki Hareketi**

Sızıntı suları yeraltı sularına kırışıklıklarında, kirletici maddeler yeraltısuyu akım yönünde, yeraltı suyu akım hızına bağlı olarak dispersiyon absorpsiyon kimyasal ve biyolojik dönüşümler gibi etkilerle artan mesafe ile giderek seyrelmektedir. Dispersiyon, kirleticilerin seyrelmesinde en etkili olan faktördür. Bu faktör akiferin yapısına ve akım hızına bağlı olarak etkide bulunmaktadır (Gönöllü, Baştürk, & Samsunlu, 1988).

### **Yeraltısuyunun Kirlenme Etütleri**

Yeraltısuyunun kirlenme tehlikesi bulunan bölgelerde, yeraltısuyu kirlenme etütleri iki aşamada yapılır. Birincisi yeraltısuyunun kirlenmeden korunması, ikincisi ise kirlenmiş olan yeraltısuyunun iyileştirilmesi pek zor ve pahalı bir yöntem olmasından dolayı yeraltısuyunun korunması büyük önem taşır.

### **Yeraltısularının Korunması**

Yeraltısularının korunması, yeraltısuyu kaynaklarını olumsuz yönde tehdit eden kirlilik kaynaklarının kontrol altına alınmasıdır. Bu kontrol altına alma işlemleri, kirlilik kaynaklarının tamamen izole edilmesi veya çevreye zarar vermeyecek hale getirilmesi demektir.

### **Evsel ve Endüstriyel Kaynakların Kontrolü**

Evsel ve endüstriyel kaynakların hemen hemen hepsinin katı ve sıvı atıklardan oluştuğu görölmektedir. Bu nedenle evsel ve endüstriyel kaynakların oluşturacağı kirliliğin kontrol altına alınmasının en güvenilir yollarından birisi, iyi projelendirilmiş eski depolama yollarının oluşturulmasıdır.

Katı ve sıvı depolarının sahip olması gereken özellikler ve yapılması gereken mühendislik uygulamaları şöyle sıralanabilir. Zararlı elementlerden oluşan sızıntı sularının düşey hareketi geçirimsiz taban ile önlenmeli, yatay hareketi ise düşey geçirimsiz duvarlar yardımıyla

engellenmelidir. Bu dűşey geçirimsiz duvarlar doğal veya yapay olarak oluşturulmuş geçirimsiz tabana bağlanarak, depodan kaynaklanan herhangi bir kirletici sızıntısı önlenir (McCreanor & Reinhart, 1997). Ayrıca deponun st yüzeyi kapatılarak yağış sularının depoya girmesi ve depodan zehirli gaz akışı nlenmiř olur. Yatay ve dűşey geçirimsiz duvarlarının, uzun zaman periyodunda işlemlerini yerine getirebilmeleri için, mekanik baskılara karşı duyarlı, kimyasal reaksiyonlara karşı dayanıklı, kolay inřa edilebilir olmalı, mümkünse bakım gerektirmemelidir (Kocabař, 1994).

Depolama ortamının duraylılığı, temel zemini oturmaya karşı hassasiyeti, üzerine gelecek yük koşullarında araştırılmalıdır. Temel kayada beklenilmeyen bir oturma veya deformasyon geçirimsiz tabanın hasar görmesine neden olur. Tabanın sızdırmazlığı açısından kullanılacak malzemenin jeoteknik parametreleri laboratuvarında ve arazide belirlenmelidir (Kocabaş, 1993).

### **Sondaj Kuyusu Kaynaklı Kirlilik Kontrolü**

Dört ana grubunun her birindeki, kirlilik kaynaklarının önemli bir kısmının sondaj kuyularıyla ilişkili olduğu görülür. şöyle ki endüstriyel amaçlı suları, ziraat alanlarındaki kuyular, kirl yüzey suları ile ilişkili kuyular ve birden fazla akifere ulaşan derin kuyular, sondaj kuyusu kaynaklı kirliliğin sebeplerindedir. Kuyuların hepsi kirliliğin oluşmasında önemli yer tuttuğu gibi kirliliğin kontrolünde de önemli bir yer tutar.

Kuyuların açılması kadar terkedilirken bırakıldıkları durumda önemlidir. En iyi şekilde proje edilmiş olarak terkedilmelidirler. Kuyuların aılmasında dikkat edilmesi gereken başlıca faktörlerden birisi de kuyunun kullanım amacıdır. Bu amaca ve konumuna göre gerekli koruyucu tedbirler alınır. Bu nedenle iyi ve sağlıklı bir kuyu açılması, suyu kirlenmekten koruyacak en akılcı önlemdir. Sözgelimi kuyu yeri çevredeki kirlenme kaynaklarından yüksekte olmalıdır. Muhafaza borusu yüzeyin üzerinde bitmeli, kuyu ağız çevresi yüzey sularının her yönde uzaklaştırılabilecek bir şekilde düzenlenmelidir. Terkedilecek kuyuların, yeraltısu kaynaklarının kirlenmesinin önlenmesi ve kötü kalite suyun bir akiferden diğer bir akifere geçmesini nelemek için çok özenli bir şekilde tıkanması veya sızdırmaz bir şekilde kapanması gerekmektedir (Atalay, 1983).

Terkedilmiş bir kuyunun, yöntemine göre tıkanması için yeraltısuyunun oluşum şekli ortaya çıkartılmalıdır. Eğer akifer serbest ise konu yüzey sularının kuyu içine veya muhafaza borusunun dış tarafından su seviyesine süzülmesinin önlenmesidir. Eğer akifer basıncılı ise tıkanma işlemi ile su bu akifer içinde hapsedilebilmelidir. Bir kuyu; etkili tıkanma işlemlerini zorlaştıracak bir engelin olmadığından emin olmak için tıkanmadan önce kontrol edilmelidir. Bu nokta içme suyu veren akiferlere istenmeyen suların yönelebilmesi bakımından bilhassa önemlidir (Atalay, 1983).

### **Yeraltıularının İyileştirilmesi**

Yeraltıularının iyileştirilmesi çalışmaları, kirlenmiş yeraltısuyunun tekrar kullanılabilir standart değerine ulaştırılması amacıyla yapılan ışlah çalışmalarından oluşmaktadır. Bu alışmalar temelde doğal temizlenme yöntemlerinin araştırılması uygulanmasından oluşur.

Doğal temizlenme yönteminin karakter ve derecesi zeminin veya daneli malzemelerden oluşan akiferin karakteristik özelliklerine bağlıdır. Suyun gözenekli ortamlardan süzülmesi olayının incelenmesi, doğal temizlenme mekanizmasının nasıl çalıştığının da anlaşılmasının temelini oluşturur. Kum akiferlerdeki suların hastalık yapan mikroplardan arınma mekanizmasını denetleyen bazı etkenlerin ayrıntıları ile incelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla pek çok araştırmacı gözenekli ve daneli malzemeler içindeki bakteri hareketini incelemiştir. Bu alışmalar, gözenekli ortamı dolduran durgun su içinde bakterilerin kendi başına pek az hareket ettiklerini göstermiştir. Ayrıca

bu çalışmalarda maddelerin su içinde balık gibi yuzmediklerini gostermektedir. Sonuç olarak doygun su içindeki kirlenme sadece suyun hareketi ile meydana gelir (Atalay, 1983).

Gozenekli ortam da, boşlukları kısmen dolduran havanın oksijeni, daneler arasından hareket ederken su filmi ile temas halindedir. Pekçok organizma, boşlukların içinde karşılaştığı bu oksijenle oksidasyon sonucu öldürölür. Sonuçta, zemin altından alınan su örneklerinin, yuzeydeki atık sulardan daha az bakteri taşıdığını ve yuzey altı zemin örneklerinin yuzey zemin örneklerinden daha az bakteri taşıdığını gostermiştir. Tüm bu denemeler doğal temizlenmenin önemini ortaya koymaktadır.

## SONUÇ

Çalışmada yeraltısuyu kirliliğinin, temel kirlilik kaynakları evsel, endüstriyel, tarımsal ve çevresel olmak üzere dört grupta toplanmıştır. Yeraltıularının, kirlilik etütlerinin başarısı için öncelikle kirlilik kaynaklarından sızıntı sularının, hareketinin anlaşılması gerekir. Bunun için, sızıntı sularının hareketi, doygun olmayan bölgede ve doygun bölgede olmak üzere iki ayrı gölgede incelenmektedir.

Yeraltıularının doğal yenilenme süresi yuzey sularına oranla oldukça yüksek olduğu için bir kirlenmeye durumunda kirletici unsular daha uzun süre yeraltısuunda kalmaktadır. Kirlenmenin devam etmesi durumunda ise kirlilik birikimi giderek artmaktadır. Önemli bir su kaynağı olan yeraltıularının koruması çalışmalarının ve kirlilik mekanizmasının ortaya konulması büyük önem taşımaktadır.

Yeraltıularının kirlenme etütleri, yeraltısuunun kirlenmeden korunması ve kirlenmiş olan yeraltısuunun iyileştirilmesi olarak ayrılmış ve kirlenmeyi denetleyen faktörler maddeler halinde verilmiştir. Yeraltısuyu kirliliğini denetleyen temel unsurlar; yeraltısuunun yuzeyden derinliği, kirleticinin sızma hızı, akiferin hidrojeolojik özellikleri, topoğrafik eğim, zemin özellikleri ve vadoz bölge karakteristikleridir. Bu özelliklerin yanında kirletici maddenin; yeraltısuuna ulaşma zamanı, yeraltısuuna karşıma derinliği, kimyasal uygulanması ile sulu ortama geçiş zamanını ve kimyasal maddenin yeraltında bozulma hızı da kirliliğin denetleyen parametrelerdendir.

Yeraltısuunun kirlenmesi ve kirlenme derecesinin ülkeden ülkeye ve yerel olarak değişiklikler göstermesine karşılık kirlenmenin temel nedenlerini doğal ve doğal kökenli olmayan olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Doğal kökenli kirliliğin önlemek mümkün olmamakla birlikte doğal kökenli olmayan kirlilik kirlenmeye sebep olan unsurların denetlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması ile önlenilmekte veya azaltılabilmektedir.

## KAYNAKÇA

Atalay, E. (1983). *Yeraltısuyunun sağlık yününden korunması*. Ankara: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Hidrojeoloji Eğitim Semineri.

Bakış, R., Tombul, M., & Bilgin, M. (1999). Çöp sızıntı sularının ağır metal içerikleri ve yeraltısuyundaki kirlilik yayılmalarının multi-flow programı ile simule edilmesi. *Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu* (s. 433-442). İstanbul: İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstaş Genel Müdürlüğü.

Duran, E. B., & Cuci, Y. (2016). Katı atık düzenli depolama sahası sızıntı suyunun fizikokimyasal arıtım yöntemleriyle arıtılabilirliğinin araştırılması. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2), 104-110.

Erguvanlı, K., & Yüzer, E. (1976). Keban Barajı temellerinde ve dolayındaki karstlaşmanın etkileri. *6. Teknik Kongre*. İstanbul: İnşaat Mühendisleri Odası .

Fried, J. J. (1975). *Groundwater pollution: Theory, methodology, modelling and practical rules*. NewYork: Elsevier Scientific Publishing Company.

Gönüllü, M. T., Baştürk, A., & Samsunlu, A. (1988). Açık katı atık depolama yerlerinde oluşan sızıntı sularının, yeraltısularını kirlenmesi. *Ulusal Birinci Hidroloji Sempozyumu*, (s. 229-235). Ankara.

Kocabaş, İ. (1993). *Yeraltısuyu kirlenmesi ve tuzlu su girişinin modellenmesi*. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Müh. AD., Yüksek Lisans Ders Notları (yayımlanmamış).

Kocabaş, İ. (1994). *Yeraltısuyu kirliliği teorisi ve modellenmesi*. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Müh. AD. Yüksek Lisans Ders Notları (yayımlanmamış).

McCreanor, P. T., & Reinhart, D. R. (1997). Mathematical modelling of waste heterogeneities in leachate recirculating landfills. *International Conference on Solid Waste Technology and Management*. Philadelphia, USA: Proceedings of the Thirteenth International Conference on Solid Waste Technology and Management.

Slomczynska, B., Wasowski, J., & Slomczynski, T. (2004). Effect of advanced oxidation processes on the toxicity of municipal landfill leachates. *Water Science and Technology*, 49(4), 273-277.

Wang, Z., Zhang, Z., Lin, Y., Deng, N., Tao, T., & Zhuo, K. (2002). Landfill leachate treatment by a coagulation-photooxidation process. *Journal of Hazardous Materials*, 95((1-2)), 153-159.

## Mikroalglerde Allelopati

Gamze DOĞDU<sup>1</sup>

### Giriş

Algler sucul ekosistemlerde gelişen, prokaryotik ve ökaryotik yapılarıdaki büyük bir organizma grubunu oluşturup hücrelerde fotosentez yoluyla inorganik karbonun sabitlenmesinden sorumludurlar (Guo & ark., 2022). Algler makro ve mikro olmak üzere iki gruba ayrılıp deniz yosunu olarak bilinen ekonomik değeri yüksek makroalgler, medikal amaçlar, gıda kaynağı ve tarımsal gübre olarak kullanılan kompleks yeşil (*Chlorophyceae*), kahverengi (*Phaeophyceae*) ve kırmızı (*Rhodophyceae*) alg gruplarını oluşturur. Su kütlelerinin en düşük seviyelerinde veya okyanus boyunca bulunabilen tatlı veya tuzlu sularda yaşayan mikroskobik ve tek hücreli mikroalgler ise, yeşil (*Chlorophyceae*), altın sarısı algler (*Chrysophyceae*) ve diatomlar (*Bacillariophyceae*) olmak üzere üç gruba ayrılmışlardır (Badar & ark., 2021). Yapılarındaki yüksek yağ içerikleri (%20-40) ve hızlı biyokütle gelişimine sahip olmalarından dolayı algler, biyodizel gibi sürdürülebilir yeşil enerji kaynaklarının üretilmesiyle yalnızca iklim değişikliğiyle mücadelede ve karbon nötralizasyonuna yardımcı olmakla kalmayıp, aynı zamanda yeni fırsatlar yaratarak ekonomik büyümeyi hızlandıran, çeşitli endüstrilerde kullanılma potansiyeline sahip çok yönlü kaynaklardır (Feng & ark., 2022; Roy & ark., 2022; Dogdu Okcu, 2019).

Fakat alglerin birçok avantajına karşılık, son yıllardaki küresel çaplı en büyük çevre felaketlerini oluşturan küresel iklim değişikliği ve sucul ekosistemde azot (N) ve fosfor (P) gibi artan besin maddesi (nutrient) sonucu oluşan ötrofikasyon problemleri, “alg patlaması” adı verilen, uygun hidroloji, besin ve iklim koşulları altında su yüzeyinde alglerin hızlı büyümesi ve birikmesine yol açmaktadır (Minaudo & ark., 2021; Sha & ark., 2021). İklim değişikliğinin sucul ekosistem üzerindeki dönüştürücü etkisi bu yüzyılda yadsınamaz bir gerçektir. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), antropojenik aktivitelerin sanayi öncesi seviyelerin yaklaşık 1 °C üzerinde bir küresel ısınmaya sebep olduğunu bildirmiş olup, küresel ısınma mevcut oranda artmaya devam ederse, bu ısınmanın 2030 ile 2052 arasında 1.5 °C'ye ulaşacağı tahmin edilmektedir (IPCC, 2018). NASA ve Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi tarafından yapılan bağımsız analizlere göre, 2021'de Dünya'nın küresel ortalama yüzey sıcaklığı 2018'e bağlı olarak kaydedilen en sıcak altıncı yıl olmuştur (NASA,2022). Zararlı alg patlamaları (ZAP) ve iklim değişikliği arasındaki doğrudan ilişki ilk olarak Birleşmiş Milletler Hükümetler arası İklim Değişikliği Panelinin (IPCC) Değişen İklimde Okyanus ve Kriyosfer Özel Raporu'nda (SROCC) bildirilerek Eylül 2019'da onaylanmıştır (IPCC, 2019). Olası ZAP'ların temel küresel nedenleri birçok araştırmacı tarafından, okyanus ısınmaları, deniz ısı dalgaları, oksijen kaybı, artan termal tabakalaşmanın yanı sıra ötrofikasyon ve kirliliğin etkilerine dayandığı bildirilmiştir (Minaudo & ark., 2021; Gobler, 2020). Artan nüfusa bağlı olarak gıda, su, sanitasyon ve enerji taleplerinin önümüzdeki yüzyılda keskin bir şekilde artması beklenmektedir. N ve P gibi önemli miktarda besin maddesi içeren evsel ve endüstriyel atık suların endüstriyel ve tarımsal faaliyetler nedeniyle deşarj edilmesi nedeniyle küresel su sistemlerinin antropojenik ötrofikasyonu hızlanmaktadır (Xiao & ark., 2019). Artan nüfusa karşılık gıda arzı için gerekli N ve P kaynaklarının 1970'den bu yana sırasıyla yaklaşık 9 kat ve 3 kat arttığı tahmin edilmektedir (Glibert, 2020). 20. yüzyıldan beri iklim değişikliği ve yüksek nutrient yükü

<sup>1</sup> Dr.Öğr.Üyesi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Gököy Kampüsü, 14030, Bolu

sonucundaki ötrofikasyon, sucul biyoçeşitliliğin bütünlüğünün bozulması, ekosistem direnci, içme suyu kıtlığı gibi birçok su kalitesinin bozulması problemlerinden kaynaklanan su yetersizliklerinin ve ZAP'ların yüksek sıklığına bağlı birçok bölgede turizm ve yerel balıkçılık üretimini etkileyen büyük ekonomik kayıpların en önemli nedenlerinden biridir (Nwankwegu & ark., 2019; Liu & ark., 2022). Alg yetiştiriciliği, üretkenlik, biyokimyasal bileşimin çeşitliliği ve sucul topluluk süksesyonu ekolojik olarak ötrofikasyon prosesinden etkilenirler (Le Moal & ark., 2019). İklim değişikliğine ve ötrofikasyona bağlı ZAP'lar, dünya çapında tatlı su ve deniz kıyı suyu ekosistemleri, rekreasyon, halk sağlığı ve ekonomiler üzerinde ciddi etkileri olan son zamanlarda hararetle tartışılan bir alandır (Wang & ark., 2017; Glibert, 2020; Heil & ark., 2021). ZAP'ların sulara ışık geçirgenliğinin ve oksijen içeriğinin azalmasına bağlı sucul hayvanlardaki ölüm oranlarının artmasına, yayımlanan alg toksinlerinin tüketimine bağlı da insanlarda sağlık sorunlarının artmasına neden olduğu raporlanmıştır (Anderson, 2009; Goes & ark., 2018). Ayrıca, 2050 yılına kadar insan nüfusunun yaklaşık 10 milyar olacağı ve bunun da mevcut nüfusa göre %30'luk bir artışa eşit olacağı tahmin edilmekte olup bu artışın yarısından fazlasının Afrika'da gerçekleşmesi beklenmektedir (UN General Assembly, 2015). Özellikle gelişmekte olan ülkelerde deniz ürünleri önemli bir protein kaynağı olduğundan ZAP'ların gıda güvenliğini de olumsuz etkilediği görülmektedir (FAO, 2016).

Mikroalg allelopatisi, toksik algler tarafından zararlı alg patlamalarının oluşması esnasında meydana gelen ve predatör (avcı) performansı üzerinde ölüm veya büyümenin inhibisyonu (engellenmesi) gibi negatif etkileri olan bir kimyasal savunma stratejisidir (Granéli & ark., 2008). Allelopati, oldukça kompleks bir dinamik proses olup alg patlamasını oluşturan çeşitli alg türlerinin çeşitliliği, fitoplankton rekabeti ve türlerin baskınlığı üzerinde önemli bir olgudur (Zhang vd., 2019; Granéli & ark., 2008). Allelopatide, kimyasal ve biyolojik değişkenlerin etkilerinin analizi ve çok ölçekli faktörlerin birbirlerine bağlı etkilerinin bilinmesi çok zor olup, bu da ayrıntılı araştırmaların her zaman gerekli olduğunu göstermektedir (Macías & ark., 2019). Bu anlamda, sucul sistemlerdeki allelopatinin rolü hakkında çok az şey bilinmektedir. Allelopati geniş anlamda, algler, bitkiler veya mantarlar gibi diğer komşu organizmaları etkileyen, biyolojik olarak aktif metabolitler üretebilen organizmaların varlıklarını ifade eden herhangi bir süreci ifade etmektedir (Legrand & ark., 2003). Sucul ekosistemlerde allelopati fitoplanktonlar arasında önemli bir faktör olup, allelokimyasallar olarak bilinen fitotoksinler ve ikincil metabolitler yeşil alglerden, diatomlardan, siyanobakterilerden ve dinoflagellatlardan izole edilebilirler (Leflaive & Ten-Hage, 2007; Legrand & ark., 2003; Gross, 2003).

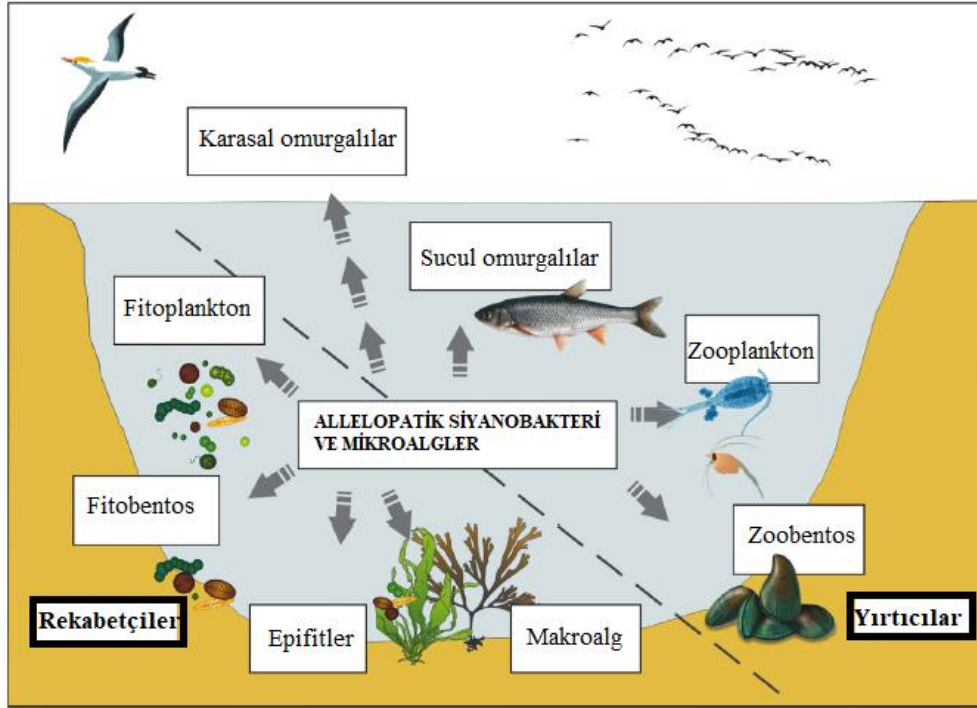
Sonuçta allelopatik inhibisyon alg patlamasını kontrol etmek için çevreyle dost, yeni ve umut verici bir metot sağlamıştır. İkincil metabolit ürün olarak salınan allelokimyasalların algler üzerindeki inhibitör etkisi bugünkü araştırmalarda genellikle laboratuvar aşamasında allelokimyasalların doğal sulara alg patlamasına karşı az sayıda uygulanma çalışması mevcuttur. Bu çalışmada, mikroalglerin gelişimini ve çoğalmasını etkileyen allelopatik etkiler üzerine güncel araştırmalar özetlenmiş, allelokimyasalların üretimini ve birikimini etkileyen biyotik (canlı) ve abiyotik (cansız) faktörler de ayrıntılı olarak sunulmuştur.

### **Mikroalglerde allelopati kavramı**

“Allelopati” terimi Molisch (1937) tarafından ifade edilen, bir bitkinin bir başka bitkiyi kimyasal manada etkilemesi prosesi olarak ifade edilen Yunanca “allelon” ortak ve “pathos” zarar veya etki kelimelerinden meydana gelmiştir. Rice (1984), bu tanımın içerisine mikroorganizmaları (bakteri, mantar ve mikroalg) alarak hedef organizmanın üzerindeki pozitif ve negatif etkiler olarak tanımlamıştır. Benzer olarak Uluslararası Allelopati Birliği (IAS), allelopatiyi bitkiler, algler, bakteriler ve mantarlar tarafından üretilen tanımsal ve biyolojik sistemlerin gelişimini ve büyümeyi etkileyen ikincil metabolitleri içeren herhangi bir proses çalışmasının bilimi olarak adlandırmıştır. Genel anlamda allelopati, bir organizmanın bir veya birden çok biyomolekül üreterek diğer

organizmaların çoğalma, hayatta kalma ve büyümesini etkileyen biyolojik bir olgudur (Chaib & ark., 2021). Bu tanım hem uyarıcı hem de engelleyici etkilerle beraber doğrudan ve dolaylı biyokimyasal etkileşimleri içerir (Rice, 1984).

Alg allelopatisi, kompleks ekolojik ve fizyolojik bir olgu olup mikroalgler tarafından üretilen ikincil metabolitlerden dolayı allelopatik etkileşimler laboratuvar ve arazi ölçekli çalışmalarla ortaya koyulmaktadır. Allelopatinin predatörlere (avcı) ve rekabetçilere karşı bir strateji olduğu bilinmekte olup Şekil 1'de mikroalglerin olası allelopatik etkileşimleri gösterilmiştir (Sarker & ark., 2006).



Şekil 1. Sucul ekosistemlerde siyanobakteriler ve mikroalglerin olası allelopatik etkileşim tiplerine örnekler (Śliwińska-Wilczewska & ark., 2021).

Alg allelopatisi ilk olarak Harder (1917), Rice (1984) ve Akehurst (1931) tarafından ortaya koyulmuş olup, alglerin çok büyük morfolojik ve biyokimyasal çeşitliliğinden dolayı bitkilere göre daha az gelişmiş organizmalar olmasına rağmen üretilebilecek yeni maddelerin detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Alg allelopatisi beş şekilde etkili olabilmektedir: (1) bir algden gelen kimyasallar başka bir alg büyümesini etkiler, (2) algler tarafından salgılanan kimyasallar kendi büyümesini (alg ototoksitesisi) engeller, (3) alg toksinleri diğer mikroorganizmaların gelişimi etkiler, (4) alg toksinleri gelişmiş bitkilerin büyümesini etkiler ve (5) diğer alg, mikroorganizma veya bitkilerin gelişimini, dağılımını etkileyebilen nutrientlerin (besin maddesi) elde edilebilirliğini ve birikimini etkiler (Inderjit & Dakshini, 1994).

Allelopatinin, çevreye uyum için bir rekabet stratejisi olduğu düşünülmektedir (Cummings & ark., 2012). Aynı zamanda, allelopati bazı fitoplankton türlerinin diğer türler üzerinde rekabet avantajı kazanabileceği bir adaptasyondur (Legrand & ark., 2003). Alg türleri rekabeti, sucul olan ekosistemlerdeki alg topluluğu fonksiyonlarını ve yapısını ekolojik olarak belirleyen hayati bir süreçtir. Algler sadece sınırlı kaynaklarda büyüme rekabeti yaşamakla kalmaz, aynı zamanda rakibin büyümesini etkileyen girişim rekabeti yoluyla birbirleriyle etkileşime girerler (Gomes & ark., 2015). Allelopati ve rekabet kavramlarını birbirinden ayırmak için önemli tartışmalar olsa da bazı araştırmacılar allelopatinin ışık, nutrient ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gibi çeşitli kaynaklar için rekabetin bir bölümü olduğu fikrini savunmaktadır (Larsen & ark., 1998). Bir suşun kararlılığı, rekabet gücü



kapasitesine ve türlerin genetik mirasına bağlıdır. Allelopatik bileşikler üreten bir suş, rekabetçileri üzerinde önemli bir avantaja sahip olacaktır (Wolfe, 2000). Belirli alglerin diğer algler üzerindeki allelopatik etkileri, karma büyüme deneylerine başvurularak belgelendirilir. Potansiyel olarak toksik türler kesikli kültürde diğer türler ile karıştırılarak zengin büyüme ortamında kültür büyümeye bırakılır. Büyüme ortamı genel olarak makronutrientler bakımından zengin olup nutrientlerin %10-15'inden azı algler tarafından durağan büyüme fazına eriştiklerinde alınır. Bu nedenle, makronutrientler dışında pH ve ışık kesikli kültürde alglerin büyümesini sınırlandırır (Granéli & Hansen, 2006). Birçok çalışma, alg süksesyonunun ve alg patlamasının allelopatik bileşiklerin oluşumuyla alakalı olduğunu ortaya koymuştur (Rengefors & Legrand, 2001). Örneğin, tatlı sularda alg patlaması oluşturan yeşil alg *Botryococcus braunii*, çeşitli fitoplanktonlar ve zooplankton türleri üzerinde olumsuz etkilere sahip olan serbest yağ asitlerini salgılar (Chiang & ark., 2004). Alg süksesyonundaki allelopatiyeye başka bir örnek olarak, domoik asidin toksik olmayan diatom *Rhizosolenia alata* ile eş zamanlı olarak *Pseudonitzschia pungens* tarafından üretilmesi verilebilir. Bu iki dominant diatomun karma kesikli kültürleri kullanılarak bu türler arasında çift taraflı bir allelopatik etkileşimin meydana geldiği bildirilmiştir. *R. alata* süzüntüsünün *P. pungens*'in büyümesi üzerinde olumsuz bir etkisi olduğu gösterilmiş olup Nova Scotia'daki çoğu su ürünleri yetiştiriciliğinde baskın diatom *R. Alata*, muhtemelen toksik *P. pungens*'in tektürlü patlamasının gelişimini engelleyebilmektedir. Fakat *P. pungens* tarafından üretilen domoik asidin rekabetçi bir şekilde *R. alata*'yı ortamda olumsuz etkilediğini desteklemek için hiçbir kanıt gösterilmemektedir. Bunun nedeni, kesikli kültür deneylerinde *R. alata* üzerinde *P. pungens* süzüntüsünün etkisinin test edilmemiş olmasıdır (Subba Rao & ark., 1995).

Diğer taraftan allelopati kavramı ve evrimin varlığının birlikteliği oldukça önemlidir. Allelopatinin etkisini değerlendirmede, aynı habitatta uzun süreli birlikte yaşam için, organizmalar zorunlu olarak birbirleriyle uyum gösterirler. Doğal seçimde allelopatik bileşiklerin üretimi artacak ve böylece türler arasında rekabet azalarak kaynaklar iyileştirilmiş olacaktır (Leflaive & Ten-Hage, 2007). Bunun yanında allelopatiyeye dirençte farklılıklar var olduğunda, bir arada yaşayan hedef organizmalar arasında evrim süreci göz önünde bulundurulduğunda sonuçta uyum gerçekleşecektir. (Fistarol & ark., 2003). Tüm bunlara örnek olarak, Rice (1984) çalışmasında, *Nitzschia frustulum* ve *Chlorella vulgaris*'in karma kültüründe iyi bir büyüme gözlemlerken, *Chlorella vulgaris* yalnız büyüdüğünde popülasyon büyüklüğünde %40'luk bir azalmaya uğradığını ortaya koymuştur. Ayrıca çalışmada, planktonik alglerden *Asterinoella formosa*'in, *Chlorella vulgaris* varlığında hücre bölünmesi oranında bir azalmaya sahip olduğu gözlemlenmiştir. Diğer yandan Procter (1957), yeşil alg *Haematococcus pluvialis*'in *Chlamydomonas reinhardtii* ile büyüdüğünde öldüğünü ve *Scenedesmus quadricauda*'nın varlığında ciddi şekilde inhibe edildiğini bildirmiştir.

### Mikroalglerde allelopati mekanizması

Sucul çevrede allelopati çalışmaları şunlara odaklanmaktadır: (1) organizma tarafından üretilen allelopatik bileşiğin kanıtlanması, (2) bileşiklerin üretimini etkileyen faktörlerin anlaşılması, (3) bileşiklerin karakterizasyonunun ve biyosentez yollarının tanımlanması, (4) allelopatik ilişkilerin öneminin ve rolünün tahmin edilmesidir. Bu amaçlarla, klasik kültürden modern kimyasal araştırmalara ve hatta moleküler tekniklere kadar geniş ölçekte metotlara ihtiyaç duyulmaktadır (Leflaive & Ten-Hage, 2007). Allelopatik etkileşimler tanımlamak için en yaygın kullanılan yöntemlerden biri klasik kültür araştırmalarıdır: hedef alg, süzüntü ile zenginleştirilmiş bir ortamda allelopatik aktivitesi incelenen başka bir alg kültüründen üretilir. Biyo-deneme ne olursa olsun önemli olan konu, indikatör veya hedef suşun seçilmesidir. Sahada birlikte var olan suşlar, birbirine iyice adapte edilmiş olmalıdır. Sonuçta allelopati aynı topluluğa ait türler arasında nadiren görülebilmektedir (Reigosa & ark., 1999).

Mikroalglerde allelopati, enzim aktivitesi, fotosentez, hücre yapısı ve diğer fizyolojik durumları etkilemektedir. İlk olarak enzim fonksiyonlarındaki değişiklikler, mikroalg organizmasının doğrudan veya dolaylı olarak büyümesini ve fizyolojik karakterizasyonunu etkiler (Tan & ark., 2019). Enzimler, çoklu fonksiyonları katalizleyen tüm organizmalar için gereklidir. Mikroalglerden siyanobakteriler glikosidaz ve peptidaz inhibitörlerini üretirler (Gross, 2003). Tayvan'dan araştırmacılar, niyofilmden izole edilen siyanobakterilerin 20%'sinin glikosidaz inhibitör aktivitesine, allelopatik aktiviteye ve otlayıcılarda (grazer) toksisisteye neden olduğunu ortaya koymuştur (Jüttner & Wu, 2000).

Diğer yandan, fotosentez birincil üreticilerde temel bir fizyolojik süreç olup, bu nedenle allelopatik rekabetçilerin inhibisyonu için önemli bir hedefdir (Gross, 2003). Literatür verileri, birçok allelopatik bileşiğin tilakoid membranlara zarar vererek, mikroalg hücrelerinde daha az klorofil içeriğine ve fotosistem II'de elektron taşınmasının engellenmesine neden olduğunu göstermiştir (Gleason & Paulson, 1984). Algal fotosistem, fotosistem I(PSI), fotosistem II(PSII) ve bir elektron transfer gövdesinden oluşmaktadır (Larkum & ark., 2003). Allelokimyasalların etkisi altında, alg fotosentetik pigmentler ve belirli protein kompleksleri etkilenmektedir. Büyümenin inhibisyonu, fotosentezin inhibe edilmesiyle organizmanın ölümü siyanobakteriler ve diğer mikroalgler için oldukça yaygın bir faaliyettir (Leflaive & Ten-Hage, 2007). Ayrıca, allelokimyasallar alg fotosentetik sistemlerinde elektron transferini bloke ederek adenosin trifosfat (ATP) sentezini etkilerler (Tan & ark., 2019).

Bunların dışında, hücre zarı, hücre ile dış çevresi arasındaki madde ve enerjinin alışverişinde önemli bir engeldir. Hücre zarı bir kez hasar gördüğünde, sadece organellerin yapısı ve işlevi etkilenmez, ayrıca sulu ortamdaki çeşitli maddeler hücreye girerek hücre içi bileşenler dışarı atılır (Tan & ark., 2019). Araştırmalar, belli alglerin hücre zarındaki temel yağ asitlerinin oksitleneceğini ve allelokimyasalların etkisi altında doymamışlık derecesinin artarak hücre zarı akışkanlığını artarak seçici geçirgenliğin azalacağını göstermektedir (Xin & ark., 2010). Ek olarak, allelokimyasallar, alglerin solunumunu, gen ekspresyonunu ve protein sentezini değiştirerek büyümesini inhibe ederler (Durrant & ark., 1990). Alkaloitlerden 12-epi-hepalindol E izonitril ve Calothrixin A sırasıyla siyanobakteri *Fischerella sp* ve *Caloathrix*'den izole edilen algisidal metabolitlerdir. Her ikisinin de RNA sentezini inhibe ettiği ve sonuçta *Bacillus subtilis* hücrelerinde protein sentezini inhibe ettiği kanıtlanmıştır. Bu bileşikler *Escherichia coli* RNA polimerazı doğrudan engellemektedir (Bacellar Mendez & ark., 2013).

### Allelokimyasalların yapısı ve özellikleri

Allelokimyasal proseslerde yer alan biyomoleküler ikincil metabolitler (organizmanın temel fizyolojik proseslerinde doğrudan yer almayan) veya birincil metabolitler (hücrenin veya organizmanın çoğalmasında, gelişiminde ve normal büyümesinde yer alan) olup bunların hepsine birden allelokimyasallar (AK) ismi verilir (Chaib & ark., 2021). Tablo 1'de son yıllardaki farklı alg gruplarının/türlerinin başka alg türlerine karşı allelopatik ilişkileri verilmiştir.

Mikroalgler olağanüstü çeşitte biyolojik olarak aktif metabolitler üretmekte olup allopati topluluk yapısını, nüfus dinamiklerini ve mikroalglerin predatörlere ve potansiyel otlayanlara karşı kimyasal savunmasını etkilemektedir (suda yaşayan omurgasızların larvaları dahil). Mikroalglerin ikincil metabolitleri, çok sayıda peptit ve amino asitleri içeren yağ asitlerinden alkaloitlere kadar tüm doğal ürün kimyasal sınıflarını içerir. Bu kimyasallar hedef organizma ve etrafındaki organizmalar üzerinde pozitif (pozitif allelopati) ve negatif (negatif allelopati) etkilere sahiptir. Canlı organizmalar arasında bilgi alışverişi amacıyla (biocommunicator) da kullanılan bu kimyasallar, savunma saldırı tepkisinden uyarı sinyali veya sosyal davranışa kadar organizmaların çoğu davranışını yönetirler (Inderjit & Keating, 1999). Mikroalglerden sağlanan biyoaktif metabolitler, antagonist türlerin

üremesi, büyümesi ve hayatta kalması üzerine özellikle negatif (engelleyici) ve türler arası rekabet avantajı sağlar (Berry, 2011). AK'lar, kabarcık oluşumu, hücre tahribi, büyüme inhibisyonu veya hedef hücre ölümlerine neden oluşturabilir. AK'lar aynı zamanda diğer mikroorganizmaları veya fitoplankton türlerinin büyümesini de olumlu yönde etkileyebilir (Ali & ark., 2021).

Fizyo-kimyasal stresler altında (ışık, besin veya sınırlı alan şartları) hedef organizma daha hassas olurken, allelopatik bileşiklerin üretimi geliştirilebilir (Leflaive & Ten-Hage, 2007). Çevresel stres (nutrient, ışık, sıcaklık) sucul fototorofiklerde allelopetik bileşik üretimini veya hedef organizmanın hassasiyetini artırır (Reigosa & ark., 1999). Nutrient konsantrasyonu karşılıklı etkileşim üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahiptir. Nutrient stresi birçok alg tarafından allelopatik bileşiklerin üretilmesini artırır (Rengefors & Legrand, 2001). Örneğin, fosforun sınırlı olduğu şartlarda, allelopatik bileşiklerin *T. Doliolum* tarafından salınması 30 kat artış göstermiştir (von Elert & Jüttner, 1996).

Bununla beraber allelokimyasalların doğrudan çevresel su ortamına uygulanmasıyla yüksek konsantrasyonlarından dolayı sucul organizmalar üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Bunun yanı sıra, bu biyoaktif maddeler yeni bir antimikrobiyal ajan, herbisit ve biyopestisitlerin kaynağıdır (Berry, 2011). Bu nedenle, alg büyümesini inhibe etmek için yavaş salınan algisitlerin kullanımı, sularda alg patlamasını kontrol etmek ve ekolojik riskleri azaltmak için daha etkili bir yöntem olabilir (Viriyatum, 2013).

Aşağıda tanımlanan ikincil metabolitler, tarımda, tıp ve farmasötik endüstrilerinde kullanılan bileşiklerin yalnızca bir parçasıdır. Günümüzde, bu alandaki çalışmalar tüm dünya çapında hızla gelişmektedir. Fakat ikincil metabolitlerin eylem mekanizması yeterince anlaşılmamış veya tamamen bilinmezdir. Allelopati çalışmaları üzerinde daha çok araştırmanın yapılması oldukça acildir. Bu konuda muhtemelen allelopati için daha fazla araştırma evrimsel ve ekolojik perspektiflerden allelokimyasalların rolünün daha iyi anlaşılması ve endüstriyel uygulamalara yönelik çalışmaların geliştirilmesi için en acil ihtiyaçtır (Śliwńska-Wilczewska & ark., 2021).

Tablo 1'de de görüldüğü gibi, hedef türlerin doğal karakteri ve fizyolojik durumu onların allelokimyasallara direnç derecesini veya detoksifikasyonunu güçlü bir şekilde belirlemektedir (Suikkanen & ark., 2005).

Tablo 1. Farklı alg grup/ türlerinin alg türlerine karşı allelopatik etkileri

Grup/Türler	Allelokimyasallar	Hedef organizma	Etki	Referanslar
<i>Oocystis borgei</i>	bilinmiyor	<i>Microcystis aeruginosa</i>	membran bozunması, esteraz aktivitelerin ve ışıl sonumun engellenmesi	Wang & ark., 2022
<i>Chaetoceros gracilis</i>	bilinmiyor	<i>Pleurochrysis carterae</i>	büyümenin engellenmesi	Dogdu Okcu & ark., 2021
<i>Skeletonema costatum</i>	bilinmiyor	<i>Alexandrium minutum</i>	büyümenin engellenmesi	Wang & ark., 2017
<i>Skeletonema costatum</i>	bilinmiyor	<i>Karenia mikimotoi</i>	membran tahribatı sonucu nekroz ve ölüm	Guo & ark., 2022

<i>Chaetoceros curvisetus</i>	2- ((2-siyanofenil) amino)-2-oksoetil, 3-sikloheksil propanoat	<i>Skeletonema costatum</i>	büyümenin engellenmesi	Zhang & ark., 2019
<i>Thalassiosira weissflogii</i>	bilinmiyor	<i>Phaeocystis globosa</i>	büyümenin engellenmesi	Wang & ark., 2021
<i>Pyropia haitanensis</i>	bilinmiyor	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i> ve <i>Pseudo-nitzschia multiseriata</i>	büyümenin engellenmesi ve ölüm	Patil & ark., 2020
<i>Alexandrium pacificum</i>	bilinmiyor	<i>Thalassiosira pseudonana</i>	fotosentez, enerji metabolizması ve büyümenin engellenmesi, oksidatif stres oluşumu	Mao & ark., 2021
<i>Alexandrium minutum</i>	bilinmiyor	<i>Chaetoceros muelleri</i>	<i>C. muelleri</i> 'nin membran bozunması ve PSI ve PSII aracılı fotosentetik elektron taşınmasının engellenmesi	Long & ark., 2021
<i>Ulva lactuca</i>	bilinmiyor	<i>Heterosigma akashiwo</i> , <i>Alexandrium tamarense</i> ve <i>Skeletonema costatum</i>	büyümenin engellenmesi ve ölüm	Nan & ark., 2008

Tablo 1. Devamı

<i>Chlorella vulgaris</i> ve <i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	bilinmiyor	<i>Botryococcus braunii</i>	büyümenin engellenmesi	Song & ark., 2013
<i>Pyropia haitanensis</i>	bilinmiyor	<i>Skeletonema costatum</i>	büyümenin engellenmesi	Patil & ark., 2020
<i>Karenia mikimotoi</i>	bilinmiyor	<i>Dunaliella salina</i>	büyümenin engellenmesi	Dong & ark., 2016
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	bilinmiyor	<i>Heterosigma akashiwo</i>	büyümenin engellenmesi	Wang & ark., 2020
<i>Skeletonema costatum</i>	bilinmiyor	<i>Prorocentrum donghaiense</i>	büyümenin engellenmesi (otoinhibisyon)	Zhang & ark., 2015

Siyanobakteriler ve fotoototrofik mikro-ökaryotlar filogenetik olarak birbirinden oldukça farklı olmasına rağmen ekolojik yönden her iki grup da “mikroalg” terimi olarak ifade edilmektedir. Tatlı su algleri deniz algleri gibi, Tablo 2’de verildiği gibi geniş miktarda ikincil metabolitler üretmekte olduğu bilinmekte olup bu çeşitli bileşikler alg büyümesi veya hücre tahribatı sırasında çevreye salınırlar (Leflaive & Ten-Hage, 2007). Bu bileşikler organizmaları pozitif ve negatif yollarla etkilemekte olup son yıllardaki birçok çalışma algler tarafından salgılanan ikincil metabolitlerin çeşitli organizmaları olumsuz etkileyebildiği kanıtlanmıştır. Bu allelokimyasallar çoklu doymamış yağ asitleri ve onların türevleri, alkaloidler ve mikrokistinlerdir (Leflaive & Ten-Hage, 2007). Allelokimyasallar arasında, anti-algal antibiyotik, antifungal ve anti-predatör aktivitelere sahip olduğu gösterilenler allelopatik bileşiklerdir (Legrand & ark., 2003).

Tablo 2. Temel alg grupları ve tatlı sularda ve deniz ortamında üretilen allelopatik ikincil metabolitler (Leflaive & Ten-Hage, 2007)

<b>Taksonomik gruplar</b>	<b>Allelopatik bileşikler</b>
Dinofitler	Yağ asitleri, polieterler, tanımlanmayan bileşikler
Öglenofitler	-
Yeşil algler	Yağ asitleri, tanımlanmayan bileşikler
Haptofitler	Çoklu doymamış aldehitler, polieterler
Okrofitler	
<i>Bacillariophyceae</i> (diatomlar)	Çoklu doymamış yağ asitleri, çoklu doymamış aldehitler
<i>Phaeophyceae</i>	Yağ asidi türevleri
<i>Raphidophyceae</i>	Aldehitler
Rodofitler	Tanımlanmayan bileşikler
Siyanobakteriler	
<i>Chroococcales</i>	Peptitler
<i>Nostocales</i>	Siyanobakterin, nostosiklamit, nostosiklamit M, nostosin A
<i>Oscillatoriales</i>	-
<i>Stigonematales</i>	Fischerellin A ve B, alkaloidler

### **Allelokimyasalların üretimini ve birikimini etkileyen biyotik ve abiyotik faktörler**

Algler üzerinde allelokimyasalların mekanizmaları şu şekilde özetlenebilmektedir: (1) Hücre zarı hasar görür ve seçici geçirgenliğini kaybederek içerik dışarı akar; (2) Hücre fonksiyonu, ana organellere ve normal metabolizmaya zarar verecek şekilde aşırı reaktif oksijen türleri ve inorganik iyonların birikmesiyle etkilenir. Aynı zamanda anti-stres sistemi ve hücre savunma sisteminin aktivasyonu eşlik eder; (3) Hücre içi apoptotik sistemi aktive ederek ve hücre çoğalmasını ve bölünmesini engelleyerek hücre çoğalması ve ölümü üzerine etki gösterir; (4) transkripsiyonu, translasyonu etkilemek ve hatta bu değişiklikleri bir sonraki nesle bırakmak gibi hücrelerde gen hasarına neden olur (Poulin & ark., 2018; Li & ark., 2020; Han & ark., 2018). Literatürde biyologlar geleneksel olarak farklı sayıda biyotik ve abiyotik faktörler tarafından fitoplankton topluluklarının bolluğu, yapısı ve bileşimini birkaç farklı şekilde açıklamaktadır (Sommer & ark., 1986). Bunlar; kaynak rekabeti, türbülans, yırtıcılık, parazitlik, viral enfeksiyondur (Legrand & ark., 2003). Fitoplanktonların farklı fizyolojik ve biyokimyasal adaptasyonlar yoluyla, ışık ve besinler için rekabet ettiği gösterilmiştir. Örneğin; yüzey alanı-hacim oranındaki değişiklik, belirli enzimlerin üretimi, farklı besin gereksinimleri, pigment bileşimi, fotosentetik kapasite, mikсотrofi, ve dikey göç (Legrand & ark., 2003).

Allelokimyasalların hücre dışına sızıntısı, sentezi, bozunma hızı ve stabilitesi, ortamın biyotik ve abiyotik koşullarından etkilenebilir. Doğal çevrede, allelokimyasalların salgılanmasını ve üretilmesini değiştiren birçok faktör bulunmaktadır. AK'nın üretilmesi eğer stres koşulları organizma üzerine uygulanırsa geliştirilebilir (Gross, 2003; Granéli & Hansen, 2006). Abiyotik faktörler, belirli bir biyosenoz üzerinde etkisi olan ekosistemin tüm fiziko-kimyasal faktörlerini

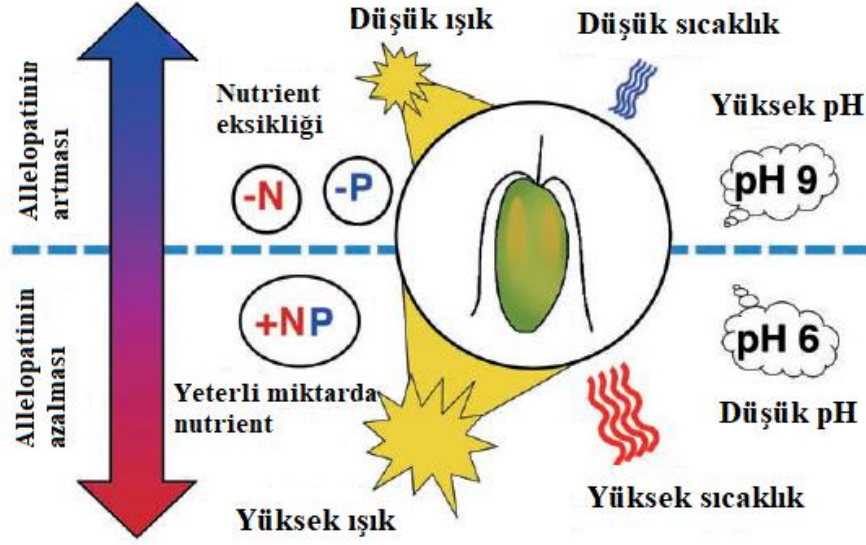
temsil eden canlılar üzerindeki cansız faaliyetlerdir. Biyotik faktörler ise, hayvan ve bitki türlerinin dağılımını etkileyen canlıların aktivitesiyle ilişkilidir. Birçok biyotik ve abiyotik faktör algler tarafından üretilen allelopatik maddelerin üretimini etkilemekte olup gerçekte birçok allelopatik bileşik henüz karakterize edilmediğinden dolayı hedef türler ve donör türler arasındaki allelopatik etkileşim üzerindeki biyotik ve/veya abiyotik faktörlerin etkisi kısmen açıklanabilmiştir (Granéli & Hansen, 2006; Śliwińska-Wilczewska & ark., 2021).

### Abiyotik (Cansız) faktörler

Allelopatiyi etkileyen en önemli abiyotik faktörler nutrient eksikliği (azot ve fosfor), ışık yoğunluğu, düşük sıcaklık ve yüksek pH (~pH 9)'dır. Hattenrath-Lehmann & ark. (2015), allelopatik türlerin N ve P şartları sınırlandırıldığında, allelokimyasalların üretimi uyarılır. Bunlara zıt olarak, allelopatiyi baskılayan en önemli abiyotik faktörler, yüksek ışık yoğunluğu, yüksek sıcaklık, kültür ortamında aşırı nutrient ve düşük pH (~pH 6)'dır (Granéli & Hansen, 2006; Şekil 2). Myklestad & ark. (1995) *Chrysochromulina*'nın P-eksik kültürlerinin hücresiz filtratlarının diatom *Skeletonema costatum*'un büyümesini güçlü bir şekilde inhibe ettiğini ortaya koymuştur. Sucul ortamlar için, besin kaynaklarının sınırlandırılması yalnızca allelokimyasalların üretimini arttırmaz, aynı zamanda onların eylemini de arttırmaktadır (Einhelling, 1995).

Abiyotik stres faktörü olarak besin eksikliğinin, çok sayıda algde AK üretimini artırdığı doğrulanmıştır. Yine de, su ortamının özellikleri nedeniyle, hem hedef hem de donör organizmalar benzer stres unsurlarının etkisi altındadır (besin sınırlaması, vb.). Stres faktörleri donör türlerini sıkıntıya sokmakta, yani AK üretimini arttırmaktadır (Granéli & Johansson, 2003). Çok sayıda fitoplankton hücresinin, besin sınırlamasında organik olan yüksek miktarda bileşikler saldığı kabul edilmektedir. Ötrofikasyon, N-P dengesini değiştirir ve eğer besinin mevcudiyeti dengesiz ise, besin sınırlaması ortaya çıkabilir. Mevcut besin büyüme sınırlaması için başarılı bir şekilde rekabet edebilen alg türleri, alg çoğalması ve baskın olma gücüne sahiptir. Fistarol & ark. (2005), N ve P'nin sınırlandırılmasının, *Thalassiosira weissflogii*'nin *Prymnesium parvum* yoluyla üretilen AK'ya duyarlılığını artırdığını belirlemiştir.

Allelopatiklerin hem hücre içi hem de hücre dışı konsantrasyonları *P. parvum* karanlıkta tutulduğunda, hatta büyüme ortamı bu türün hızlı büyümesine izin verdiğinde bile azalmıştır (Shilo, 1967). Barreiro Felpeo & Hairston Jr. (2013), ışık, azot ve fosfor sınırlamaları altında *Chlamydomonas sp.*'in seçilen siyanobakteriler ve mikroalgler (*Microcystis aeruginosa*, *Cryptomonas osolinii* ve *Ochromonas danica*) üzerindeki allelopatik etkisini test etmek için birtakım deneyler gerçekleştirmiştir. Bu kaynakları sınırlayan rejimler arasında, ışık sınırlaması hedef türler üzerinde en büyük allelopatik etkiye sahip olduğu görülmüştür. Ma & ark. (2015), *M. aeruginosa* ile birlikte kültürlen *C. vulgaris*'in büyümesi 20 °C'de artış gösterirken daha yüksek sıcaklıklarda, yani 25 °C'de inhibe olmuştur.



Şekil 2. Allelopatiyi etkileyen abiyotik faktörler (Granéli & Hansen, 2006).

Sıcaklık değişimlerinin fitoplankton allelopatisini nasıl etkilediği hakkında çok az bilinmektedir. Örneğin, *P.poucheti*'nin hemolitik aktivitesi sıcaklık 4 °C'den 15°C'ye arttığında artış göstermiştir (van Rijssel & ark., 2007). Buna karşın, kültür deneylerinde potansiyel olarak toksik dinoflagellat *Alexandrium tamarense*'in *S. trochoidea* veya *H. Triquetra* gibi dinoflagellatlar üzerinde 14 °C'ye karşı 20 °C'de allelopatik etkilerde bir fark görülmemiştir (Fistarol & ark., 2004).

### Biyotik (Canlı) faktörler

Fitoplankton allelopatisini etkileyen en önemli faktör tür çeşitliliği olup hedef türler üzerindeki allelopatik etkinin yoğunluğu suya bağlıdır (Granéli & ark., 2008). Allelokimyasalların hedef türler üzerindeki etkisinin gücü allelopatik ve hedef türlerin hücre yoğunluklarının üzerindeki değişikliğe bağlıdır (Granéli & ark., 2008). Bu durum haptofitlerle (Myklestad & ark., 1995; Schmidt & Hansen, 2001) ve dinoflagellatlar (Tillmann & ark., 2007) ilgili çalışmalarda ele alınmıştır.

Biyotik faktörlerin en önemlisi allelopatik türlerin büyüme fazıdır. Allelopatik etkinin yoğunluğu büyüme fazına bağlıdır. Allelopati bir rekabet biçimi olduğundan, allelopatik türlerin üstel büyüme sırasında daha öldürücü olması mantıklıdır, hücreler ise etkilerinden yararlanabilir (Chaib & ark., 2021). Durağan fazda popülasyonların yanı sıra üstel olarak artan popülasyonlar diğer algelere allelopatik olarak tanımlanmıştır. Shilo (1967), *P. parvum*'un hemolitik aktivitesinin aynı zamanda meydana gelen algler arasında üstel büyümenin en büyük olduğu fazda en yüksek olduğu ve sonunda bu aktivitenin azalmadan önce durağan faza kadar devam ettiğini bildirmiştir. *Peridinium aciculiferum*'un hemolitik etkisi durağan büyüme evresinde daha yüksektir (Rengefors & Legrand, 2001). Diatom *Chaetoceros gracile*'nin büyümesi üç *Alexandrium* türleri (*A. minutum*, *A. catenella* ve *A. tamarense*) filtratları tarafından üstel ve durağan büyüme aşamasında etkili bir şekilde bastırılmıştır (Arzul & ark., 1999).

Çoklu doymamış aldehitlerin diatom *Skeletonema marinoi* hücreleri tarafından üretimi, kültür durağan gelişme fazındayken veya ortamda N ve P sınırlıyken yüksek bulunmuştur. Diatomlarda çoklu doymamış aldehitler için sınırlayıcı faktör sınır koşullarında serbest yağ asitlerinin ulaşılabilir olması ve normal gelişme şartları sırasındaki enzim aktivitesidir (Ribalet & ark., 2007).

Suikkanen & ark., (2004), allelopatik etkinin üssel olarak artan hücreler tarafından kaynaklandığı görülüp bu etkinin durağan fazda azalarak yaşlanan hücrelerin allelopatik etkiye neden olmadığını ifade etmiştir. Bunun yanında, genel olarak büyüme hızı hücre büyüklüğüyle ters orantılı olup büyük hücrelerin daha yavaş metabolizmayla karakterize edildiği bilinmektedir (Amato & ark., 2005). Schmidt & Hansen (2001) çalışmasında, büyük hedef mikroalgin küçük hedef mikroalgere göre daha uzun maruziyet süresine ve allelopatiden etkilenmesine ihtiyaç olduğunu bildirmiştir.



## KAYNAKÇA

Akehurst, S.C. (1931). Observations on pond life with special reference to the possible causation of swarming of phytoplankton. *Journal of the Royal Microscopical Society*, 51 (3), 237-265. Doi: 10.1111/j.1365-2818.1931.tb01839.x.

Ali, A. H., Al-Darraj, M.A. & Ali, S.F. (2021). The Allelopathic in the Diatoms. *Rafdain Journal of Science*, 30 (3), 30-38. Doi: 10.33899/rjs.2021.168909.

Amato, A., Orsini, L., D'Alelio, D. & Montresor, M. (2005). Life cycle, size reduction patterns, and ultrastructure of the pinnate planktonic diatom *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Bacillariophyceae). *Journal of Phycology*, 41, 542–556. Doi: 10.1111/j.1529-8817.2005.00080.x.

Anderson, D.M. (2009). Approaches to monitoring, control and management of harmful algal blooms (HABs). *Ocean & Coastal Management*, 52 (7), 342–347. Doi: 10.1016/j.ocecoaman.2009.04.006.

Arzul, G., Seguel, M., Guzman, L. & Erard-Le Denn, E. (1999). Comparison of allelopathic properties in three toxic *Alexandrium* species. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 232, 285–295. Doi: 10.1016/S0022-0981(98)00120-8.

Bacellar Mendes, L.B. & Vermelho, A.B. (2013). Allelopathy as a potential strategy to improve microalgae cultivation. *Biotechnology for Biofuels*, 6 (152). Doi: 10.1186/1754-6834-6-152.

Badar, S.N., Mohammad, M., Emdadi, Z., & Yaakob, Z. (2021). Algae and their growth requirements for bioenergy: a review. *Biofuels*, 12 (3), 307-325. Doi: 10.1080/17597269.2018.1472978.

Barreiro Felpeto, A. & Hairston Jr., N.G. (2013). The influence of resource limitation on the allelopathic effect of *Chlamydomonas reinhardtii* on other unicellular freshwater planktonic organisms. *Journal of Plankton Research*, 35, 1339–1344. Doi: 10.1093/plankt/fbt080.

Berry, J. (2011). Marine and freshwater microalgae as a potential source of novel herbicides. In *Herbicides and Environment*. Edited by Kortekamp A. Croatia: In Tech: 705–734.

Chaïb, S., Pistevos, J.C.A., Bertrand, C. & Bonnard, I. (2021). Allelopathy and allelochemicals from microalgae: An innovative source for bio-herbicidal compounds and biocontrol research. *Algal Research*, 54 (7), 102213. Doi: 10.1016/j.algal.2021.102213.

Chiang, I.Z., Huang, W.Y. & Wu, J.T. (2004). Allelochemicals of *Botryococcus braunii* (Chlorophyceae). *Journal of Phycology*, 40 (3), 474–480. Doi: 10.1111/j.1529-8817.2004.03096.x.

Cummings, J.A., Parker, I.M. & Gilbert, G.S. (2012). Allelopathy: a tool for weed management in forest restoration. *Plant Ecology*, 213 (12), 1975–1989. Doi: 10.1007/s11258-012-0154-x.

Dogdu Okcu, G. (2019). Microalgae biodiesel production: a solution to increasing energy demands in Turkey. *Biofuels*, 13 (1), 77-93. Doi: 10.1080/17597269.2019.1637070.

Dogdu Okcu, G., Eustance, E., Lai, Y.S. & Rittmann, B.E. (2021). Evaluation of co-culturing a diatom and a coccolithophore using different silicate concentrations. *Science of the Total Environment*, 769, 145217. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145217.

Dong, H., Jiao, L., Qiang, H., Lihua, R., Bin, Z. & Xuexi, T. (2016). Interspecific competition and allelopathic interaction between *Karenia mikimotoi* and *Dunaliella salina* in laboratory culture. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 36 (2), 301-313. Doi: 10.1007/s00343-016-4320-1.

Durrant, J.R., Giorgi, L.B., Barber, J., Klug, D.R. & Porter, G. (1990). Characterisation of triplet states in isolated Photosystem II reaction centres: Oxygen quenching as a mechanism for photodamage. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA). Bioenergetics*, 1017 (2), 167–175. Doi: 10.1016/0005-2728(90)90148-W.

Feng, S., Kang, K., Salaudeen, S., Ahmadi, A., He, Q.S., & Hu, Y. (2022). Recent Advances in Algae-Derived Biofuels and Bioactive Compounds. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 61, 1232–1249. Doi: 10.1021/acs.iecr.1c04039.

Fistarol, G., Legrand, C., Selander, E., Hummert, C., Stolte, W. & Granéli, E. (2004). Allelopathy in *Alexandrium* spp.: effect on a natural plankton community and on algal monocultures. *Aquatic Microbial Ecology*, 35, 45–56. Doi:10.3354/ame035045.

Fistarol, G.O., Legrand, C. & Granéli, E. (2003). Allelopathic effect of *Prymnesium parvum* on a natural plankton community. *Marine Ecology Progress Series*, 255, 115–125. Doi: 10.3354/meps255115.

Fistarol, G.O., Legrand, C. & Granéli, E. (2005). Allelopathic effect on a nutrient-limited phytoplankton species. *Aquatic Microbial Ecology* 41,153–61. Doi: 10.3354/ame041153.

Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations (2016). State of Food Security and Nutrition in Small Island Developing States (SIDS). FAO, Rome. (12/06/2022 tarihinde <http://www.fao.org/3/a-i5327e.pdf> adresinden ulaşılmıştır).

Gleason, F.K. & Paulson, J.L. (1984). Site of action of the natural algicide, cyanobacteria, in the blue-green alga, *Synechococcus* sp. *Archives of Microbiology*, 138, 273–277. Doi: 10.1007/BF00402134.

Glibert, P.M. (2020). Harmful algae at the complex nexus of eutrophication and climate change. *Harmful Algae*, 91, 101583. Doi: 10.1016/j.hal.2019.03.001.

Gobler, C.J. (2020). Climate Change and Harmful Algal Blooms: Insights and perspective. *Harmful Algae*, 91, 101731. Doi: 10.1016/j.hal.2019.101731.

Goes, J.I., Gomes, HdR., Al-Hashimi, K. & Buranapratheprat, A. (2018). Ecological drivers of green noctiluca blooms in two monsoonal-driven ecosystems. In: Glibert, P.M., Berdalet, E., Burford, M.A., Pitcher, G.C., Zhou, M. (Eds.), *Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms* (pp. 327-336) Springer International Publishing, Cham.

Gomes, A.M.A., Azevedo, S.M.F.O. & Lürling, M. (2015). Temperature effect on exploitation and interference competition among *Microcystis aeruginosa*, *Planktothrix agardhii* and *Cyclotella meneghiniana*. *The Scientific World Journal*, 2015, 834197. Doi: 10.1155/2015/834197.

Granéli, E. & Hansen, P.J. (2006). Allelopathy in harmful algae: a mechanism to compete for resources? in: E. Granéli, J.T. Turner (Eds.), *Ecol Harmful Algae*, (pp. 189–201). Springer Berlin Heidelberg, Doi:10.1007/978-3-540-32210-8\_15.

Granéli, E. & Johansson, N. (2003). Increase in the production of allelopathic substances by *Prymnesium parvum* cells grown under Nor P-deficient conditions. *Harmful Algae*, 2, 135–45. Doi: 10.1016/S1568-9883(03)00006-4.

Granéli, E., Weberg, M. & Salomon, P.S. (2008). Harmful algal blooms of allelopathic microalgal species: the role of eutrophication. *Harmful Algae*, 8 (1), 94-102. Doi:10.1016/j.hal.2008.08.011.

Granéli, E., Weberg, M. & Salomon, P.S. (2008). Harmful algal blooms of allelopathic microalgal species: the role of eutrophication. *Harmful Algae*, 8 (1), 94-102. Doi:10.1016/j.hal.2008.08.011.

Gross, E.M. (2003). Allelopathy of aquatic autotrophs. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22 (3-4), 313–39. Doi: 10.1080/713610859.

Guo, X., Han, T., Tan, L., Zhao, T., Zhu, X., Huang, W., Lin, K., Zhang, N. & Wang, J. (2022). The allelopathy and underlying mechanism of *Skeletonema costatum* on *Karenia mikimotoi* integrating transcriptomics profiling. *Aquatic Toxicology*, 242, 106042. Doi: 10.1016/j.aquatox.2021.106042.

Guo, X., Han, T., Tan, L., Zhao, T., Zhu, X., Huang, W., Lin, K., Zhang, N. & Wang, J. (2022). The allelopathy and underlying mechanism of *Skeletonema costatum* on *Karenia mikimotoi* integrating transcriptomics profiling. *Aquatic Toxicology*, 242, 106042. Doi: 10.1016/j.aquatox.2021.106042.

Han, M., Wang, R., Ding, N., Liu, X., Zheng, N., Fu, B., Sun, L. & Gao, P. (2018). Reactive oxygen species-mediated caspase-3 pathway involved in cell apoptosis of *Karenia mikimotoi* induced by linoleic acid. *Algal Research*, 36, 48–56. Doi: 10.1016/j.algal.2018.10.013.

Harder, R. (1917). Ernährungsphysiologische untersuchungen an cyanophyceen, hauptschlich dem endophytischen nostoc punctiforme. *Z. Bot.* 9, 154–242.

Hattenrath-Lehmann, T.K., Marcoval, M.A., Middlesdorf, H., Goleski, J.A., Wang, Z., Haynes, B., Morton, S.L. & Gobler, C. (2015). Nitrogenous nutrients promote the growth and toxicity of *Dinophysis acuminata* during estuarine bloom events. *PLoS One*, 10 (4), e0124148. Doi:10.1371/journal.pone.0124148.

Heil, C.A. & Muni-Morgan, A.L. (2021). Florida’s Harmful Algal Bloom (HAB) Problem: Escalating Risks to Human, Environmental and Economic Health with Climate Change. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 646080. Doi: 10.3389/fevo.2021.646080.

Inderjit & Dakshini, K.M.M. (1994). Algal Allelopathy. *The Botanical Review*, 60 (2), 182-196. Doi: <https://www.jstor.org/stable/4354227>.

IPCC (2018). Special Report on “Global Warming of 1.5° Degrees - Summary for Policy Makers”. (11/06/2022 tarihinde [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15\\_SPM\\_version\\_report\\_LR.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf) adresinden ulaşılmıştır).

IPCC (2019). Special Report on ‘Climate Change and Land’. (11/06/2022 tarihinde <https://www.ipcc.ch/srcl/> adresinden ulaşılmıştır).

Jüttner, F. & Wu, J.-T. (2000). Evidence of allelochemical activity in subtropical cyanobacterial biofilms of Taiwan. *Archiv Hydrobiologie*, 147(4), 505–517. Doi: 10.1127/archiv-hydrobiol/147/2000/505.

Larkum, A.W.D., Douglas, S.E. & Raven, J.A. (2003). *Photosynthesis in algae*. Springer.

Larsen, A., Bryant, S. & Båmstedt, U. (1998). Growth rate and toxicity of *Prymnesium parvum* and *Prymnesium patelliferum* (haptophyta) in response to changes in salinity, light and temperature, *Sarsia*, 83, 409–418. Doi: 10.1080/00364827.1998.10413700.

Le Moal, M., Gascuel-Oudou, C., Ménesguen, A., Souchon, Y., Étrillard, C., Levain, A., Moatar, F., Pannard, A., Souchu, P., Lefebvre, A. & Pinay, G. (2019). Eutrophication: a new wine in an old bottle? *Science of the Total Environment*, 651, 1–11. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.139.

Leflaive, J. & Ten-Hage, L. (2007). Algal and cyanobacterial secondary metabolites in freshwaters: a comparison of allelopathic compounds and toxins. *Freshwater Biology*, 52, 199–214. Doi: 10.1111/j.1365-2427.2006.01689.x.

Legrand, C., Rengefors, K., Fistarol, G.O. & Granéli, R. (2003). Allelopathy in Phytoplankton – Biochemical, Ecological and Evolutionary Aspects. *Phycologia*, 42 (4), 406-419. Doi: 10.2216/i0031-8884-42-4-406.1.

Li, N., Tong, M. & Glibert, P.M. (2020). Effect of allelochemicals on photosynthetic and antioxidant defense system of *Ulva prolifera*. *Aquatic Toxicology*, 224, 105513. Doi: 10.1016/j.aquatox.2020.105513.

Liu, Y., Wu, H., Wang, S., Chen, X., Kimball, J.S., Zhang, C., Gao, H. & Guo, P. (2022). Evaluation of trophic state for inland waters through combining Forel-Ule Index and inherent optical properties. *Science of the Total Environment*, 80, 153316. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153316.

Long, M., Peltekis, A., González-Fernández, C., Hégaret, H. & Bailleul, B. (2021). Allelochemicals of *Alexandrium minutum*: Kinetics of membrane disruption and photosynthesis inhibition in a co-occurring diatom. *Harmful Algae*, 103, 101997. Doi: 10.1016/j.hal.2021.101997.

Ma, Z., Fang, T., Thring, R.W., Li, Y., Yu, H., Zhou, Q. & Zhao, M. (2015). Toxic and non-toxic strains of *Microcystis aeruginosa* induce temperature dependent allelopathy toward growth and photosynthesis of *Chlorella vulgaris*. *Harmful Algae*, 48, 21–29. Doi: 10.1016/j.hal.2015.07.002.

Macías, F.A., Mejías, F.J. & Molinillo, J.M. (2019). Recent advances in allelopathy for weed control: from knowledge to applications: new advances in allelopathy for weed control. *Pest Management Science*, 75 (9), 2413–2436. Doi: 10.1002/ps.5355.

Mao, X.-T., Xu, R.-X., Gao, Y., Li, H.-Y., Liu, J.-S. & Yang, W.-D. (2021). Allelopathy of *Alexandrium pacificum* on *Thalassiosira pseudonana* in laboratory cultures. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 215, 112123. Doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.112123.

Minaudo, C., Abonyi, A., Leitão, M., Lançon, A.M., Floury, M., Descy, J.-P., & Moatar, F. (2021). Long-term impacts of nutrient control, climate change, and invasive clams on phytoplankton and cyanobacteria biomass in a large temperate river. *Science of the Total Environment*, 756, 144074. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144074.

Molisch, H. (1937). Der Einfluss einer Pflanze auf die andere Allelopathie. Gustav Fischer, (pp. 1-10). Fischer, Jena.

Mykkestad, M.M., Ramlo, B., Hestmann, S. (1995). Demonstration of strong interaction between the flagellate *Chrysochromulina polylepis* (Prymnesiophyceae) and a marine diatom. In: Lassus, P., Arzul, G., Erard, E., Gentien, P., Marcaillou, C. (Eds.), *Harmful Marine Algal Blooms*. (pp. 633–638), Lavoisier, Intercept Ltd, Hampshire.

Nan, C., Zhang, H., Lin, S., Zhao, G. & Liu, X. (2008). Allelopathic effects of *Ulva lactuca* on selected species of harmful bloom-forming microalgae in laboratory cultures. *Aquatic Botany*, 89, 9–15. Doi: 10.1016/j.aquabot.2008.01.005.

NASA (2022). 2021 Tied for 6th Warmest Year in Continued Trend, NASA Analysis Shows. (13/01/2022 tarihinde <https://climate.nasa.gov/news/3140/2021-tied-for-6th-warmest-year-in-continued-trend-nasa-analysis-shows/> adresinden ulaşılmıştır).

Nwankwegu, A.S., Li, Y., Huang, Y., Wei, J., Norgbey, E., Sarpong, L. & Wang, K. (2019). Harmful algal blooms under changing climate and constantly increasing anthropogenic actions: the review of management implications. *3 Biotech*, 9, 449. Doi: 10.1007/s13205-019-1976-1.

Patil, V., Abate, R., Wu, W., Zhang, J., Lin, H., Chen, C., Liang, J., Sun, L., Li, X., Li, Y. & Gao, Y. (2020). Allelopathic inhibitory effect of the macroalga *Pyropia haitanensis* (Rhodophyta) on harmful bloom-forming *Pseudo-nitzschia* species. *Marine Pollution Bulletin*, 161, 111752. Doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111752.

Patil, V., Abate, R., Yang, Y., Zhang, J., Lin, H., Chen, C., Liang, J., Sun, L., Li, X. & Gao, Y. (2020). Allelopathic effect of *Pyropia haitanensis* (Rhodophyta) on the bloom-forming *Skeletonema costatum* (Bacillariophyta). *Journal of Applied Phycology*, 32, 1275–1286. Doi: 10.1007/s10811-020-02051-1.

Poulin, R.X., Hogan, S., Poulson-ellestad, K.L. & Brown, E. (2018). *Karenia brevis* allelopathy compromises the lipidome, membrane integrity, and photosynthesis of competitors. *Scientific Reports*, 8, 1–9. Doi:10.1038/s41598-018-27845-9.

Procter, V.W. (1957). Some controlling factors in the distribution of *Haematococcus pluvialis*. *Ecology*, 38, 457-462. Doi: 10.2307/1929890.

Reigosa, M.J., Sánchez-Moreiras, A. & González, L. (1999). Ecophysiological approach in allelopathy. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 18 (5), 577-608. Doi:10.1080/07352689991309405.

Rengefors, K. & Legrand, C. (2001). Toxicity in *Peridinium aciculiferum*—An adaptive strategy to outcompete other winter phytoplankton? *Limnology and Oceanography*, 46 (8), 1990-1997. Doi: 10.4319/lo.2001.46.8.1990.

Ribalet, F., Berges, J.A., Ianora, A. & Casotti, R. (2007). Growth inhibition of cultured marine phytoplankton by toxic algal-derived polyunsaturated aldehydes. *Aquatic Toxicology*, 85 (3), 219–227. Doi:10.1016/j.aquatox.2007.09.006.

Rice, E.L. (1984). Allelopathy. New York: Academic Press. 422 pages.

Roy, A., Gogoi, N., Yasmin, F., & Farooq, M. (2022). The use of algae for environmental sustainability: trends and future prospects. *Environmental Science and Pollution Research*, 29 (27), 40373-40383. Doi: 10.1007/s11356-022-19636-7.

Sarkar, R.R., Petrovskii, S.V., Biswas, M., Gupta, A. & Chattopadhyay, J. (2006). An ecological study of a marine plankton community based on the field data collected from Bay of Bengal. *Ecological Modelling*, 193 (3-4), 589–601. Doi: 10.1016/j.ecolmodel.2005.08.038.

Schmidt, L.E. & Hansen, P.J. (2001). Allelopathy in the prymnesiophyte *Chrysochromulina polylepis*: effect of cell concentration, growth phase and pH. *Marine Ecology Progress Series*, 216, 67–81. Doi: 10.3354/meps216067.

Sha, J., Xiong, H., Li, C., Lu, Z., Zang, J., Zhong, H., Zhang, W., & Yan, B. (2021). Harmful algal blooms and their eco-environmental indication. *Chemosphere*, 274, 129912. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.129912.

Shilo, M., (1967). Formation and mode of action of algal toxin. *Bacteriology Reviews*, 31, 180–193. Doi: 10.1128/br.31.3.180-193.1967.

Śliwińska-Wilczewska, S., Wiśniewska, K., Konarzewska, Z., Cieszyńska, A., Felpeto, A.B., Lewandowska, A.U. & Latała, A. (2021). The current state of knowledge on taxonomy, modulating factors, ecological roles, and mode of action of phytoplankton allelochemicals. *Science of the Total Environment*, 773, 145681. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145681.

Śliwińska-Wilczewska, S., Wiśniewska, K., Konarzewska, Z., Cieszyńska, A., Felpeto, A.B., Lewandowska, A.U. & Latała, A. (2021). The current state of knowledge on taxonomy, modulating factors, ecological roles, and mode of action of phytoplankton allelochemicals. *Science of the Total Environment*, 773, 145681. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145681.

Sommer, U., Gliwicz, Z.M., Lampert, W. & Duncan, A. (1986). The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Archiv für Hydrobiologie*, 106, 433-471.

Song, L., Qin, J.G., Clarke, S. & Li, Y. (2013). Competition and succession between the oily alga *Botryococcus braunii* and two green algae *Chlorella vulgaris* and *Chlamydomonas reinhardtii*. *Journal of Applied Phycology*, 25, 847–853. Doi: 10.1007/s10811-012-9940-z.

Subba Rao, D.V., Pan, Y., & Smith, S.J. (1995). Allelopathy between *Rhizosolenia alata* (Brightwell) and the toxigenic *Pseudo-nitzschia pungens* f. *multiseriata* (Hasle). In: Lasso P, Arzul G, Le Denn EE, Gentien P, Marcaillou C (eds) Harmful marine algal blooms. (pp 681–686). Lavoisier Intercept Ltd, Paris.

Suikkanen, S., Fistarol, G.O. & Granéli, E. (2004). Allelopathic effects of the Baltic cyanobacteria *Nodularia spumigena*, *Aphanizomenon flos-aquae* and *Anabaena lemmermannii* on algal monocultures. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 308, 85–101. Doi:10.1016/j.jembe.2004.02.012.

Suikkanen, S.G. O., Fistarol, & Granéli, E. (2005). Effects of cyanobacterial allelochemicals on a natural plankton community. *Marine Ecology Progress Series*, 287, 1–9. Doi:10.3354/meps287001.

Tan, K., Huang, Z., Ji, R., Qiu, Y., Wang, Z. & Liu, J. (2019). A review of allelopathy on microalgae. *Microbiology*, 165, 587–592. Doi: 10.1099/mic.0.000776.

Tillmann, U., John, U. & Cembella, A. (2007). On the allelochemical potency of the marine dinoflagellate *Alexandrium ostenfeldii* against heterotrophic and autotrophic protists. *Journal of Plankton Research*, 29, 527–543. Doi: 10.1093/plankt/fbm034.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015). World population projected to reach 9.7 billion by 2050 (29/07/2015 tarihinde <http://www.un.org/en/development/desa/news/population/2015-report.html> adresinden ulaşılmıştır).

Van Rijssel, M., Alderkamp, A.C., Nejstgaard, J.C., Sazhin, A.F. & Verity, P.G. (2007). Haemolytic activity of live *Phaeocystis pouchetii* during mesocosm blooms. *Biogeochemistry*, 83, 189–200. Doi: 10.1007/978-1-4020-6214-8\_14.

Viriyatum, R. (2013). Effectiveness of coated controlled-released sulfate as an algicide for phytoplankton control in ponds. *Fisheries & Allied Aquacultures*.

von Elert E. & Jüttner F. (1996) Factors influencing the allelopathic activity of the planktonic cyanobacterium *Trichormus doliolum*. *Phycologia*, 35 (6), 68–73. Doi: 10.2216/i0031-8884-35-6S-68.1.

Wang, L., Zi, J., Xu, R., Hilt, S., Hou, X. & Chang, X. (2017). Allelopathic effects of *Microcystis aeruginosa* on green algae and a diatom: Evidence from exudates addition and co-culturing. *Harmful Algae*, 61, 56–62. Doi: 10.1016/j.hal.2016.11.010.

Wang, R., Xue, Q., Wang, J. & Tan, L. (2020). Competitive interactions between two allelopathic algal species: *Heterosigma akashivo* and *Phaeodactylum tricornutum*. *Marine Biology Research*, 16 (1), 32-43. Doi: 10.1080/17451000.2019.1702213.

Wang, X., Huo, Y., Yang, F. & Wang, Y. (2021). Induced Allelopathic Effects of *Thalassiosira weissflogii* on Colony Formation in *Phaeocystis globosa*. *Water*, 13 (581). Doi: 10.3390/w13050581.

Wang, X., Zhang, Y., Li, C., Huang, X., Li, F., Wang, X. & Li, G. (2022). Allelopathic effect of *Oocystis borgei* culture on *Microcystis aeruginosa*. *Environmental Technology*, 43 (11), 1662-1671. Doi: 10.1080/09593330.2020.1847202.

Wolfe, G. (200). The chemical defense ecology of marine unicellular plankton: constraints, mechanisms, and impacts. *The Biological Bulletin*, 198, 225–244. Doi: 10.2307/1542526.

Xiao, X., Agusti, S., Pan, Y., Yu, Y., Li, K., Wu, J., & Duarte, C.M. (2019). Warming amplifies the frequency of harmful algal blooms with eutrophication in Chinese coastal waters. *Environmental Science and Technology*, 53, 13031-13041. Doi: 10.1021/acs.est.9b03726.

Xin, L., Hong-Ying, H., Jia, Y., Yin-Hu, W. (2010). Enhancement effect of ethyl-2-methyl acetoacetate on triacylglycerols production by a freshwater microalga, *Scenedesmus sp. LX1*. *Bioresource Technology*, 101, 9819–9821. Doi: 10.1016/j.biortech.2010.07.103.

Zhang, Y., Wang, J. & Tan, L. (2021). Characterization of allelochemicals of the diatom *Chaetoceros curvisetus* and the effects on the growth of *Skeletonema costatum*. *Science of the Total Environment* 660, 269–276. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.01.056.

Zhang, Y., Wang, J., Tan, L., Cao, J. & Hui, Li. (2015). Effect of allelopathy on the competition and succession of *Skeletonema costatum* and *Prorocentrum donghaiense*. *Marine Biology Research*, 11 (10), 1093-1099. Doi: 10.1080/17451000.2015.1062519.

**DOĞA VE MÜHENDİSLİK  
BİLİMLERİNDE GÜNCEL  
TARTIŞMALAR**

**4**

