

# Fen ve Mühendislik Bilimleri Araştırmaları

Editörler

Duygu KAVAK  
Ali KILIÇER



LIVRE DE LYON

2023

Fen-Mühendislik Bilimleri

# Fen ve Mühendislik Bilimleri Araştırmaları

**Editörler**

**Duygu KAVAK & Ali KILIÇER**



LIVRE DE LYON

Lyon 2023



# Fen ve Mühendislik Bilimleri Araştırmaları

**Editörler**

**Duygu KAVAK & Ali KILIÇER**



LIVRE DE LYON

Lyon 2023

## **Fen ve Mühendislik Bilimleri Araştırmaları**

**Editors** • Prof. Dr. Duygu KAVAK • Orcid: 0000-0002-1189-3110

Asst. Prof. Dr. Ali KILIÇER • Orcid: 0000-0002-1745-854X

**Cover Design** • Motion Graphics

**Book Layout** • Motion Graphics

**First Published** • December 2023, Lyon

**e-ISBN:** 978-2-38236-643-1

**DOI:** 10.5281/zenodo.10433352

**copyright** © 2023 by **Livre de Lyon**

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without prior written permission from the Publisher.

**Publisher** • Livre de Lyon

**Address** • 37 rue marietton, 69009, Lyon France

**website** • <http://www.livredelyon.com>

**e-mail** • [livredelyon@gmail.com](mailto:livredelyon@gmail.com)



LIVRE DE LYON

# ÖNSÖZ

Değerli okurlar;

“Fen ve Mühendislik Bilimleri Araştırmaları” isimli bu eserin oluşturulmasındaki temel hedefimiz, Fen Bilimleri, Mühendislik ve Teknoloji gibi farklı disiplinlerdeki güncel bilimsel çalışmaları 15 bölümde bir araya getirerek bilim dünyasına sunmaktır. Bu kapsamda eserde fizik, kimya, biyoloji, elektrik ve elektronik mühendisliği, kimya mühendisliği, çevre mühendisliği, malzeme bilimi ve mühendisliği, makine mühendisliği, metalurji, gıda, tarım, enerji, gastronomi, endüstriyel tasarım, iş güvenliği ve iş verimliliği gibi alanlara ilişkin bölümler bulunmaktadır.

Eserin hayata geçirilmesinde emeği geçen tüm bölüm yazarlarına, eser incelemelerini gerçekleştiren kıymetli hakemlere, kitabı bizlerle buluşturan Livre de Lyon Yayınevi çalışanlarına teşekkürlerimizi sunarız. Bu kitabın başta akademisyenler ve öğrenciler olmak üzere tüm okuyucular için faydalı olmasını ve çalışmalarına katkı sağlamasını dileriz.

**Editörler**

**Prof. Dr. Duygu KAVAK**

**Dr. Öğr. Üyesi Ali KILIÇER**



# CONTENT

<b>ÖNSÖZ</b>	<b>I</b>
<b>BÖLÜM I.</b> SÜPERİLETKENLİKTEKİ TEMEL TEORİLER VE MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI <i>Kübra YAKINCI</i>	1
<b>BÖLÜM II.</b> NANO BAKIR OKSİT VE CAM TOZU MODİFİYELİ HARÇLARDA ALTERNATİF AKIMIN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI <i>İsmail HOCAOĞLU</i>	27
<b>BÖLÜM III.</b> NANOFİLTASYON YÖNTEMİYLE NF 270 MEMBRANI KULLANILARAK PLASTİK ENDÜSTRİSİ ATIKSUYUNUNDAN RENK GİDERİMİ <i>Selin GÜLCAN &amp; Duygu KAVAK</i>	43
<b>BÖLÜM IV.</b> ELMASLI KESİCİ TAKIMLARIN ÜRETİM VE METALURJİK ESASLARI <i>Erdinç ÖZDEMİR &amp; Serkan ISLAK</i>	51
<b>BÖLÜM V.</b> TERMAL OKSİDASYON YÖNTEMİ İLE ZNO NANOTELLERİN SENTEZİ VE GAZ SENSÖRÜ UYGULAMASI <i>Mustafa Kemal ÖZHAN &amp; Selda TOPÇU ŞENDOĞDULAR &amp; Levent ŞENDOĞDULAR</i>	71
<b>BÖLÜM VI.</b> AKIŞKANLARIN REOLOJİSİ VE AKIŞ MODELLERİ <i>Onur Eser KÖK &amp; Yasin ERDOĞAN &amp; Hüseyin VAPUR</i>	91
<b>BÖLÜM VII.</b> GÜNEŞ PANELİ TEMİZLEME SİSTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI <i>Emrah ÜSTÜNDAĞ &amp; Fatih Onur HOCAOĞLU</i>	115



<b>BÖLÜM VIII.</b>	<b>ÇOK SEVİYELİ EVİRİCİLERE GENEL BİR BAKIŞ</b>	131
	<i>Mustafa Sacid ENDİZ</i>	
<b>BÖLÜM IX.</b>	<b>İÇMEKAN DONATILARI DEVRİLME TEST DÜZENEGİ</b>	147
	<i>Süleyman ÖZCAN &amp; Cemal ÖZCAN</i>	
<b>BÖLÜM X.</b>	<b>TARIMSAL ÇALIŞMALARDA İŞ GÜVENLİĞİ VE İŞ VERİMLİLİĞİ</b>	161
	<i>Adem ÖZKAN</i>	
<b>BÖLÜM XI.</b>	<b>YENİLEBİLİR YABANİ MEYVELERİN KİMYASAL BİLEŞİMİ VE BİYOAKTİF ÖZELLİKLERİ</b>	173
	<i>Nesibe ARSLAN BURNAZ &amp; Tuba Eda ARPA ZEMZEMOĞLU</i>	
<b>BÖLÜM XII.</b>	<b>BİYOBOZUNUR GIDA AMBALAJ MALZEMELERİ</b>	199
	<i>Özlem EMİR ÇOBAN</i>	
<b>BÖLÜM XIII.</b>	<b>KARS YÖRESEL PEYNİRLERİ</b>	213
	<i>Sezen HARMANKAYA &amp; Ahmet HARMANKAYA</i>	
<b>BÖLÜM XIV.</b>	<b>FERMENTE İÇECEKLER: KEFİR, KIMIZ VE BOZA</b>	225
	<i>Zülal BÜYÜK &amp; Dilek DÜLGER ALTINER</i>	
<b>BÖLÜM XV.</b>	<b>ENDÜSTRİYEL TASARIMDA AHŞAP MALZEME KULLANIM ALANLARI</b>	241
	<i>Raşit ESEN</i>	

# BÖLÜM I

## SÜPERİLETKENLİKTEKİ TEMEL TEORİLER VE MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI\*

*Basic Theories and Engineering Applications in  
Superconductivity*

**Kübra YAKINCI**

*(Dr. Öğr. Üyesi), İskenderun Teknik Üniversitesi,  
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,  
Mühendislik Temel Bilimleri Bölümü,  
Hatay, İskenderun/Türkiye  
E-mail: kubra.yakinci@iste.edu.tr  
ORCID:0000-0003-1257-1532*

### 1. Giriş

1911 yılında Hollandalı fizikçi Heike Kamerling Onnes tarafından ilk kez metalik civa' da keşfedilen süperiletkenlik konusunda hem teorik hem de uygulamalı olarak çalışmalar günümüzde de hız kesmeden devam etmektedir (Onnes, 1911). Süperiletkenlik olgusunun kuşkusuz en belirleyici özelliği, sıcaklığın mutlak sifıra doğru azaltılmasıyla malzemenin elektriksel direncinin kritik sıcaklık olarak tanımlanan belli bir geçiş noktasında aniden sifıra düşmesidir. Bu özelliği süperiletkenlik kavramını teknolojik açıdan önemli kılmaktadır. Burada vurgulanan sıfır elektriksel direnç özelliği mükemmel iletken kaynaklı olmayıp, süperiletken malzemeye dışarıdan uygulanan manyetik alanın dışarlanması özelliği olan **Mükemmel diyamanyetizma** özelliğinin bir sonucudur (Fosheim ve Sudbø, 2004). Bu diyamanyetik durum Meissner etkisi

---

\* "FeSe-TABANLI YENİ NESİL SÜPERİLETKEN ALAŞIMLARIN TEK KRİSTAL FORMDA ÜRETİMİ, KARAKTERİZASYONU VE MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI" Başlıklı Doktora Tezinden Türetilmiştir."

olarak bilinir ve süperiletkenlerin manyetik özelliklerinin de en az elektriksel özellikleri kadar çarpıcı olduğunu ortaya koymaktadır.

Süperiletkenlerin dışarıdan uygulanan manyetik alana verdikleri tepkiye bağlı olarak I. tip ve II. tip olmak üzere iki farklı yapı ortaya çıkmaktadır. I. tip süperiletkenler uygulanan manyetik alan altında mükemmel diyamanyetizma özelliğini korurlar. II. tip süperiletkenler ise mükemmel diyamanyetizma durumu bozulduğunda dahi yüksek manyetik alanlara kadar süperiletkenlik özelliklerini koruyabilmektedirler (Onar, 2017). Dolayısıyla yüksek alanlar altında yüksek akım taşıyabilme kabiliyetine sahiptirler. Teknolojik uygulamalar açısından değerlendirildiğinde bir diğer önemli parametre de süperiletken malzemenin taşıyabileceği maksimum akım miktarıdır. Nitekim bir telden geçen akımın manyetik alan üretmesine benzer şekilde süperiletken bir malzeme üzerinden akan akımın malzemenin kritik manyetik alan değerinin üzerinde bir alan üretme ihtimali yoktur. Dolayısıyla bir malzemenin süperiletkenlik durumunu belirleyen kritik sıcaklık ( $T_c$ ), kritik manyetik alan ( $H_c$ ) ve kritik akım yoğunluğu ( $J_c$ ) olmak üzere üç temel parametre ön plana çıkmaktadır (Onar, 2017). Bu özellikleri sayesinde süperiletkenler, genel olarak magnet, motor ve jeneratör gibi yüksek alan ve güç cihazlarında kullanılmak için elverişlidirler.

Süperiletkenlik olgusu, günümüzde bulunduğu noktaya ulaşmaya kadar önemli aşamalardan geçmiştir. Kuşkusuz bu olayların başlangıcı ve en önemli olanı H. Kamerling Onnes' in helyum gazını sıvılaştırarak düşük sıcaklıklarda malzemelerin özelliklerinin incelenebilmesinin önünü açarak civa üzerinde yaptığı deneylerle süperiletkenlik olgusunu keşfetmesi olmuştur. Bu keşif ile birlikte H. Kamerling Onnes 1913 yılında Nobel ödülünü kazanmıştır (Bardeen, Cooper ve Schrieffer, 1957). Bir diğer önemli gelişme J. Bardeen, L. Cooper ve R. Schrieffer tarafından ilk kez süperiletkenlik olgusunun (BCS) bir teoriyle desteklenmesidir. Bu olayı takip eden bir diğer gelişme günümüzde teorik uygulamalar açısından önemli yere sahip olan Josephson etkisinin keşfidir. Ancak bilim dünyasını asıl şaşırtan ve bilim tarihinde eşi görülmemiş oranda artış gösteren çalışmaları beraberinde getiren olay 1986 yılında seramik malzemelerde yüksek sıcaklıklarda süperiletkenliğin keşfi olmuştur (Bednorz vd. 1986; Whu vd. 1987; Maeda vd. 1988; Hazen vd. 1988; Putilin vd. 1993). Bu olayı 2001 yılında  $MgB_2$  alaşımında süperiletkenliğin keşfi izlemiş ve 2008 yılında da demir tabanlı süperiletkenlerin bulunması ile hem şaşırtıcı hem de güncelliğini koruyan yeni çalışmalar literatürde her geçen gün artmaktadır (Nagamatsu vd. 2001; Kamihara vd. 2008). Süperiletkenliğin keşfinden günümüze kadar geçen zaman diliminde bu konuda çalışanlar toplam beş Nobel Fizik ödülü almıştır. Bu

çalışmalar, süperiletkenlik konusunun gelişmesine ve yeni teknolojik uygulama alanlarının ortaya çıkmasına olanak sağlayan birer dönüm noktası niteliğindedir. Bu da süperiletkenliğin bilim dalları arasında ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır([http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1973/press.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1973/press.html)).

## 2. Süperiletkenliğin Mühendislik Uygulamalarındaki Önemi

Süperiletkenler üzerlerinden yüksek akımlar geçirildiğinde büyük değerlerde manyetik alanlar üretebilmeye özelliğine sahiptirler. Bu da teknolojik uygulamalar açısından önem taşımaktadır. Bilindiği gibi geleneksel elektromagnetlerde manyetik alan selenoid şeklinde sarılmış tel üzerinden akım geçirilerek oluşturulmaktadır. Bu şekilde üretilebilecek maksimum manyetik alan telin akım taşıma kapasitesine bağlı olmakta ve sınırlanmaktadır. Bu konuda verilebilecek en basit örnek, maksimum akım yoğunluğu  $\sim 400 \text{ Acm}^{-2}$  olan bakır' dır ki bu değere karşılık gelen manyetik alan birkaç yüz mT' dir. Bununla birlikte selenoid içerisine bir demir çekirdek yerleştirildiğinde elde edilen manyetik alan şiddeti  $2T'$  ya kadar ulaşmaktadır. Ne yazık ki yerin manyetik alan şiddetinden binlerce defa büyük olan bu değer birçok teknolojik uygulama için yeterli olmamaktadır. Benzer yapı süperiletken tel kullanılarak yapıldığında, elde edilecek akım yoğunluğu  $10^7 \text{ Acm}^{-2}$ ' ye kadar ulaşmaktadır ve bu da farklı teknolojik uygulamalara olanak sağlamaktadır (Onar, 2017).

Süperiletkenleri teknolojik açıdan değerli kılan bir diğer özelliği de mükemmel diyamanyetizma olarak tanımladığımız Meissner etkisi olup, süperiletken malzemelerin uygun koşullar sağlandığı sürece mıknatıs olarak kullanılmalarına olanak sağlamaktadır. Bu özellik sayesinde süperiletkenler motor, jeneratör ve manyetik kaldırılmalı trenlerde (MAGLEV) uygulama alanı bulmaktadır. MAGLEV tren teknolojileri üzerine Almanya, Amerika ve Japonya' da güncel çalışmalar hız kesmeden devam etmektedir. Bu konuda en önemli uygulama 2025' e kadar Japonya' da Tokyo-Nagoya arasına kurulumun tamamlanması planlanan 600 km uzunluğundaki sistemdir. Bu konudaki ilk örnek ise  $\sim 30 \text{ km}'$  lik bir hat üzerinde çalışan ve bu mesafeyi kısa sürede geçebilen Çin' in Şangay kentinde kullanılmaya başlanan tren olmuştur (Onar, 2017).

1962 yılında keşfedilen ve beraberinde B. Josephson' a Nobel fizik ödülünü kazanmasına olanak sağlayan Josephson etkisi, süperiletkenlerin teknolojik uygulamalarında büyük öneme sahip olup süperiletken entegre devrelerin (Rapid Single Flux Quantum/ RSFQ) temel devre elemanını oluşturmaktadır (Onar, 2017; Bozbey vd, 2013). Yarıiletkenlerden daha hızlı

anahtarlama yapabilmeleri ve daha az güç tüketimleri süperiletken devreleri daha avantajlı hale getirmekte ve alternatif bir teknoloji sunmaktadır. Özellikle RSFQ tabanlı entegre devrelerden faydalanarak Japonya’da iklim değişikliği, yer kabuğu hareketleri gibi simülasyonların yapıldığı Deniz ve Yer Kabuğu Bilim ve Teknoloji Merkezi (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology) gibi kurumların ihtiyacını karşılamaya yönelik çok yüksek kapasitede ve kabul edilebilir seviyede güç tüketimiyle veri işleyen sistemlerin geliştirilmesi hedeflenmektedir (Onar, 2017; Bozbey vd, 2013; [www.nitrd.gov/pubs/nsa/sta.pdf](http://www.nitrd.gov/pubs/nsa/sta.pdf); <http://www.jamstec.go.jp/esc/index.en.html>; Parinov 2007).

Dünyanın manyetik alanının milyarda biri mertebelerindeki manyetik alanları dahi ölçebilecek hassasiyette olan SQUID (Superconducting Quantum Interference Device) sensörler, tıp ve savunma sanayi başta olmak üzere parçacık fiziği ve jeoloji’yi de kapsayan daha birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. 1964 yılında Josephson etkisinin keşfinden sonra Robert Jaklevic tarafından ilk SQUID tasarlanmış olup, DC SQUID bir süperiletken ilmek üzerinde paralel bir şekilde bağlanmış iki özdeş Josephson ekleminden oluşmuştur (Josephson, 1962; Jaklevic, 1964). Bu sensörlerin kuşkusuz en yoğun kullanımları sağlık sektöründe karşımıza çıkmaktadır. İçerisinde SQUID sensörlerin bulunduğu Magnetoensefalografi (MEG) ve magnetokardiyografi (MKG) uygulamalarından bazılarıdır (Şengül, 2011).

Süperiletkenlerin teknolojiye diğer bir katkısı, kendisine savunma sanayinden uzay araştırmalarına kadar uygulama alanı bulan Süperiletken Bolometreler’dir. Süperiletken Bolometreler, malzeme üzerine düşen ışınlamaları soğurarak çok düşük sıcaklık değişimlerini algılama kabiliyetine sahiptirler. Süperiletken malzemelerdeki kritik sıcaklık civarında sıcaklık direnç değişiminin çok yüksek olması da metal veya yarıiletken bolometrelere göre üstünlük sağlamaktadır (Bozbey vd, 2013).

Süperiletkenler teknolojik olarak birçok alanda uygulamaya sahip olan stratejik malzemeler olmasına rağmen sadece çok düşük sıcaklıklarda üstün performans sergilemeleri nedeniyle yoğun olarak kullanılmamaktadırlar. Aktif olarak kullanılmaları aynı zamanda gelişmiş bir soğutma teknolojisinin de bulunmasını zorunlu kılmaktadır. Bu da maliyeti artırdığı için tercih edilmemelerine neden olmaktadır. Ancak, son yıllarda hızla gelişen soğutma teknolojileri sayesinde süperiletkenlerin birçok alanda daha aktif bir şekilde kullanılmalarının önünü açabileceği düşünülmektedir. Kullanım alanlarının başında da sensör teknolojisi, mikro-cip teknolojisi, sağlık sektörü, savunma sanayi ve uzay teknolojileri olacağı kaçınılmaz bir gerçektir.

### 3. Süperiletken Teknolojisi İçin Temel Teoriler

Süperiletkenlik olgusunun keşfi, bu mekanizmanın tam olarak yorumlanıp, geliştirilmesi için birçok teorik modellemeyi de beraberinde getirmiştir. Bu teorik yaklaşımlar, yeni malzemelerin araştırılması ve teknolojiye uyarlanmasında yol gösterici olması bakımından büyük önem taşımaktadır. Teorik açıdan atılan adımlardan bir tanesi sezgiye dayanan bir teori olan ve sıradan elektromanyetizma eşitliklerine süperiletkenlikte deneysel olarak gözlemlenen özelliklerin uyarlanmış hali olan **London teorisi** dir. Bu olayı, örgü titreşimlerinin süperiletkenliğe etkisinin araştırılması sonucu ortaya çıkan **izotop etkisi** ve süperiletken durumun fiziğinin açıklanmasında önemli rol oynayan **Ginzburg-Landau Teorisi** (GL) takip etmiştir. Süperiletkenliğin asıl doğası ise ilk defa **BCS teorisi** ile açıklanmıştır. Matematiksel olarak karmaşık olan bu teorinin kökeni iki elektron arasında **Cooper çifti** olarak ifade edilen elektron çifti durumunun oluşumuna dayalıdır. Bu teori süperiletkenliği, elementel süperiletkenler ve saf basit alaşımlar için mutlak sıfıra yakın sıcaklıklarda açıklayabilmektedir. Aynı zamanda, düşük sıcaklıklarda elektron-fonon etkileşmesi, izotop etkisi ve enerji aralığını açıklayabilmekte de başarılıdır. Süperiletkenliğin gelişmesinde önemli katkıları olan bu teoriler aşağıda detaylandırılmaktadır.

#### 3.1. London Teorisi

Süperiletkenlerin temel elektromanyetik özellikleri, 1935 yılında London kardeşler tarafından türetilen ilk fenomenolojik teori ile tanımlanmıştır (Rose-Innses ve Rodheric, 1978). London teorisinin keşfi, yüksek üst kritik alanlara ( $H_{c2}$ ) veya yüksek  $GL$  parametresine sahip olan II. tip süperiletkenler için iyi bir yaklaşım niteliğinde olup süperiletkenliğin önemli parametrelerinden bir tanesi olan London sızma derinliği ( $\lambda_L$ ) bu teoriden türetilmektedir (Rose-Innses ve Rodheric, 1978).

London kardeşler, Maxwell denklemlerini kullanarak bir süperiletken içerisinde manyetik alan ve elektrik akımının nasıl davrandığını açıklamaya çalışmışlardır. Bir süperiletken, içerisinde sürekli kalıcı bir akım akabilmektedir. Başka bir ifadeyle, süperiletken içerisindeki süperelektronlar hareketleri süresince bir direnç ile karşılaşmazlar. Bununla birlikte bir  $\vec{E}$  elektrik alanı süperiletkene uygulanırsa, elektronlar bu alan altında hızlanırlar. Dolayısıyla, süperelektronların klasik hareket denklemi bu durumu açıklamaya elverişli olup (Rose-Innses ve Rodheric, 1978);

$$m\dot{V}_s = eE \quad (1)$$

eşitliği ile verilir. Burada,  $m$ ,  $V_s$ ,  $e$ , sırasıyla süperelektronun kütle, hız ve elektriksel yükünü,  $\vec{E}$  ise elektrik alanı ifade etmektedir. Birim hacimde  $V_s$ , hızı ile hareket eden süperelektronların sayısı  $n_s$  ile verilirse, süperakım yoğunluğu;

$$J_s = n_s e V_s \quad (2)$$

olup, bu ifadenin zamana göre türevi alınarak ( $J_s = n_s e \dot{V}_s$ ) eşitlik (1)' de verilen  $\dot{V}_s$  ifadesi yerine yazıldığında, süperakım yoğunluğu;

$$J_s = \frac{n_s e^2}{m} E \quad (3)$$

formunu alır. Bilindiği gibi, manyetik alanın elektrik alan ve akım yoğunluğu ile ilişkilendirildiği Maxwell denklemleri;

$$\dot{B} = -\nabla \times E \quad (4)$$

$$\nabla \times H = J + \dot{D} \quad (5)$$

Şeklinindedir (Mourachkine, 2004). Süperiletken malzemelerde, manyetik olmayan malzemelerde olduğu gibi bağlı geçirgenlik  $\mu_r=1$  alınır ve elektrik alan çok hızlı bir şekilde yön değiştirmedeği sürece  $\dot{D}$  yer değiştirme akımı da ihmal edilirse, süperiletkenler için Maxwell denklemleri;

$$\dot{B} = -\nabla \times E \text{ ve } \nabla \times B = \mu_0 J_s \quad (6)$$

formuna indirgenir. Eşitlik (3)' teki  $E$  ifadesi ( $E = \frac{m}{n_s e^2} J_s$ ), Eşitlik (4)' te yerine yazılırsa,

$$\dot{B} = -\frac{m}{n_s e^2} \nabla \times J_s \quad (7)$$

elde edilir. Aynı zamanda Eşitlik (6)' daki  $J_s$  ifadesinin türevini alarak;

$$\nabla \times B = \mu_0 J_s ; J_s = \frac{1}{\mu_0} \nabla \times B ; \dot{J}_s = \frac{1}{\mu_0} \nabla \times \dot{B} \quad (8)$$

ifadesini eşitlik (7)' de kullandığımızda;

$$\dot{B} = -\frac{m}{n_s e^2} \nabla \times (\nabla \times \dot{B}) \quad (9)$$

şeklini alır. Bu eşitlikteki  $m/n_e e^2$  ifadesi  $\alpha$  şeklinde tek bir sabit olarak düşünülürse, Eşitlik (9)' u yeniden yazabiliriz. Bu durumda;

$$\dot{\mathbf{B}} = -\alpha \nabla \times (\nabla \times \dot{\mathbf{B}}) \quad (10)$$

elde edilir. Bu eşitlikteki  $\nabla \times (\nabla \times \dot{\mathbf{B}})$  ifadesi;

$$\nabla \times (\nabla \times \dot{\mathbf{B}}) = \nabla(\nabla \dot{\mathbf{B}}) - \nabla^2 \dot{\mathbf{B}} \quad (11)$$

şeklinde matematiksel olarak açılabilir. Maxwell eşitliği gereği,  $\nabla \dot{\mathbf{B}} = 0$  ( $\text{div} \mathbf{B} = 0$ ) olduğundan eşitlik (10) en sade hali ile;

$$\dot{\mathbf{B}} = -\alpha \nabla^2 \dot{\mathbf{B}} \quad \text{Veya} \quad \nabla^2 \dot{\mathbf{B}} = \frac{1}{\alpha} \dot{\mathbf{B}} \quad (12)$$

şeklinde yazılabilir. Diferansiyel bir denkleme karşılık gelen bu ifade;

$$\frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \dot{\mathbf{B}} \quad (13)$$

olup, bu denklemin çözümü;

$$\dot{\mathbf{B}}(x) = \dot{\mathbf{B}}_a \exp\left(\frac{-x}{\sqrt{\alpha}}\right) \quad (14)$$

şeklinindedir. Burada,  $\dot{\mathbf{B}}(x)$ , iletken içerisinde  $x$  mesafesindeki akı yoğunluğunu ve  $\dot{\mathbf{B}}_a$  ise,  $\dot{\mathbf{B}}(x)$ ' nin iletken dışındaki değerini ifade eder. Eşitlik (14), mükemmel iletken içerisinde akı yoğunluğunun üstel olarak azaldığını gösterir. Başka bir deyişle, akı yoğunluğundaki değişmelerin malzeme yüzeyinin aşağısındaki uzak bölgelere nüfuz etmediğini ancak iletken içerisinde belirli bir mesafede sabit kaldığını ifade eder. Bu sonuçlar, sıfır elektriksel dirence sahip bir iletken genel elektrodinamik yasalarını uygulayarak elde edilmiştir ve mükemmel bir iletkenin manyetik özelliklerini açıklamasına rağmen bir süperiletkenin davranışlarını açıklamada yetersiz kalmaktadır. Meissner etkisi, süperiletken içerisinde akı yoğunluğunun sadece sabit kalmadığının aynı zamanda daima sıfır olduğunu söyler. Bu yüzden, London kardeşler, bir süperiletkenin manyetik davranışının sadece  $\dot{\mathbf{B}}(x)$  değil aynı zamanda  $\mathbf{B}(x)$  değeri ile de doğru olarak tanımlanabileceğini göstermiş ve eşitlik (13)' ü  $\mathbf{B}(x)$ ' e uygulamışlardır (Mourachkine, 2004). Buna göre;

$$\nabla \times \mathbf{B} = \frac{1}{\alpha} \mathbf{B} \quad \text{veya} \quad \frac{\partial^2 \mathbf{B}(x)}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \mathbf{B}(x) \quad (15)$$



şeklinde yeniden düzenlenen bu eşitlikler kullanılarak bir süperiletken içerisinde manyetik akının dağılımı tespit edilebilir. Buna göre diferansiyel bir denklem olan eşitlik (15)' in çözümü;

$$B(x) = B_a \exp\left(\frac{-x}{\sqrt{\alpha}}\right) \quad (16)$$

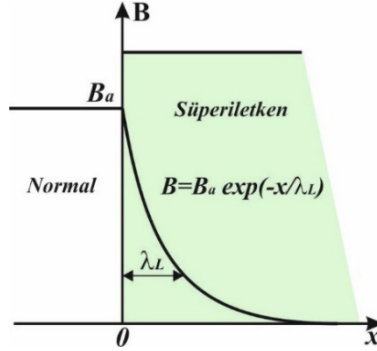
şeklinindedir. Bu eşitlik, süperiletken içerisinde akı yoğunluğunun üstel olarak azaldığını ve  $x = \sqrt{\alpha}$  mesafesinde akı yoğunluğunun yüzeydeki değerinin  $1/e$ ' sine düştüğünü gösterir. Bu mesafe "London sızma derinliği,  $\lambda_L$ " olarak adlandırılır ve  $\alpha = m/n_s e^2$  olduğundan, London sızma derinliği,  $\lambda_L$ ;

$$\lambda_L = \sqrt{\frac{m}{\mu_0 n_s e^2}} \quad (17)$$

ile tanımlanır ve Eşitlik (16),

$$B(x) = B_a \exp\left(\frac{-x}{\lambda_L}\right) \quad (18)$$

şeklini alır. Süperiletken yüzeyinde akı yoğunluğunun değişimi Şekil 1' de gösterildiği gibidir. Buna göre, London eşitlikleri, süperiletken yüzeyindeki akı yoğunluğunun hızlı bir şekilde üstel olarak düştüğünü doğrulamaktadır.



Şekil 1. Süperiletken sınırında akı yoğunluğunun değişimi (Mourachkine, 2004; Onar, 2017).

Sonuç olarak;

$$B(x) = -\frac{m}{n_s e^2} \nabla \times J_s \quad (19)$$

$$J_s = \frac{n_s e^2}{m} E \quad (20)$$

eşitlikleri, süperiletkenlerin elektrodinamiğini tanımlayan **London Eşitlikleri** olarak bilinir (Rose-Innses ve Rodheric, 1978). Eşitlik (19), süperiletkenlerin diyamanyetizmasını tanımlarken, Eşitlik (20), süperiletkenlerin dirençsizlik özelliğini tanımlar.

### 3.2. Ginzburg-Landau Teorisi

London teorisi, Meissner etkisini açıklamasına rağmen II. tip süperiletkenlerin karışık durumu gibi süperiletkenlik ve manyetik alanın bir arada bulunduğu durumları açıklamada yetersiz kalmaktadır. Ara durumların davranışlarını belirlemek amacıyla ortaya atılan Ginzbur-Landau teorisi (Ginzburg ve Landau, 1950), London teorisinin önemli ölçüde genişletilmiş halini sunmaktadır (London vd., 1935). Şaşırtıcı şekilde uzun süre tam olarak ilgi göremeyen bu teorinin kabul görmesi makroskobik teorinin gelişiminden sonra olmuş ve süperiletkenliğin önemli parametrik hesaplamaları yavaş yavaş ortaya çıkmıştır. İlerleyen dönemlerde, teorinin  $T_c$  civarındaki sıcaklıklarda BCS teorisinden türetilebileceği Gor'kov tarafından gösterilmiştir (Gor'kov, 1960). Teorinin büyük başarılarından bir diğeri de Abrikosov tarafından vorteks durumunun tahmin edilmesidir (Abrikosov, 1957). Ginzburg, Landau, Abrikosov ve Gor'kov gibi dört büyük bilim adamının katkılarından dolayı teori günümüzde GLAG teorisi olarak da anılmaktadır (Rose-Innses ve Rodheric, 1978).

Teoride tanımlanan düzen parametresi, elektron grubunun merkezinin hareketini tanımlayan temel dalga fonksiyonunun özelliklerine sahip termodinamik bir niceliktir. Bunun için  $\psi$  düzen parametresini kompleks bir sayı olarak tanımlarız ve  $|\psi|^2$  süperiletkenlik elektronlarının yoğunluğunu verir. Bir süperiletkenin serbest enerjisi, süperiletkenlik elektronlarının yoğunluğuna bağlı olup,  $|\psi|^2$ 'nin bir fonksiyonudur. Geçiş noktası civarında  $|\psi|^2$ 'nin oldukça küçük olduğu düşünüldüğünde, serbest enerji  $|\psi|^2$ 'nin güçlü bir serisine genişletilebilir (Matsushita, 2007). Yani;

$$sabit + \alpha|\psi|^2 + \beta|\psi|^4 + \dots \quad (21)$$

şeklinde yazılabilir. Düzen parametresi, dış manyetik alandan dolayı uzaysal olarak değiştiği varsayıldığında, Kinetik enerji yoğunluğunun beklenen değeri kuantum mekaniğinde;

$$\frac{1}{2m^*} \psi^* (-i\hbar\nabla + 2e\mathbf{A})^2 \psi \quad (22)$$

ile verilir. Burada  $\psi^*$ ,  $\psi$ ' nin kompleks eşleniğini,  $m^*$ , süperiletkenlik elektronu yani Cooper çiftinin kütesini ve  $2e$ , Cooper çiftinin yükünü ifade eder. Eşitlik (22)' de kinetik enerji operatörünün hermityen özelliğinden dolayı,

$$\frac{1}{2m^*} |(-i\hbar\nabla + 2e\mathbf{A})\psi|^2 \quad (23)$$

olarak yeniden yazılabilir. Böylece manyetik alanın enerjisini içeren süperiletken durumda serbest enerji yoğunluğu;

$$F_s = F_n(0) + \alpha|\psi|^2 + \frac{\beta}{2}|\psi|^4 + \frac{1}{2\mu_0}(\nabla \times \mathbf{A})^2 + \frac{1}{2m^*}|(-i\hbar\nabla + 2e\mathbf{A})|^2 \quad (24)$$

ile verilir. Burada  $F_n(0)$ , manyetik alanın yokluğunda, normal durumdaki serbest enerji yoğunluğudur. Öncelikle manyetik alanın uygulanmadığı durumu incelersek,  $\mathbf{A}=0$  alabiliriz ve düzen parametresi uzaysal olarak değişmediğinden Eşitlik (24);

$$F_s(0) = F_n(0) + \alpha|\psi|^2 + \frac{\beta}{2}|\psi|^4 \quad (25)$$

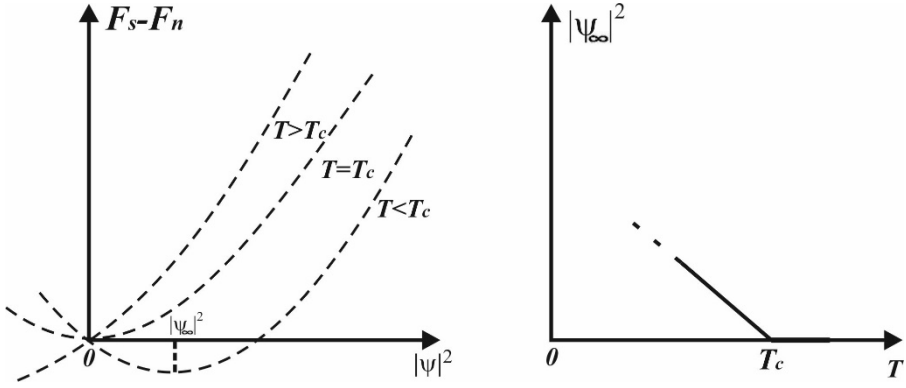
şekline indirgenir.  $T < T_c$  olduğu durumda,  $\alpha < 0$  ve  $\beta > 0$  durumları ortaya çıkar ve  $|\psi|^2$  sıfırdan farklıdır.  $|\psi|^2$ 'ye göre  $F_s(0)$ ' in türevinin sıfıra eşit olması durumundan;

$$|\psi|^2 = -\frac{\alpha}{\beta} = |\psi_\infty|^2 \quad (26)$$

ifadesi elde edilir. Eşitlik (25)' te bu ifadenin yerine yazılmasıyla, serbest enerji;

$$F_s(0) = F_n(0) - \frac{\alpha^2}{2\beta} \quad (27)$$

Halini alır.  $T=T_c$ ' de süperiletken durumdan normal duruma geçiş gerçekleşir ve  $|\psi_\infty|^2 = 0$  olur. Bu durumda  $\alpha$ , bu sıcaklıkta sıfırdır.  $\alpha$ ' nın sıcaklıkla değişiminin ( $T-T_c$ ) ile orantılı olduğu düşünülürse,  $\alpha$ ,  $T > T_c$ ' de pozitif değer alır ve  $|\psi|^2 = 0$  ile minimumdur (Matsushita, 2007). Serbest enerjinin  $|\psi|^2$  ile ve  $|\psi_\infty|^2$  ifadesinin sıcaklıkla değişimi Şekil 2a ve Şekil 2b' de gösterilmektedir.



**Şekil 2.** a) Farklı sıcaklıklarda, serbest enerji değişiminin  $|\psi|^2$  'ye karşı grafiği, b)  $|\psi_\infty|^2$  düzen parametresinin sıcaklık ile değişimi (Matsushita, 2007; Onar, 2017).

İ.tip bir süperiletkeni göz önüne alarak manyetik alandaki davranışını inceleyelim. Süperiletken Meissner etkisi gösterecek ve süperiletken durumda olduğu sürece manyetik alan yüzeydeki  $\lambda$  bölgesi dışında bulunmayacaktır. Böyle bir yüzey bölgesi, yeterince büyük bir süperiletkende ihmal edilebilmekte ve aynı zamanda düzen parametresindeki uzaysal değişim de yok sayılabilmektedir (De Gennes, 1966). Bu şekilde, manyetik alan altındaki süperiletkenin denge durumu Gibbs serbest enerji yoğunluğu minimize edilerek belirlenir. Dış manyetik alan ve süperiletken içerisindeki manyetik akı yoğunluğu sırasıyla  $H$  ve  $B$  ile ifade edilirse, Gibbs serbest enerji yoğunluğu  $G_s(H) = F_s - BH_e$  ile verilir.  $B=0$  ve  $|\psi|^2 = -\frac{\alpha}{\beta} = |\psi_\infty|^2$  ifadesini dikkate alırsak (Matsushita, 2007),

$$G_s(H) = F_n(0) - \frac{\alpha^2}{2\beta} \quad (28)$$

ifadesi elde edilir. Diğer taraftan, normal durumda  $|\psi|^2 = 0$  ve  $B = \mu_0 H$  ise;

$$G_n(H) = F_n(0) + \frac{\beta^2}{2\mu_0} - BH = F_n(0) - \frac{1}{2}\mu_0 H^2 \quad (29)$$

ifadesi elde edilir.  $G_s$  ve  $G_n$  geçiş noktasında eşit olduğundan dolayı ( $H = H_c$ );

$$\frac{\alpha^2}{\beta} = \mu_0 H_c^2 \quad (30)$$

sonucuna ulaşılır.

$T_c$  civarında  $\beta$  sıcaklık ile önemli ölçüde değişmez iken,  $\alpha$ ,  $H_c$  ile neredeyse orantılıdır. Yani;  $\alpha \cong 2(\mu_0\beta)^{1/2}H_c(0) (T - T_c)/T_c$  şeklindedir. Bu sonuç,  $\alpha$ 'nın sıcaklığa bağlılığı konusunda yapılan tahminin doğru olduğunu gösterir. (28) ve (29) eşitliklerinden;

$$G_s(H) = G_n(H) - \frac{1}{2}\mu_0(H_c^2 - H^2) \quad (31)$$

elde edilir. Bu sonuç,  $G_s(H) < G_n(H)$  ve süperiletken durumun  $H < H_c$ 'de, normal durumun ise  $H > H_c$ 'de meydana geldiğini gösterir. Özetle, manyetik alandaki geçişler bu eşitlik ile açıklanabilir. Özellikle,  $H=0$

iken Eşitlik (31);

$$G_s(0) = G_n(0) - \frac{1}{2}\mu_0H_c^2 \quad (32)$$

formuna girer. Burada süperiletken ve normal durumlar için serbest enerji yoğunluğu farkı  $\left(\frac{1}{2}\mu_0H_c^2\right)$  yoğunlaşma enerjisi olarak adlandırılır (Matsushita, 2007).

Süperiletkenlik ve manyetizmanın bir arada bulunduğu durumlarda  $\psi(r)$  ve  $A(r)$  serbest enerjinin,  $\int F_s dV$  minimize edilmesiyle belirlenir. Bu yüzden  $\int F_s dV$ 'nin  $\psi^*(r)$  ve  $A(r)$ 'ye göre değişimi sıfır olmalıdır (Ezphysics.nchu.edu.tw). Buna Göre;

$$\delta \int G_s dV = 0 \quad (33)$$

$G_s$ ,  $\psi$  'nin bir fonksiyonudur ve  $\nabla\psi = \partial_1\psi + \partial_2\psi + \partial_3\psi$  olup,  $\psi| = 0$  veya  $\nabla\psi| = 0$  sınır koşulları uygulanır (Ezphysics.nchu.edu.tw).

$$\frac{\partial G_s}{\partial \psi} - \sum_i \partial_i \frac{\partial G_s}{\partial (\partial_i \psi)} = 0 \quad (34)$$

$$\frac{\partial G_s}{\partial \psi^*} - \sum_i \partial_i \frac{\partial G_s}{\partial (\partial_i \psi^*)} = 0 \quad (35)$$

$$G_s = G_n + \alpha|\psi|^2 + \frac{\beta}{2}|\psi|^4 + \frac{1}{2m^*} \left| \left( \frac{\hbar}{i} \nabla - e^* A \right) \right|^2 + \frac{B^2}{2\mu_0} - \mu_0 M H \quad (36)$$

$$\frac{\partial G_s}{\partial \psi^*} = \alpha\psi + \beta|\psi|^2\psi + \frac{-e^* A}{2m^*} \left( \frac{\hbar}{i} \nabla - e^* A \right) \psi \quad (37)$$

$$\sum_i \partial_i \frac{\partial G_S}{\partial(\partial_i \psi^*)} = \frac{-1}{2m^*} \left(\frac{\hbar}{i}\right) \sum_i \partial_i \left(\frac{\hbar}{i} \partial_i - e^* \mathbf{A}_i\right) \psi \quad (38)$$

$$= \frac{-1}{2m^*} \left\{ \left(\frac{\hbar}{i}\right)^2 \nabla^2 \psi - \frac{\hbar}{i} e^* \mathbf{A} \cdot \nabla \psi \right\} \quad (39)$$

Buna göre;

$$0 = \alpha \psi + \beta |\psi|^2 \psi + \frac{-e^* \mathbf{A}}{2m^*} \left(\frac{\hbar}{i} \nabla - e^* \mathbf{A}\right) \psi + \frac{1}{2m^*} \left\{ \left(\frac{\hbar}{i}\right)^2 \nabla^2 \psi - \frac{\hbar}{i} e^* \mathbf{A} \cdot \nabla \psi \right\} \quad (40)$$

$$0 = \alpha \psi + \beta |\psi|^2 \psi + \frac{1}{2m^*} \left\{ \left(\frac{\hbar}{i}\right)^2 \nabla^2 \psi - 2 \frac{\hbar}{i} e^* \mathbf{A} \cdot \nabla \psi + e^{*2} \mathbf{A}^2 \psi \right\} \quad (41)$$

$$0 = \alpha \psi + \beta |\psi|^2 \psi + \frac{1}{2m^*} \left(\frac{\hbar}{i} \nabla - e^* \mathbf{A}\right)^2 \psi \quad (42)$$

Eşitlik (42) **I. Ginzburg-Landau eşitliği** olarak bilinmektedir (Ezphysics.nchu.edu.tw).

$G_s$ ,  $A$ 'nın da bir fonksiyonu olup,  $\nabla \times A = B$  dir ve  $A| = 0$  veya  $\partial_i A_j| = 0$  sınır koşulları uygulanır (Ezphysics.nchu.edu.tw).

$$\frac{\partial G_S}{\partial A_j} - \sum_i \partial_i \frac{\partial G_S}{\partial(\partial_i A_j)} = 0 \quad (43)$$

$$G_S = G_n + \alpha |\psi|^2 + \frac{\beta}{2} |\psi|^4 + \frac{1}{2m^*} \left| \left(\frac{\hbar}{i} \nabla - e^* \mathbf{A}\right) \right|^2 + \frac{B^2}{2\mu_0} - \mu_0 M H \quad (36)$$

$$\frac{\partial G_S}{\partial A_j} = \frac{-e^*}{2m^*} \left\{ \psi^* \left(\frac{\hbar}{i} \nabla - e^* \mathbf{A}\right)_j \psi + \psi \left(-\frac{\hbar}{i} \nabla - e^* \mathbf{A}\right)_j \psi^* \right\} \quad (44)$$

$$\begin{aligned} (\nabla \times \mathbf{A})^2 &= \sum_{lmnqr} \varepsilon_{lmn} \varepsilon_{lqr} (\partial_m A_n) (\partial_q A_r) \\ &= \frac{-e^*}{2m^*} \left(\frac{\hbar}{i}\right) (\psi^* \nabla \psi - \psi \nabla \psi^*)_j + \frac{e^{*2} A_j}{m^*} |\psi|^2 \end{aligned} \quad (45)$$

olduğundan;

$$\sum_i \partial_i \frac{\partial G_S}{\partial(\partial_i A_j)} = \frac{1}{2\mu_0} \sum_i \sum_{lmnqr} \varepsilon_{lmn} \varepsilon_{lqr} \frac{\partial(\partial_m A_n) (\partial_q A_r)}{\partial(\partial_i A_j)}$$

İfadesini en kısa şekline indirirsek;

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{2\mu_0} \sum_i \sum_{Imnqr} \varepsilon_{Imn} \varepsilon_{Iqr} \partial_i \{ \delta_{mi} \delta_{nj} (\partial_q A_r) + \delta_{qi} \delta_j (\partial_m A_n) \} \\
&= \frac{1}{\mu_0} \sum_i \sum_{Imn} \varepsilon_{Imn} \varepsilon_{Iij} \partial_i \{ \partial_m A_n \} \\
&= \frac{1}{\mu_0} \sum_i \varepsilon_{ijl} \partial_i (\nabla \times A)_l \\
&= -\frac{1}{\mu_0} (\nabla \times \nabla \times A)_j
\end{aligned}$$

eşitliğine ulaşılır ve bu ifade;

$$\frac{1}{\mu_0} \nabla \times \nabla \times A = \frac{1}{\mu_0} \nabla \times B = J \quad (46)$$

şeklinde verilen akım yoğunluğu ifadesine denktir. Sonuç olarak;

$$0 = \frac{-e^*}{2m^*} \left( \frac{\hbar}{i} \right) (\psi^* \nabla \psi - \psi \nabla \psi^*) + \frac{e^{*2} A}{m^*} |\psi|^2 + \frac{1}{\mu_0} \nabla \times \nabla \times A \quad (47)$$

$$J = \frac{e^* \hbar}{2m^* i} (\psi^* \nabla \psi - \psi \nabla \psi^*) - \frac{e^{*2} A}{m^*} |\psi|^2 \quad (48)$$

ifadesi olan **II. Ginzburg-Landau eşitliği** elde edilir (Ezphysics.nchu.edu.tw).

Ginzburg-Landau teorisi, sızma derinliği ( $\lambda$ ) ve koherens uzunluk ( $\xi$ ) olmak üzere iki karakteristik uzunluk ifadesini kapsar (Ginzburg ve Landau, 1950). Bir süperiletkene zayıf bir manyetik alanın uygulandığı durumu göz önüne aldığımızda, düzen parametresindeki değişimin küçük olacağı beklenir dolayısıyla  $\psi = \psi_\infty$  yaklaşımı yapılarak eşitlik (48);

$$J = -\frac{e^{*2}}{m^*} |\psi_\infty|^2 A \quad (49)$$

ifadesine indirgenir (Beasley, 2009). Burada,  $|\psi_\infty|^2 = n_s$  ve  $e^* = 2e$  olduğu düşünülürse, eşitlik (49) London teorisine benzer hale gelir. Böylece, Ginzburg-Landau teorisinin, düzen parametresi uzayda değişmediğinde London teorisine indirgenen daha genel bir teori olduğu söylenebilir ve sızma derinliği;

$$\lambda = \left( \frac{m^*}{4\mu_0 e^2 |\psi_\infty|^2} \right)^{1/2} \quad (50)$$

elde edilir (Beasley, 2009). Sıfır alanda,  $H=0$ ,  $J=0$  olacağından  $\psi^*\nabla\psi - \psi\nabla\psi^* = 0$  olur. Bu durumda, I. Ginzburg-Landau eşitliğinden;

$$\alpha\psi + \beta|\psi|^2\psi - \frac{\hbar^2}{2m^*}\nabla^2\psi = 0 \quad (51)$$

ifadesi yazılabilir. Burada  $f = \frac{\psi}{\psi_\infty}$  ve  $\psi_\infty = -\frac{\alpha}{\beta}$  alınarak, bir boyutta;

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} f + \alpha f + \beta|\psi_\infty|^2 f^3 = 0 \quad (52)$$

Eşitlik  $\alpha'$  ya bölünürse;

$$-\frac{\hbar^2}{2m|\alpha|} \frac{d^2}{dx^2} f + f - f^3 = 0 \quad (53)$$

Bu ifadedeki  $\frac{\hbar^2}{2m|\alpha|}$  terimi, [uzunluk<sup>2</sup>] boyutunda olup, karakteristik bir uzunluk verir. Bu karakteristik uzunluk;

$$\xi_{GL} = \sqrt{\frac{\hbar^2}{2m|\alpha|}} \quad (54)$$

$$\xi_{GL}^2 \frac{d^2 f}{dx^2} - 2f = 0 \quad (55)$$

ile verilen “*koherens uzunluk* ( $\xi_{GL}$ )”, olarak adlandırılır (Buckel ve Kleiner, 2004). Düzen parametresinin denge değerinden çok az değiştiğini varsayarsak;

$$f \sim \exp\left(-\frac{\sqrt{2|x|}}{\xi}\right) \quad (56)$$

ve sonuç olarak;

elde edilir. Bu, düzen parametresinin uzayda  $\xi$  mesafesinde değiştiğini gösterir (Beasley, 2009). Ginzburg-Landau teorisinde iki karakteristik uzunluğun oranı;

$$\kappa = \frac{\lambda}{\xi} \quad (57)$$

ile ifade edilen Ginzburg-Landau parametresidir (Ginzburg ve Landau, 1950). Ginzburg-Landau parametresine göre  $\lambda$  ve  $\xi$  niceliklerinin sıcaklığa bağlılıkları;

$$\lambda(T) = \frac{\lambda(0)}{\sqrt{1-T/T_c}} \quad (58)$$



$$\xi_{GL}(T) = \frac{\xi_{GL}(0)}{\sqrt{1-T/T_c}} \quad (59)$$

şeklindedir ve bunun sonucu olarak  $\kappa$  sıcaklıktan bağımsızdır (Beasley, 2009). Bilindiği gibi, süperiletkenlerin manyetik özelliklerinin tanımlanmasında Ginzburg-Landau teorisi önemlidir. Özellikle, I. ve II. tip süperiletkenlerin sınıflandırılmasında  $\kappa$  parametresi belirleyici olup,  $\kappa > 1/\sqrt{2}$  ise II. tip süperiletken,  $\kappa < 1/\sqrt{2}$  ise I. tip süperiletken gibi davranmaktadır (Poole vd., 1995).

Bir süperiletkene  $z$ -ekseni boyunca  $H_c$  dış manyetik alanı uygulandığında, süperiletkendeki manyetik akı yoğunluğunun uzaydaki dağılımı düzenli olacaktır ( $b = \mu_0 H_e$ ) ve  $\vec{A}$  vektör potansiyeli;

$$\vec{A} = \mu_0 H_e x i_y \quad (60)$$

ile verilir. Burada  $i_y$ ,  $y$ -ekseni boyunca yönelmiş birim vektörü ifade etmektedir. Buna göre (42) eşitliği,

$$-\frac{\hbar^2}{2m^*} \frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2e^2\mu_0^2}{m^*} (He^2 x^2 - 2H_c^2 \lambda^2) \psi = 0 \quad (61)$$

şeklinde yeniden yazılır. Bu ifade, aslında bir boyuttaki Harmonik osilatörün Schrödinger dalda denkleminde eşdeğerdir. Dolayısıyla;

$$\left(n + \frac{1}{2}\right) \hbar H_e = 2e\mu_0 H_c^2 \lambda^2 \quad (62)$$

ifadesi bir çözümdür. Bu ifadeye göre,  $n=0$  için  $H_c$ ' nin maksimum değeri elde edilir ki bu değer süperiletkenliğin bulunduğu maksimum alan olan  $H_{c2}$  üst kritik alan değerine karşılık gelmektedir. Bu durumda;

$$H_{c2} = \frac{4e\mu_0 H_c^2 \lambda^2}{\hbar} \quad (63)$$

elde edilir. Koherens uzunluk  $\zeta$ , ve GL-parametresinin,  $\kappa$ , bilinen ifadeleri kullanılarak;

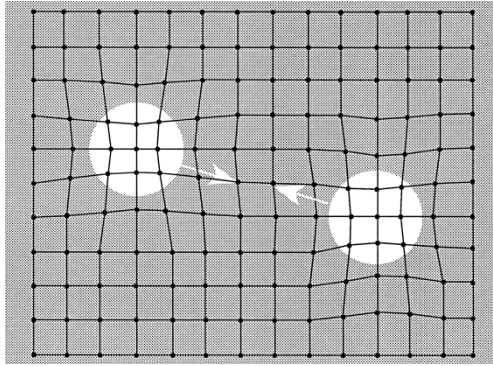
$$H_{c2} = \sqrt{2}\kappa H_c \quad (64)$$

ifadesine ulaşılır. II. Tip bir süperiletken için  $H_c$  alt kritik alandan daha büyük bir değerdedir. Bu, süperiletkenin karışık durumuna denk gelir ve II. tip süperiletkenler için **Termodinamik kritik alan ( $H_c$ )** olarak adlandırılır (Poole vd., 1995).

### 3.3. BCS (*Bardeen, Cooper ve Schrieffer*) Teorisi

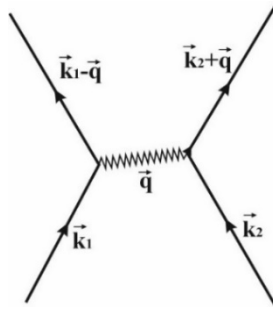
Süperiletken durumu açıklayan ilk mikroskobik teori olması bakımından önem taşıyan BCS teorisi 1957 yılında J. Bardeen, L. Cooper ve R. Schrieffer tarafından ortaya konmuştur (Bardeen, Cooper ve Schrieffer, 1957). Teorinin ilk varsayımları, süperakım taşıyan elektron çiftlerinin varlığı ve süperiletken ile normal durumlar arasında bir enerji aralığının ortaya çıkması olmuştur (Poole vd., 1995). Yapılan bu varsayım doğrultusunda, mutlak sıfır sıcaklığında, kristal örgü içerisine bir elektron girdiğinde, kristal örgü içerisinde bulunan pozitif yüklü çekirdekler ile arasında bir etkileşme ortaya çıkar. Çekirdekler ağır ve yavaş oldukları için yer yer pozitif yük yoğunlaşmasına neden olur ve örgüye ikinci bir elektron girmesi halinde, birinci ve ikinci elektronlar arasında bir Coulomb etkileşmesi meydana gelir. Ancak elektronun kristal örgü ile etkileşmesi elektronlar arasındaki etkileşmeden daha kuvvetli olduğu için Coulomb etkileşmesi perdelenir ve iki elektronun bir bağ oluşturarak birlikte hareket etmesi sağlanır. Elektronların bu bağlı durumları **Cooper çifti** olarak adlandırılır (Buckel ve Kleiner, 2004). Böylece, BCS teorisi ile süperiletkenlik olayının, elektronlar arasındaki çekim kuvvetinin itme kuvvetini yendiği sistemlerde, elektronlar ile kristal örgü ve elektronların birbirleri arasındaki makroskobik etkileşmelere dayalı olduğu kanıtlanmıştır (Mourachkine, 2004).

Şekil 3’te bir elektronun kristal örgü ile etkileşimi ile bir örgü deformasyonu oluşturması ve ikinci bir elektronun bu örgü deformasyonundan etkilenerek enerjisini azaltacak şekilde durumunu yeniden düzenlemesiyle meydana gelir. Kısaca, elektron ve kristal örgüsünün uyarılmaları arasındaki etkileşmelerin elektron-elektron çekimi halini aldığı ve bu çekimin, Coulomb itmesinden daha kuvvetli olduğunda süperiletkenliğin oluştuğu görülmektedir (Buckel ve Kleiner, 2004).

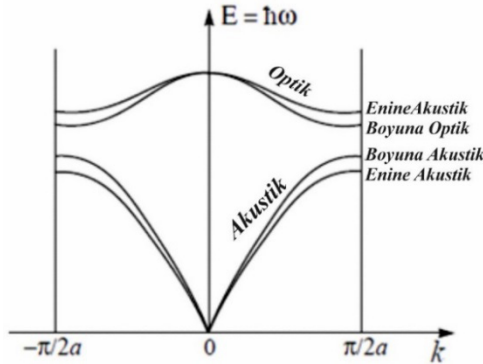


**Şekil 3.** Elektron-Örgü-Elektron etkileşmesi: iki elektronun örgü deformasyonu yoluyla etkileşmesi (Buckel ve Kleiner, 2004).

İki elektronun bir fonon aracılığı ile etkileşmesi, bir elektron tarafından sanal bir fononun yayılması ve diğeri tarafından absorbe edilmesi olarak düşünülebilir. Şekil 4' te gösterildiği gibi,  $\vec{k}_1$  durumundaki bir elektron bir fonon yayınlar ve  $\vec{k}'_1 = \vec{k}_1 - \vec{q}$  durumuna saçılır.  $\vec{k}_2$  durumundaki bir elektron bu fononu absorbe ederek  $\vec{k}'_2 = \vec{k}_2 + \vec{q}$  durumuna saçılır (Mourachkine, 2004). Bu şekil, iki elektronu hareket ettiren kuvveti hesaplamamızın en basit şeklini sunmaktadır. Bunun için öncelikle katıdaki atomik titreşimlerin spekturmunu göz önüne alalım. Bilindiği gibi, fononlar, kristal örgüsünün kuantize olmuş uyarılmaları olup farklı katılarda farklı frekanslarda ( $\omega = E/\hbar$ ) üretilirler. Katılardaki örgü periyodik olduğu için bir birim hücre diğeri ile yer değiştirebilir ve örgü titreşimleri bir hücreden diğere yayılabilir. Örgü titreşimlerinin spekturmunu incelerken, periyodu  $2a$  olan  $m$  ve  $M$  olmak üzere iki farklı kütle içeren bir boyutta lineer bir diziyi dikkate alabiliriz. Böyle bir sistemde enerji-momentum ilişkisi Şekil 5' te verildiği gibi **Dağınım (dispersiyon) bağıntısı** ile belirlenir (Mourachkine, 2004).



Şekil 4. Bir fonon aracılığı ile iki elektronun etkileşmesi (Mourachkine, 2004; Onar, 2017).



Şekil 5. İki atomlu bir dizinin titreşim frekansları (Mourachkine, 2004; Onar, 2017).

Burada,  $\pm \pi/2a$  Aralığındaki momentum uzayı **Brillouin Bölgesi** olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca, Şekil 5' te atomların enine ve boyuna titreşimlerine karşılık gelen iki optik ve iki akustik mod bulunmaktadır. Genellikle, daha yüksek enerjili salınımlar optik modlar olarak bilinirken, daha düşük enerjili salınımlar akustik modlar olarak bilinmektedir. BCS teorisinde kritik sıcaklığı belirlemek için fonon frekanslarının Debye spekturmu kullanılmaktadır. Debye modelinin mevcut enerjisi optik modları uyarmak için yetersiz olduğundan BCS teorisi düşük enerjili (akustik) fononları dikkate alır. Debye modelinde, Brillouin bölgesi, k-uzayında aynı hacimli bir küre ile yer değiştirebilir. Debye sıcaklığı  $\theta$ ;

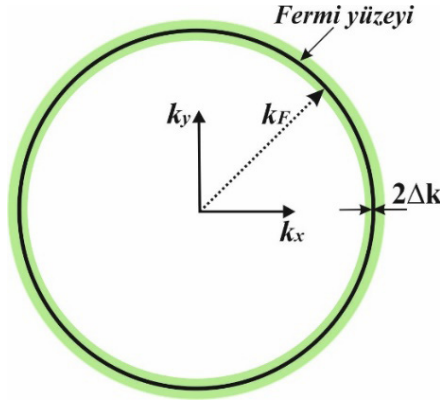
$$k_B \theta = \hbar w_D \quad (65)$$

ile tanımlanır. Burada,  $w_D$ , debye küresinin sınırındaki Debye frekansdır. Bu durumda  $k_B \theta$  Debye küresindeki en yüksek fonon enerjisidir (Mourachkine, 2004).

Şekil 4' te etkileşen elektronlara dönecek olursak;  $\vec{k}_1$  durumundan  $\vec{k}_1$  duruma saçılan bir elektronu elde etmek, Pauli prensibi gereğince Şekil 6' da gösterildiği gibi momentum uzayında  $k_F$  yarıçaplı küre ile temsil edilen Fermi yüzeyi civarında mümkün olmaktadır. BCS teorisinin temelini oluşturan elektronlar arasındaki fonon aracılıklı etkileşmeyi formüleştirmek etmek istersek,  $\hbar w_D$  ' den daha yüksek olmayacak şekilde Fermi enerjisinden farklı enerjideki elektronlar birbirleri ile etkileşirler. Böylece BCS mekanizmasında, Fermi yüzeyi civarında dar bir küre tabakasındaki durumu işgal eden bu elektronlar karşılıklı etkileşirler.

$$\frac{\Delta k}{k_F} \sim \frac{\hbar w_D}{E_F} \quad (66)$$

Burada,  $E_F = \hbar^2 k_F^2 / 2m$  ' dir,  $m$ , elektron kütesidir. Görüldüğü gibi, etkileşme zıt spinli elektronlar için ( $s_1 = -s_2$ ) en büyüktür ve dalga vektörleri eşit ve zıt büyüklüktedir ( $\vec{k}_1 = -\vec{k}_2$ ) (Mourachkine, 2004).



Şekil 6. Fermi yüzeyi civarında sadece  $2\Delta k$  aralığında kalan elektronların fononlarla etkileşimi (Mourachkine, 2004; Onar, 2017).

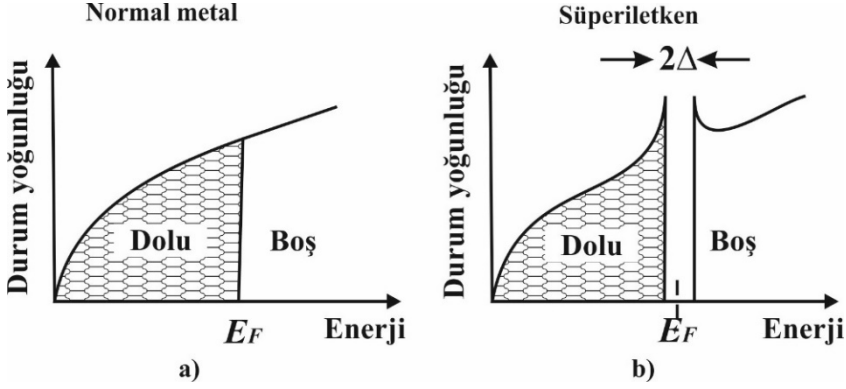
BCS teorisinin diğer bir önemli özelliği de elektronlar arasındaki çekici etkileşimin bir enerji aralığının oluşmasına neden olduğudur. Süperiletkenlerde kritik alan, termal ve elektromanyetik özelliklerin büyük çoğunluğu bu enerji aralığının bir sonucu olarak ortaya çıkarılmıştır.

### 3.3.1. Enerji Aralığı

Süperiletken sistemlerin enerji aralığı yalıtkan sistemlerin enerji aralığından tamamen farklı özellikler sergilemektedir. Yalıtkan sistemlerdeki enerji aralığına elektron-örgü etkileşimleri neden olur ve bu etkileşimler elektronları örgüye bağlar. Süperiletken sistemlerde ise en önemli etkileşme elektron-elektron etkileşmeleridir. Genellikle elektron-elektron etkileşimleri Fermi sıvısının Landau teorisi ile açıklanır. Bu teori, etkileşmelerin etkisini birleşik bir çerçevede vermeyi amaçlar. Etkileşmesiz fermiyonlardan oluşan bir sistemi **Fermi gazı**, aynı sistemin etkileşmeli durumuna ise **Fermi sıvısı** denir (Kittel, 2005).

Fermi sıvısının Landau teorisi, etkileşmeli elektron sisteminin düşük enerjili tek parçacık uyarılmalarına iyi bir açıklama getirir ve bu tek parçacık uyarılmalarına **Kuasi-parçacık** adı verilir (Kittel, 2005). Kuasi parçacıklar, elektron çiftlerinin bozulmasıyla süperiletkenlik taban durumunun dışında da oluşabilirler, ancak bu durumda uyarılma başına minimum  $\Delta$  enerjisi harcanması gerekir. Bu minimum  $\Delta$  enerjisi **Enerji aralığı** olarak adlandırılır (Kittel, 2005). Buna göre, BCS teorisi, Fermi enerji seviyesi civarındaki bütün elektronların Cooper çifti oluşturmaları durumunda işgal edilmiş en yüksek enerji seviyesi ile işgal edilmemiş en düşük tek elektron seviyesi arasında bir enerji aralığı

oluşacağını tahmin etmiştir (O'Reilly, 2003). Şekil 7, normal bir metal ve bir süperiletken için mutlak sıfırdaki durum yoğunluklarını şematik olarak göstermektedir.



Şekil 7. Mutlak sıfırda a) Normal metal, b) süperiletken için durum yoğunlukları (O'Reilly, 2003; Onar, 2017).

Şekil 7'ye göre her iki durumda da Fermi enerjisine kadar olan bütün durumlar dolu, Fermi enerjisinin üstündeki durumlar ise boştur. Ancak süperiletken sistemde, dolu olan en yüksek enerji seviyesi ile boş olan en düşük tek elektron seviyesi arasında  $2\Delta$  büyüklüğünde bir enerji aralığı bulunmaktadır. BCS teorisine göre, süperiletken bir sistemde  $\Delta$  enerji aralığının kritik sıcaklığa bağlılığı;

$$2\Delta = 3,52k_B T_c \quad (67)$$

eşitliği ile verilmektedir. Burada  $k_B$ , Boltzmann sabiti,  $T_c$ , kritik sıcaklıktır (Mourachkine, 2004).

BCS mekanizmasının, Ginzburg-Landau ve London teorisinin sonuçları ile de uyum içerisinde olduğu zaman içerisinde ortaya çıkmıştır. Bilindiği gibi süperiletkenlik, elektron çiftlenimi ve faz uyumu gerektirir. Dolayısıyla, Ginzburg-Landau teorisinde tanımlanan koherens uzunluk,  $\xi_{GL}$ , düzen parametresinin değişimi ile meydana gelen karakteristik bir parametredir. Aynı zamanda, bir Cooper çiftinde iki elektron arasındaki mesafe de koherens uzunluk,  $\xi$ , olarak adlandırılmaktadır. Ancak bu iki fiziksel kavram farklı ve birbirinden bağımsızdır. Koherens uzunluk,  $\xi_{GL}(T)$ , sıcaklığa bağlıken, Cooper çifti mesafesi,  $\xi$ , sıcaklıktan bağımsızdır. Ancak  $T=0$ 'da konvensiyonel süperiletkenlerde, faz uyumu Cooper çifti dalga fonksiyonlarının üst üste gelmesiyle ortaya çıkar. Cooper çifti dalga fonksiyonlarının üst üste binmesi

**Josephson çiftlenimi** olarak adlandırılır (Kittel, 2005). Dolayısıyla elektron çiftlenimi ve konvensiyonel süperiletkenlerdeki faz uyumunun başlaması  $T_c$  'de aynı anda meydana geldiğinden  $\xi_{GL}(0) = \xi$  'dir. Ancak  $0 < T < T_c$  'de saf konvensiyonel süperiletkenlerde koherens uzunluk değeri daima Cooper çifti mesafesinden büyüktür,  $\xi < \xi_{GL}(T)$ . Konvensiyonel olmayan süperiletkenlerde faz uyumu Josephson çiftlenimi ile meydana gelmez, faz uyumu mekanizması da farklıdır. Dolayısıyla,  $\xi_{GL}(0) \neq \xi$  'dir (Mourachkine, 2004).

Sonuç olarak, konvensiyonel süperiletkenlerde, BCS teorisi gereğince, koherens uzunluk,  $\xi_0$ , mutlak sıfırda enerji aralığı ile belirlenir ve

$$\xi_0 = \frac{\hbar v_F}{\pi \Delta(0)} \quad (68)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $v_F$ , Fermi hızı ve  $\hbar = h/2\pi$ , Planck sabitidir.  $\xi_0$ , Cooper çifti mesafesi olarak bilinen **Pippard koherens uzunluğu** olarak adlandırılır ve bu değer daha önce de ifade edildiği gibi, konvensiyonel süperiletkenlerde koherens uzunluk,  $\xi_{GL}$ , değerine eşittir (Mourachkine, 2004).

#### 4. Sonuç

Bu çalışmamızda süperiletken sistemlerin doğasını ortaya çıkarmak için türetilen önemli teorilerinden ve mühendislik alanlarındaki uygulamalarından bahsettik. Kuşkusuz süperiletken sistemleri çözmek ve anlamak teknolojik uygulamalar yer almasını ve yüksek performansından faydalanılması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda keşfedildikleri günden itibaren üzerinde yoğun çalışmaları aralıksız olarak devam ettiği ve halen bilim insanlarının oda sıcaklığında ya da oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda yeni süperiletken malzemeleri keşfetme çalışmaları devam etmektedir. Kuşkusuz araştırmacıları bu noktaya taşıyan süperiletken sistemlerin önemli parametrelerinin keşfi olmuştur. Öncelikle London teorisi ile süperiletkenlerin diyamanyetizmasının ve dirençsizlik özellikleri tanımlanmış ve London sızma derinliği denilen süperiletkenler için önemli bir parametre türetilmiştir. Daha sonra Ginzburg Landau teorisi ile özellikle II. tip süperiletkenlerin karışık durumlarının ortaya çıkarılması ve manyetik özelliklerinin aydınlatılması sağlanmıştır. Bununla beraber uyum uzunluğu ve  $\kappa$  parametresi ortaya atılmıştır. Son olarak BCS teorisiyle süperiletken durumun konvensiyonel malzemelerde tamamen açıklanması, Cooper çiftleri ve enerji aralığı gibi süperiletkenlere has durumların ortaya çıkarılmasıyla bu sistemlerin uygun şartlar altında yüksek performans sergileyebileceklerini ortaya koymuştur. Süperiletkenlerin mühendislik

uygulamalarında en büyük öneme sahip olan parametresi kuşkusuz kritik akım yoğunluğudur. Bu alanda yoğun olarak çalışılmakta ve olumlu sonuçlar da alınmaktadır. Ancak süperiletkenlerin teknolojik uygulamalarda kullanılmaları konusundaki en büyük engel süperiletkenlerin soğutulmaları aşamasında sıvı helyuma ihtiyaç duyulmasıdır. Ancak, gelişen soğutma teknolojileri ile bu durumun aşılacağı ve süperiletkenlerin yüksek performanslarından en üst düzeyde faydalanılacağı düşünülmektedir.

### Kaynakça

- Abrikosov, A.A. (1957). *Sov. Phys. JETP*. 5, 1174.
- Bardeen, J., Cooper, L., Schrieffer, J. R. (1957). *Phys. Rev.* 108, 1175.
- Beasley, M.R. (2009). Notes on the Ginzburg-Landau Theory. *ICMR Summer school on novel superconductors*, University of California, Santa Barbara.
- Bednorz, J. G. and Müller, K. A. (1986). *Z. Phys. B*. 64, 189.
- Bozbey, A., Çetin, S. A., Ünel, G. (2013) *Süperiletkenlik ve süperiletken elektronığı*. Ekonomik Forum 47. Erişim adresi: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://haber.tobb.org.tr/ekonomikforum/2013/04/042-047%20TEKNOLOJ%C4%B0.pdf
- Buckel, W., Kleiner, R. (2004). *Superconductivity; Fundamentals and Applications*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 464p.
- De Gennes, P.G. (1966). *Superconductivity of Metals and Alloys*. Westview press, Los Angeles, California, 291p.
- Ezphysics.nchu.edu.tw
- Fossheim, K. and Sudbø, A. (2004). *Superconductivity; Physics and Applications*. John Wiley & Sons Ltd. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, England, 430p.
- Ginzburg V.L. and Landau L.D. (1950). *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* 20, 1064.
- Gor'kov, L.P. Sov. (1960). *Phys: JETP*. 9, 1364.
- Hazen, M.R., Finger, L.W., Angel, R.J., Prewith, T.C., Ross, R.L., Hermann, A.M. (1988). *Phys. Rev. Lett.* 60, 657.
- <http://www.jamstec.go.jp/esc/index.en.html>
- [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1973/press.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1973/press.html).
- Jaklevic, R. C., Lambe, J., Silver, A. H., Mercereau, J. E. (1964). Quantum interference effects in Josephson tunneling, *Phys. Rev. Letters* 12, 159.



Josephson, B. D. (1962). Possible new effects in superconductive tunneling, *Phys. Lett.* 1, 251.

Kamihara Y., Watanabe T., Hirano M. and Hosono H. (2008), Iron-Based Layered Superconductor  $\text{La}[\text{O}_{1-x}\text{F}_x]\text{FeAs}$  ( $x = 0.05\text{--}0.12$ ) with  $T_c = 26$  K, *J. Am. Chem. Soc.* 130, 3296.

Kittel, C. (2005). *Introduction to Solid State Physics*. John Wiley & Sons, Inc, Printed in USA, 703p.

London, F., London H. (1935). *Z. Phys.* 96, 359; London, F. (1937). Une conception nouvelle de la supraconductivite, Hermann & Cie, Paris.

Maeda, H., Tanaka, Y., Fukutumi, M., Asono, T. (1988), A New High- $T_c$  **Oxide Superconductor without a Rare Earth Element**, *Jpn. J. Appl. Phys.* 27, 209.

Matsushita, T. (2007). *Flux Pinning in Superconductors*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 509p.

Mourachkine, A. (2004). *Room-Temperature Superconductivity*. Cambridge International Science Publishing, Meadow Walk, Great Abington, Cambridge CB1 6AZ, UK, 327p.

Nagamatsu J., Nakagawa N., Muranaka T., Zenitani Y. and Akimitsu J. (2001), Superconductivity at 39K in magnesium diboride, *Nature*. 410, 63.

O'Reilly, E.P. (2003). *Quantum Theory of Solids*. Taylor & Francis e-Library, London and New York, 265p.

Onar, K. (2017). *FeSe-Tabanlı Yeni Nesil Süperiletken Alaşımların Tek Kristal Formda Üretimi, Karakterizasyonu Ve Mühendislik Uygulamaları*. Doktora Tezi. İnönü Üniversitesi, Malatya.

Onnes, H. K. (1911) *Leiden Commun.* 120b, 122b, 124c.

Parinov, I. A. (2007). *Microstructure and Properties of High-Temperature Superconductors*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 588p.

Poole, C. P., Farach, H. A., Creswick, R. J., Prozorov, R. (1995). *Superconductivity*. Academic Press is an imprint of Elsevier, 84 Theobald's Road, London WC1X 8RR, UK, 671p.

Putilin, S. N., Antipov, E. V., Chmaissen, O., Marezio, M. (1993). Superconductivity at 94 K in  $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ , *Nature*. 362, 226.

Rose-Innses, A. C., Rodheric, E. H. (1978). *Intoduction to Superconductivity*. Pergamon press, University of Manchester Institute of Science and Technology, U.K., 262p.

Şengül, G., Ertük, K. L., Çalaman, E., Akyüz, T. (2011). Erişim adresi [acikarsiv.atilim.edu.tr](http://acikarsiv.atilim.edu.tr).

Whu, M. K., Asheburn, J. R., Torng, C. J., Hor, P. H., Meng, R. L., Gao, L., Huangz, J., Wang, Y., Chu, C. W. (1987), Superconductivity at 93 K in a new mixed-phase Y-Ba-Cu-O compound system at ambient pressure, *Phys. Rev. Lett.* 58, 908.

[www.nitrd.gov/pubs/nsa/sta.pdf](http://www.nitrd.gov/pubs/nsa/sta.pdf)



## BÖLÜM II

# NANO BAKIR OKSİT VE CAM TOZU MODİFİYELİ HARÇLARDA ALTERNATİF AKIMIN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

*Investigation of the Effects of Alternative Current on Mortars  
Modified with Nano Copper Oxide and Glass Powder*

İsmail HOCAOĞLU

(Doç. Dr.) Afyon Kocatepe Üniversitesi,  
Bolvadin Meslek Yüksek Okulu,  
Afyonkarahisar, Türkiye  
E-mail: ihocaoglu@aku.edu.tr  
ORCID:0000-0001-9294-1120

### 1. Giriş

**H**idrolik bağlayıcı olarak kullanılan çimento dünyada en fazla tercih edilen yapı malzemesidir (Vahabi ve diğ., 2022). Çimento teknolojisinde meydana gelen inanılmaz gelişmeler bilim insanlarını heyecanlandırmaktadır (Hocaoğlu, 2023). Çimento üretimi sırasında çok yüksek miktarda CO<sub>2</sub> doğaya salınmaktadır (Afshar ve diğ., 2020). Bu sebeple bilim insanları karbon ayak izini azaltmak için alternatif arayış içine girmişlerdir. Bilim insanları yaptıkları güncel araştırmalarda atıkların beton üretiminde değerlendirilmesi ile CO<sub>2</sub> salınımını azaltılabileceğini belirlemişlerdir (Gerges ve diğ., 2022; He ve diğ., 2022). Bugünkü teknolojik imkânlar da kullanılarak atık malzemeler çok ince olarak öğütülmekte, bu sayede yüzey alanları arttırılabilmektedir. Atık malzemelerin yüzey alanlarının arttırılması ile puzolonik aktiviteleri arttırılmakta, bu sayede çimento esaslı malzemelerde boşluk oranları azaltılarak, malzemelerin mekanik dayanımları arttırılabilmektedir (Dabbaghi ve diğ., 2021).

Cam tozu (CT), amorf yapısı ve yüksek miktarda silika minerali içermesi sebebiyle puzolanik özellikler sergileyebilmektedir (Bostancı, 2022). Ayrıca

CT, çimento matrisinde silikayı çözerek, yüksek kür sıcaklığı ile özellikle hidrasyonun ilk aşamalarında puzolanik reaksiyonu da arttırdığı bilinmektedir (Khmiri ve diğ., 2013). CT' nin bu puzolanik özelliği, çimento esaslı bağlayıcılarla birlikte kullanıldığında hidrasyon sırasında kalsiyum hidroksit (CH) miktarının artmasına katkıda bulunmaktadır (Khmiri ve diğ., 2013; He ve diğ., 2019). CH bağları da CSH jellerinin oluşmasında büyük önem taşımaktadır (He ve diğ., 2019). Literatürde CT' nin çimento esaslı malzemelerde fiziksel, mekanik, durabilite ve mikro yapıya etkileri bazı çalışmalarda araştırılmıştır. Li ve diğ., (2022) 28 ve 90 gün kür edilmiş CT katkılı harçlarda basınç dayanımına etkisini araştırmışlardır. 28 gün kür edilen numunelerde basınç dayanımının yaklaşık olarak %3,5 arttığı, 90 gün kür edilen numunelerde ise basınç dayanımının yaklaşık %9,6 arttığını gözlemlemişlerdir (Li ve diğ., 2022). Asgarian ve diğ. (2023) çimento yerine %5 ve %10 oranlarında atık CT katılan ve 90 gün kürlenmiş betonlarda basınç dayanımının referans betona kıyasla %60' a kadar artabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Günümüzde teknolojinin olumlu neticeleri sonucu çimentolu sistemlerde çok ince öğütülmüş nano boyutlu malzemeler de kullanılmaya başlanmıştır (Hocaoğlu, 2022). Literatürde nano boyutlu malzemelerin çimentolu kompozit sistemlerde kullanılmasına yönelik çeşitli araştırmaların yapıldığı görülmüştür. Nano boyutlu malzemeler çok ince öğütüldükleri için yüzey alanları geniştir. Bu sayede çimento esaslı malzemelerde mikro boşlukların doldurulmasını sağlamaktadırlar (Hocaoğlu, 2021). Li ve diğ., (2006) nano  $Al_2O_3$ ' ün çimento esaslı malzemelerde kullanılması ile elektriksel iletkenliğin artırılabilmesi, porozitenin azaltılabileceği, mekanik yapının ise iyileştirilebileceği sonucuna ulaşmışlardır. Metaxa ve diğ., (2011) nano-fiber katkılı betonların eğilme dayanımlarının referans betonlara kıyasla fark edilebilir düzeyde yüksek çıktığını gözlemlemişlerdir. Seifan ve diğ., (2022), çimentolu harca ağırlıkça %5 mikro demir oksit ilave edildiğinde 28 günlük basınç dayanımının yaklaşık %7,96 arttığını gözlemlemişlerdir. Nik ve Bahari (2011), nano silika katkılı harçların mikro yapılarının daha sıkı olduğunu ve mekanik dayanımlarının kontrol numunesine göre daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Bazı araştırmalarda, çimento bazlı sistemlere grafen oksit nanopartikülleri, nano montmorillonit, karbon nanotüpler ve titan nanopartiküllerinin eklenmesinin basınç ve eğilme dayanımlarını artırabileceği sonucuna varılmıştır (Mousavi ve diğ., 2021; Hocaoğlu, 2022; Mousavi ve diğ. 2022).

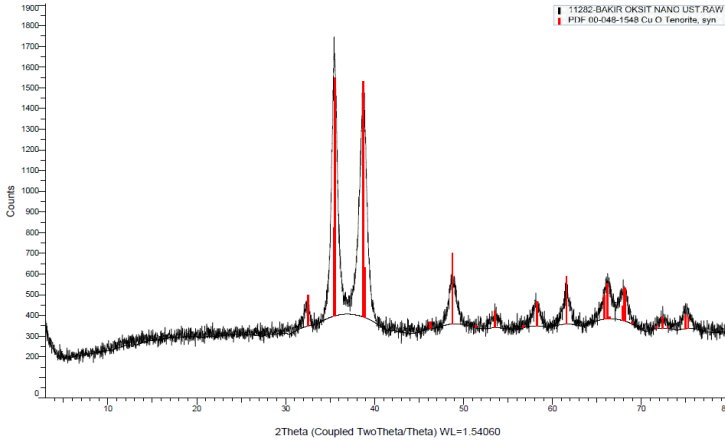
Bakır cürufu, bakır eritme ve bakır rafinasyon işleminin bir yan ürünü olan, üstün mekanik ve elektriksel iletkenlik özellikleri gösteren, karbon bazlı kompozitlerde ideal bir yardımcı dolgu maddesidir (Wang ve diğ., 2019; Wang ve diğ., 2022). Nano bakır oksit de diğer nano malzemeler gibi çimentolu kompozitlerin mekanik ve mikro yapılarını geliştirmektedirler. Naseri ve diğ. (2017), %1, %2 ve %3 nano bakır oksit (NB) katkılı betonun eğilme dayanımının beton içerisindeki NB oranının artmasıyla artabileceğini rapor etmişlerdir. Beton içerisinde NB oranının %3 olduğunda eğilme dayanımının referans betona kıyasla yaklaşık %16 artabileceğini gözlemlemişlerdir (Naseri ve diğ., 2017). Basınç dayanımının ise referans harca göre yaklaşık %21 oranında daha yüksek çıkabileceğini belirlemişlerdir (Naseri ve diğ., 2017). Khotbehsara ve diğ., (2015), %1, %2, %3 ve %4 NB katkılı harçların tüm kür sürelerinde (7gün, 28gün ve 90 gün) en yüksek basınç dayanımına %3 katkılı harçlarda ulaşabileceğini gözlemlemişlerdir. Madandoust ve diğ. (2015), 28 gün ve 90 gün kürlenmiş harçlarda özellikle %3 NB konulması ile en yüksek basınç dayanımı elde edilebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Literatürde nano malzemelerin farklı malzemeler ile birlikte kullanımını araştıran kısıtlı çalışma bulunmaktadır (Oltulu ve Sahin, 2013; Mohseni ve diğ., 2015). Önceki araştırmalarda çimentolu sistemlerde CT ve NB' nin etkileri ayrı ayrı araştırılmıştır. Ancak güncel literatür araştırması sonucunda çimento esaslı malzemelerde CT ve NB' nin birlikte kullanılmasına yönelik herhangi bir araştırmaya rastlanmamıştır. Ayrıca, CT ve NB katkılı harçlarda alternatif akımın etkilerinin araştırılması bu çalışmaya özgünlük kazandırmaktadır.

## **2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler**

### ***2.1. Nano Bakır Oksit Parçacıkları***

Nano bakır oksit katkılı harç hazırlamak için nanografi firmasının (Nanografi, 2023) üretimi olan NB kullanılmıştır. NB oluşumunu gözlemek amacıyla kalitatif XRD analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). XRD analizi neticesinde yaklaşık  $2\theta=36^\circ$  ve  $2\theta=40^\circ$  de piklerin olduğu gözlenmiştir (Şekil. 1). Yildirim ve Derun (2018) araştırmalarında NB için aynı derecelerde piklerin oluştuğunu gözlemlemişlerdir (Şekil. 1). Sonuç olarak deneylerde kullanılan malzenin nano CuO olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 1. Nano bakır oksit' in XRD analizi (Yıldırım ve Derun, 2018)

## 2.2. Çimento

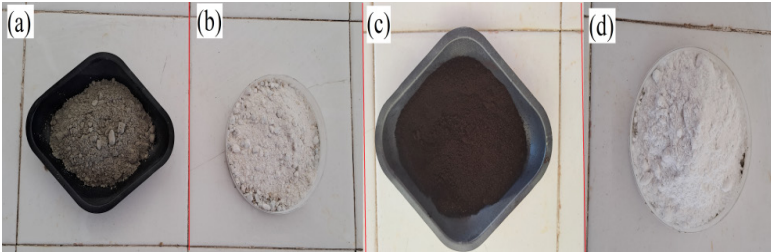
Deneylerde Afyon Çimento fabrikasının TS EN 197-1 standardına uygun çimento kullanılmıştır. Harç üretiminde kullanılan çimentonun özgül ağırlığı 3.10 olup; çimento tipi ise CEM I 42,5 R' dir. Çimentonun 28 günlük basınç dayanımının 50,40 MPa olduğu belirlenmiştir.

## 2.3. Agrega

Harç üretiminde en büyük dane boyutu 4mm olan ve özgül ağırlığı 2.66 olarak belirlenmiş kırma taş kullanılmıştır.

## 2.4. Cam Tozu

Deneylerde %99.80 saflıktaki, özgül ağırlığı 2,60 olan Aker Kimya şirketi tarafından üretilen cam tozu parçacıkları kullanılmıştır. Çimento esaslı harç üretim aşamasında kullanılan çimento, agrega ve nano çinko oksit Şekil 2' de gösterilmiştir.

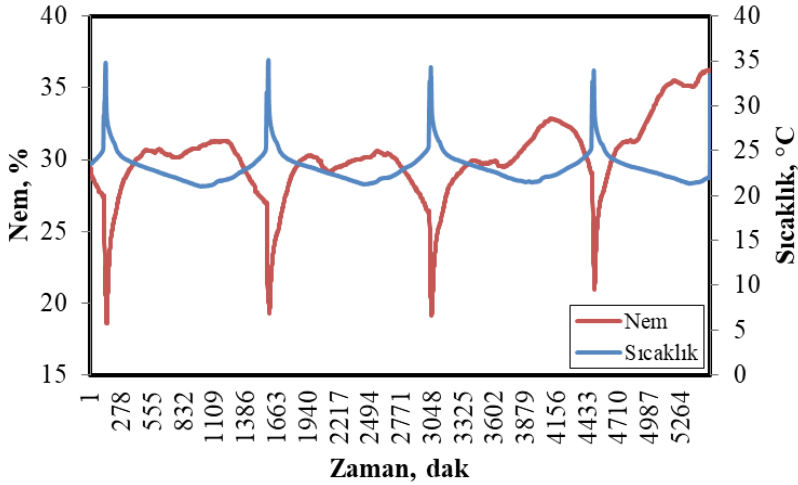


Şekil 2. Deneylerde kullanılan malzemeler (a-çimento, b-kırma kum, c-nano bakır oksit parçacıkları, d-cam tozu)

### 3. Harç Üretimi ve Yapılan Deneyler

#### 3.1. Harçların Üretilmesi

Harçlar 4cm x 4cm x 16cm boyutlarındaki elektriksel yalıtımlı kalıplar ile üretilmiştir. Karışım hesabı tasarlanırken su/çimento oranı tüm serilerde sabit (0.70) tutulmuştur. 1 m<sup>3</sup> harç üretmek için kullanılan malzemeler Tablo 1’de gösterilmiştir. Karışım prosedürü şu şekilde yapılmıştır. Öncelikle kum ve çimento 2 dakika süreyle karıştırıcı vasıtasıyla karıştırılmıştır. Hazırlanan karışıma CT eklenerek 1 dakika karıştırmaya devam edilmiştir. Sonrasında NB’ nin topaklanmaya neden olmaması (ASTM C305-20, 2020) için NB su ile karıştırılmış, sonrasında kuru karışımla yaklaşık 5 dakika karıştırılarak harçlar üretilmiştir. Harç üretiminde yüksek su/çimento kullanılmasının nedenleri; NB ve CT’ nin yüksek su emme potansiyeline sahip olması ve AC’ nin hidrasyon sıcaklığını yüksek miktarda arttırmasıdır. Harç üretimi oda koşullarında gerçekleşmiştir (Şekil 3). Şekil 3 incelendiğinde 2 gün süreli ölçümde nem oranının %19- %34 arasında değiştiği, ortam sıcaklığının ise yaklaşık 21-35 °C arasında olduğu gözlenmiştir.



Şekil 3. Harç üretimindeki oda koşulları

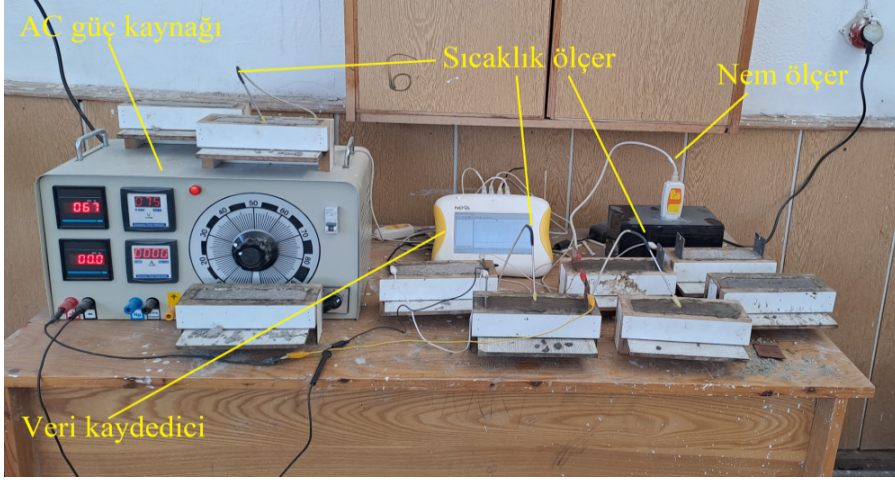
Tablo 1. 1m<sup>3</sup> Harç üretimi için kullanılan malzemeler

Temsil Ettiği Numune	Çimento, kg/m <sup>3</sup>	Kırma kum, kg/m <sup>3</sup>	NB, kg/m <sup>3</sup>	CT, kg/m <sup>3</sup>	Su, lt/m <sup>3</sup>
Kontrol	300	1790,40	-	-	210,40
%2 NB-%5 CT	279	1790,40	6	15	195,30
%2 NB-%10 CT	264	1790,40	6	30	184,80



### 3.2. Taze ve Sertleşmiş Harçlar Üzerinde Yapılan Deneyler

Harçlar üretildikten hemen sonra bir kısmına AC güç kaynağı vasıtasıyla 30V gerilim uygulanmıştır. Akım uygulanan ve akım uygulanmayan harçların iç sıcaklıkları hidrasyon reaksiyonları başlangıç aşamasından itibaren (sıcaklık sensörleri kullanılarak) her dakika veri kaydediciye kaydedilmiştir. Bununla beraber, gerilim uygulanmayan harçların nem oranları da nemölçer (nem sensörü) kullanılarak ölçülmüştür. Deney düzeneği Şekil 4’ te gösterilmiştir.



Şekil 4. Taze durumdaki harçlara AC uygulanması, hidrasyon sıcaklıklarının ölçülmesi, nem oranlarının ölçülmesi

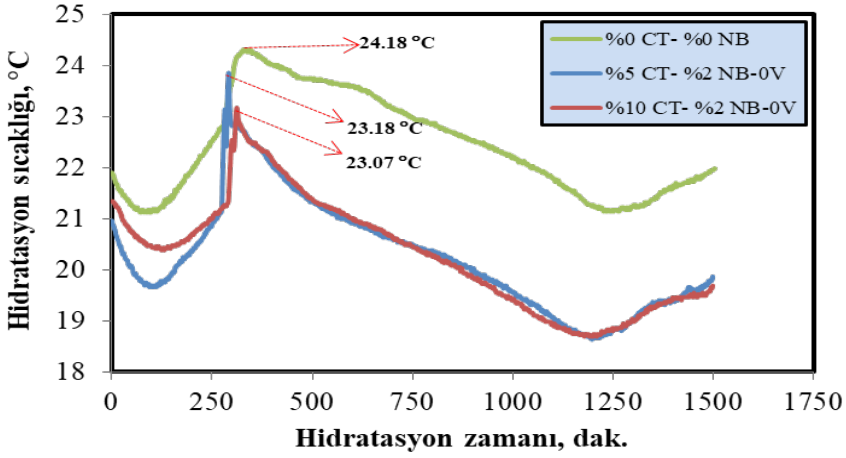
Hazırlanan harçlar prizlerini alıp, sertleştikten hemen sonra kalıplardan çıkartılarak 7 ve 28 gün süreyle kür (yaklaşık 20 °C kirece doygun su içerisinde) edilmiştir. Sonrasında numuneler eğilme ve basınç testlerine tabi tutulmuştur (TS EN 12390-7, 2010). Sonrasında harçlardan çok küçük miktarda (yaklaşık 3-5mm) numuneler alınarak mikro inceleme analizleri gerçekleştirilmiştir.

## 4. Sonuçlar ve Tartışma

### 4.1. Alternatif Akımın CT’ nin ve NB’ nin Harç İç Sıcaklığına Etkisi

CT ve NB’ nin hidrasyon sıcaklığına etkisini incelemek için Şekil 4 oluşturulmuştur. Referans harcın en yüksek iç sıcaklığı yaklaşık olarak 24,18 °C’ ye ulaştığı gözlenmiştir. Çimento yerine hem CT konulması hem de NB konulması sonucu hidrasyon sıcaklığının düştüğü gözlenmiştir. Çimento yerine konulan CT’ nin (%5’ den %10’ a) artması ile harçların hidrasyon sıcaklığında azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Bu durum ince öğütülmüş

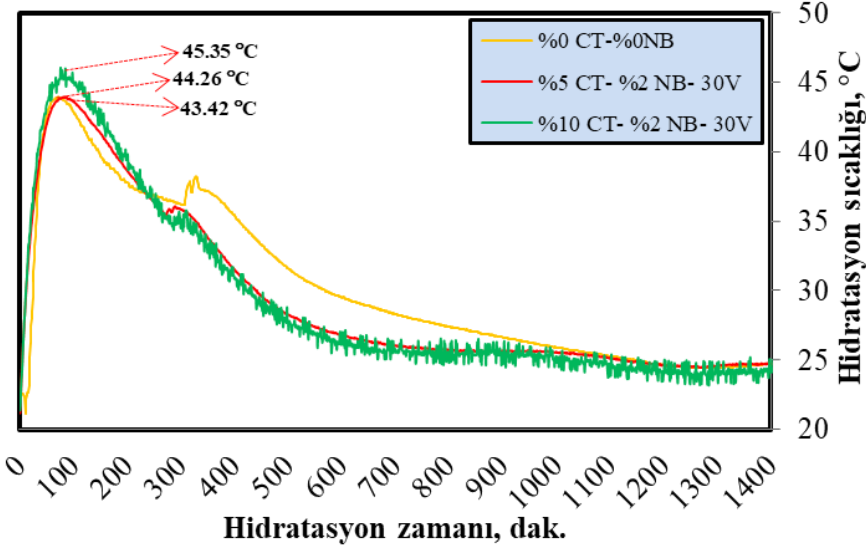
CT' nin daha fazla hidrasyon suyunu emmesiyle (yaklaşık %10) açıklanabilir (Al-Zubaidi ve Al-Tabbakh, 2016). Önceki araştırmalar çimentolu kompozitlerde iç sıcaklığın ilk tepe noktasına ulaştığı sürenin hemen hemen priz bitiş süresi olduğunu belirlemiştir (Kosmatka ve diğ., 2016). Harçların ilk sıcaklıklarının tepe noktalara ulaşma süreleri incelendiğinde; referans, %5 CT- %2 NB ve %10 CT- %2 NB içerikli harçların priz bitişleri yaklaşık olarak sırasıyla 311, 289, 309 dakikalarda gerçekleştiği rapor edilmiştir. Bu sonuç doğrultusunda CT' nin ve NB' nin priz süresi üzerinde çok fazla etkili olmadığı, ancak; hidrasyon sıcaklığını yaklaşık olarak 1 °C azaltabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. CT ve NB' nin hidrasyon sıcaklığına etkisi

Şekil 6 CT, NB ve AC' nin hidrasyon sıcaklığına etkilerini karşılaştırmaktadır. Referans, %5 CT-%2 NB ve %10 CT-%2 NB içerikli harçlara 30V AC uygulaması ile akım uygulanmayan harçlara göre iç sıcaklıklarının yaklaşık olarak 19.24 °C, 21.08 °C ve 22.28 °C daha yüksek çıkmıştır. Bu sonuç ile AC uygulanan harçlarda NB ve CT' nin birlikte kullanılması iç sıcaklığın artışına neden olmuştur. Bu iki şekilde açıklanabilir. Birinci nedeni nano boyutlu NB' nin yüksek elektriksel iletkenlik özelliğine sahip olmasıdır (Gao ve diğ., 2017). İkinci sebebi ise CT' nin yüksek miktarda su emme potansiyeline sahip olması, hidrasyon suyunun bir kısmını emerek AC uygulaması ile birlikte harç hidrasyon sıcaklığını arttırmasıdır. Al-Zubaidi ve Al-Tabbakh (2016) farklı CT parçacıklarının su emme potansiyelini araştırmışlardır. CT' nin su emmesinin %10 ile %26 arasında olduğunu gözlemlemişlerdir. Şekil 6 incelendiğinde tüm karışımlarda sıcaklıklar hemen hemen aynı dakikalarda pik yaptığı gözlenmiştir. Bu sonuç doğrultusunda CT ve NB' nin priz bitiş süresi üzerinde etkili olmadığı

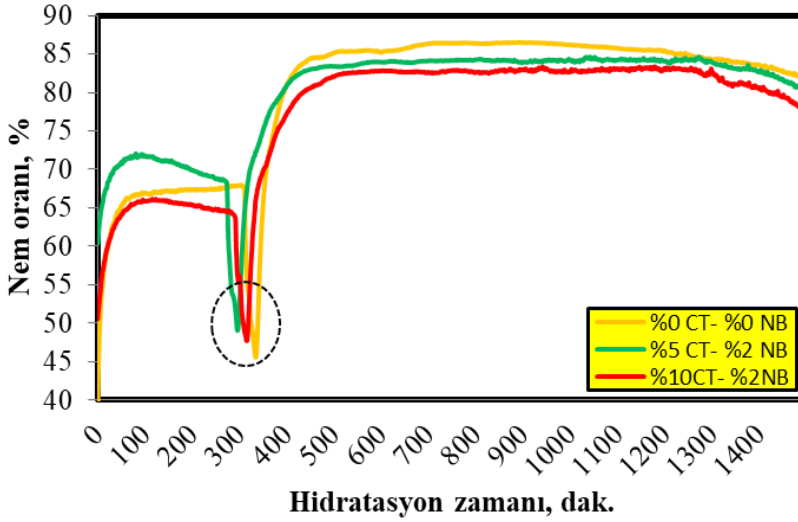
belirlenmiştir. Ancak CT-NB katkılı harçlara 30V AC uygulanması sonucu priz referans harca göre yaklaşık 250 dakika daha erken gerçekleştiği de gözlenmiştir.



Şekil 6. CT-NB ve AC'nin hidratasyon sıcaklığına ve priz bitiş süresine etkisi

#### 4.2. CT'nin ve NB'nin Hidratasyonun İlk Aşamalarında Nem Oranına Etkisi

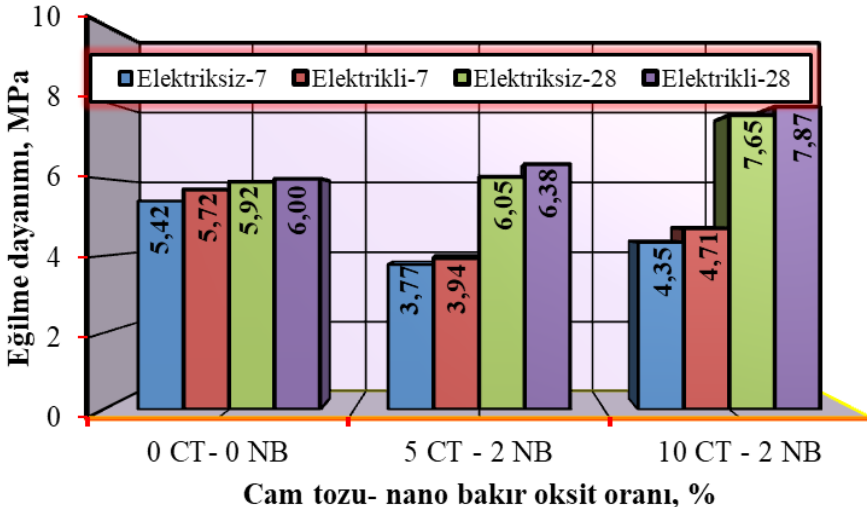
Şekil 7 farklı oranlarda CT-NB katkılı harçların nem oranlarını bir gün süreyle karşılaştırmaktadır. Referans harçta negatif yönde pik CT-NT katkılı harçlara göre daha sonra gerçekleşmiştir. Ayrıca harç içerisinde CT miktarının artması ile negatif pikin daha erken sürede oluştuğu da anlaşılmıştır (Hocaoğlu, 2022). Bu durum CT katkılı harçların daha erken priz aldığı göstermektedir. CT-NB katkılı harçların erken sürede priz alması yüksek yüzey alanlarına sahip CT-NB'nin yüksek su emme kapasitesine sahip olması ile açıklanabilir. Hidratasyonun ilerleyen sürecinde harç içerisinde hem NB hem de CT konulması ve CT oranının artması ile nem oranında azalmasına neden olmuştur. Bu durumun sonucu ile CT-NB katkılı harçlarda sertleşmenin de daha erken sürede gerçekleşebileceği yorumu yapılabilir.



Şekil 7. CT-NB' nin harç nem oranına etkisi

#### 4.3. Alternatif Akımın CT' nin ve NB' nin Eğilme Dayanımına Etkisi

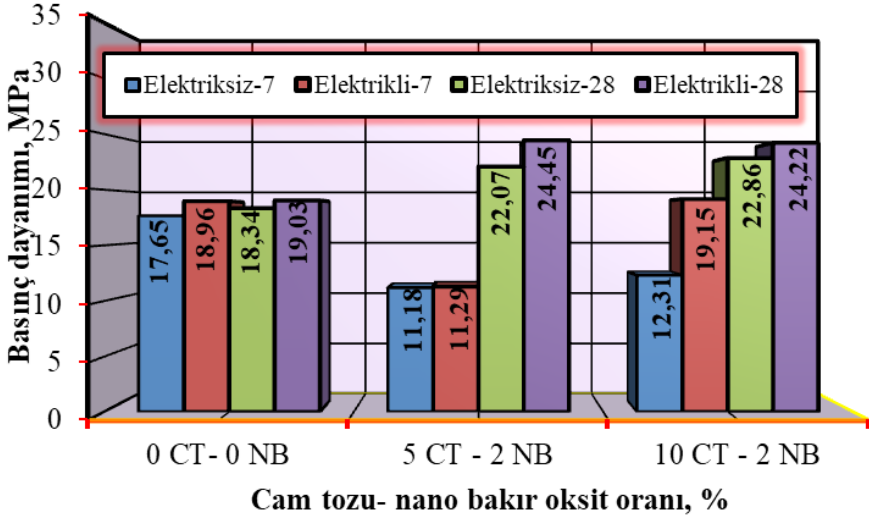
Şekil 8 CT-NB-AC ve kür süresinin eğilme dayanımı üzerindeki etkisini araştırmak için çizilmiştir. Şekil 8 incelendiğinde harç içerisine %5 CT- %2 NB katıldığında 7-gün kürlenmiş harçların eğilme dayanımlarında düşüşler gözlemlenmiştir. Bu durumun hem CT' nin hem de NB' nin hidrasyonun ilk günlerinde hidrasyonu yavaşlatabileceğinden kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir. Harç içerisindeki NB oranının sabit tutulması, CT oranının %10' a çıkarılması ile %5 CT katkılı harca göre daha yüksek eğilme dayanımı elde edilmiştir. Bu durum %10 CT katkılı harçta puzolonik reaksiyonların daha iyi gerçekleşmesi ile açıklanabilir (Dabbaghi ve diğ., 2021). Tüm serilerde hem 7 gün kürlenmiş hem de 28 gün kürlenmiş harçlara AC uygulanması ile eğilme dayanımının fark edilebilir düzeyde iyileşebileceği gözlemlenmiştir. Örnek olarak 28 gün kürlenmiş harçlara hem %10 CT konulması hem de %2 NB katılması sonucu eğilme dayanımının referans harca göre yaklaşık %24,77 oranında arttığı görülmüştür.



Şekil 8. CT-NB-AC ve kür süresinin eğilme dayanımına etkisi

#### 4.4. Alternatif Akımın CT' nin ve NB' nin Basınç Dayanımına Etkisi

Şekil 9 CT-NB-AC ve kür süresinin basınç dayanımı üzerindeki etkisini araştırmak için hazırlanmıştır. Şekil 9 incelendiğinde harç içerisine %5 CT- %2 NB katıldığında ve %10 CT-%2 NB katıldığında 7-gün kürlenmiş harçların basınç dayanımında referans harca göre yaklaşık %36,66 ve %30,25 oranlarında azalmıştır. Tüm serilerde AC' nin basınç dayanımını olumlu etkilediği gözlenmiştir. Kür süresi uzadıkça ve harç içerisindeki CT oranının artması ile basınç dayanımının arttığı gözlenmiştir. Nazeri ve diğ. (2011) çimentolu sistemlerde %4' e kadar NC katılması basınç dayanımını arttırabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Bu durumun CT' nin hidrasyonun ilerleyen zamanlarında puzolonik reaksiyonların daha iyi gerçekleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Dabbaghi ve diğ., 2021). Çimento yerine hem %2 NB-%10 CT katılması, 28 gün kür edilmesi ve AC uygulanması ile basınç dayanımının referans harca göre yaklaşık olarak %37,37 oranında artabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 9). Bu durumun NB katılı taze harçlarda NB' nin yüksek elektriksel özellik göstermesi, AC' nin nano parçacıkların ve ince öğütülmüş cam tozunun harç içerisinde mikro boşlukların doldurularak porozitenin azalmasını sağlayabileceğinden kaynaklanabileceği yorumu yapılabilir.



Şekil 9. CT-NB-AC ve kür süresinin basınç dayanımına etkisi

## 5. Sonuç

Önceki çalışmalarda CT ve NB' nin çimentolu sistemlerde kullanılması denenmiştir. Ancak; literatürde bu iki malzemenin birlikte kullanılmasına yönelik kısıtlı sayıda araştırma bulunmaktadır. Ayrıca yakın zamanlı tarama indekslerinde CT-NB katkılı harçlarda AC' nin etkilerini inceleyen yeterli sayıda araştırmanın yapılmadığı da gözlenmiştir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar maddeler halinde sunulmuştur.

- Çimentolu sistemlerde cam tozu ve nano bakır oksit'in birlikte konulması ile hidrasyon reaksiyonlarının daha geç sürede olduğu gözlenmiştir.

- Referans, %5 CT- %2 NB ve %10 CT- %2 NB içerikli harçlara 30V AC uygulaması ile akım uygulanmayan harçlara göre iç sıcaklıkları yaklaşık olarak 19.24 °C, 21.08 °C ve 22.28 °C daha yüksek çıkmıştır.

- CT ve NB' nin priz bitiş süresi üzerinde çok etkili olmadığı gözlenmiştir. Ancak CT-NB katkılı harçlara 30V AC uygulanması sonucu priz bitiş süresinin referans harca göre yaklaşık 250 dakika daha erken gerçekleştiği gözlenmiştir.

- 28 gün kürlenmiş harçlara hem %10 CT konulması hem de %2 NB katılması sonucu eğilme dayanımının referans harca göre yaklaşık %24,77 oranında arttığı görülmüştür.

- Mekanik dayanım açısından kısa süreli kür işleminin CT-NB katkılı harçlarda uygun olmadığı belirlenmiştir.

- Harç içerisinde %5 CT- %2 NB katıldığında ve %10 CT-%2 NB katıldığında 7-gün kürlenmiş harçların basınç dayanımında referans harca göre yaklaşık %36,66 ve %30,25 oranlarında azaldığı görülmüştür.

- Taze haldeki çimentolu sistemlere 1-gün süreyle AC uygulanması ile mekanik dayanım artırılabilmesi sonucuna ulaşılmıştır. Çimento yerine hem %2 NB-%10 CT katılması, 28 gün kür edilmesi ve AC uygulanması ile basınç dayanımının referans harca göre yaklaşık olarak %37,37 oranında artabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışmanın daha düşük su/çimento oranlarına sahip çimentolu sistemlerde farklı oranlarda NB-CT modifiye edilmesi ve farklı akım şiddetlerinin (AC) uygulanması ile daha yüksek basınç dayanımları elde edilebileceği ve çalışmanın geliştirilebileceği değerlendirilmektedir.

### Kaynaklar

Afshar, A., S. Jahandari, H. Rasekh, M. Shariati, A. Afshar, A. Shokrgozar, (2020). Corrosion resistance evaluation of rebars with various primers and coatings in concrete modified with different additives, *Construction and Building Materials*, 262, 120034. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120034>

Al-Zubaidi, A.B., Al-Tabbakh, A.A. (2016). Recycling glass powder and its use as cement mortar applications, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7(3), 555-564.

Asgarian, A., Roshan, N., Ghalehnavi, M. (2023). The strength, microstructure, and ecological assessment of concrete mix incorporating waste glass powder and polypropylene fiber, *Construction and Building Materials*, 371, 130726. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130726>

ASTM C305-20, Standard practice for mechanical mixing of hydraulic cement pastes and mortars of plastic consistency, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020. [www.astm.org](http://www.astm.org).

Bostancı, L. (2022). Mechanical, Pore Structure, Thermal insulation and micro structure properties of alkali-activated slag mortars containing waste glass powder, *Jornal of Polytechnic*, 25, 75-87. <https://doi.org/10.2339/politeknik.714390>

Dabbaghi, F., Sadeghi-Nik, A., Libre, N.A., Nasrollahpour, S. (2021). Characterizing fiber reinforced concrete incorporating zeolite and metakaolin as natural pozzolans, *Structure*, 34, 2617–2627. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.09.025>

Gao, R., Shen, J., Xie, F., Zuo, Y., Wu, D. (2017). Effects of Phenolic Resin Addition on the Electrical Conductivity and Mechanical Strength of Nano-Copper Paste Formed Cu-Cu Joints. *J. Electron. Mater.*, 46, 6388–6394. <https://doi.org/10.1007/s11664-017-5669-4>

Gerges, N.N., Issa, C.A., Sleiman, E., Aintrazi, S., Saadeddine, J., Abboud, R., Antoun, M. (2022). Eco-friendly optimum structural concrete mix design, *Sustainability*, 14, 8660. <https://doi.org/10.3390/su14148660>.

He, Z., Han, X., Zhang, M., Yuan, Q., Shi, J., Zhan, P. (2022). A novel development of green UHPC containing waste concrete powder derived from construction and demolition waste, *Powder Technology*, 398, 117075. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.117075>

He, Z., Zhan, P., Du, S., Liu, B., Yuan, W. (2019). Creep behavior of concrete containing glass powder, *Composites Part B: Engineering*, 166, 13-20. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.11.133>

Hocaoğlu, I. (2021). Investigation of effect of water/cement ratio- DC current and graphene oxide on porosity- maturity and electrical conductivity of hardened mortars. *Revista Română de Materiale / Romanian Journal of Materials*, 51, 368–377.

Hocaoğlu, I. (2022). Self-cooling mortar production with zinc oxide nanoparticles additive and investigation of the DC application when early-age hydration. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 27, 3586-3602. <https://doi.org/10.1080/19648189.2022.2144464>.

Hocaoğlu, İ. (2022). Investigation of the effect of current in zeolite-graphene oxide additives of mortar and development of a novel method for determining the setting time, *Journal of Building Engineering*, 46, 103803. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103803>

Hocaoğlu, İ. (2023). Self-cooling mortar production with zinc oxide nanoparticles additive and investigation of the DC application when early-age hydration, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 27, 3586-3602. <https://doi.org/10.1080/19648189.2022.2144464>

Khmiri, A., Chaabouni, M., Samet, B. (2013). Chemical behaviour of ground waste glass when used as partial cement replacement in mortars, *Construction and Building Materials*, 44, 74–80. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.02.040>

Khotbehsara, M.M., Mohseni, E., Yazdi, E.A., Sarker, P., Ranjbar, M.M. (2015). Effect of nano-CuO and fly ash on the properties of self-compacting



mortar. *Construction and Building Materials*, 94, 758–766. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.063>

Kosmatka, S.H., Voigt, G., Taylor, P. (2016). Integrated materials and construction practices for concrete pavement: a state-of-the-practice manual. *Center for Translation Research and Education*, Iowa State University, 69-104. [https://intrans.iastate.edu/app/uploads/2019/05/IMCP\\_manual.pdf](https://intrans.iastate.edu/app/uploads/2019/05/IMCP_manual.pdf).

Li, Q., Qiao, H., Li, A., Li, G. (2022). Performance of waste glass powder as a pozzolanic material in blended cement mortar, *Construction and Building Materials*, 324, 126531. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126531>

Li, Z., Wang, H.H.S., Lu, Y.W.M. (2006). Investigations on the preparation and mechanical properties of the nano-alumina reinforced cement composite. *Materials Letters*, 60(3), 356–359.

Madandoust, R., Mohseni, E., Mousavi, S.Y., Namnevis, M., (2015). An experimental investigation on the durability of self-compacting mortar containing nano-SiO<sub>2</sub>, nano-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and nano-CuO. *Construction and Building Materials*, 1, 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.100>

Metaxa, Z.S., Konsta-Gdoutos, M.S, Shah, S.P. (2011). Crack free concrete made with nanofiber reinforcement. *Robert R. McCormick School of Engineering and Applied Science*, Year 3 Final Report, 115-124.

Mohseni, E., Ranjbar, M.M., Yazdi, M.A., Hosseiny, S.S., Roshandel, E. (2015). The effects of silicon dioxide, iron(III) oxide and copper oxide nanomaterials on the properties of self-compacting mortar containing fly ash, *Magazine of Concrete Research*, 67, 1112–1124. <http://dx.doi.org/10.1680/mac.15.00051>

Mousavi, M. A., Sadeghi-Nik, A., Bahari, A., Ashour, A., Khayat, K. H. (2022). Cement Paste Modified by Nano-Montmorillonite and Carbon Nanotubes. *ACI Materials Journal*, 119, 173-185.

Mousavi, M.A., Sadeghi-Nik, A., Bahari, A., Jin, C., Ahmed, R., Ozbakkaloglu, T., Brito, J. (2021). Strength optimization of cementitious composites reinforced by carbon nanotubes and Titania nanoparticles. *Construction and Building Materials*, 303,124510. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124510>.

Nanografi nano-particles. <https://nanografi.com/popular-products/>. April 2023.

Naseri, F. J., Ehsan, M., Waiching, T., Abdosattar, F., Mohsen, K. (2017). Experimental observations and SVM-based prediction of properties of polypropylene fibres reinforced self-compacting composites incorporating

nano-CuO. *Construction and Building Materials*, 143, 589-598. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.124>

Nazari, A., Riahi, R. (2011) Effects of CuO nanoparticles on compressive strength of self-compacting concrete. *Indian Academy of Sciences* 36(3), 371–391.

Nik, A.S., Bahari, A. (2011). Nano-particles in concrete and cement mixtures. *Applied Mechanics and Materials*, 110–116, 3853–3855. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.110-116.3853>

Oltulu, M., Sahin, R. (2013). Effect of nano-SiO<sub>2</sub>, nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and nano-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powders on compressive strengths and capillary water absorption of cement mortar containing fly ash: a comparative study, *Energy and Buildings*, 58, 292–301.

Seifan, M., Mendoza, S., Berenjian, A. (2022) Effect of nano and micro iron oxide particles on the workability, strength and absorption rate of cement mortar containing fly ash, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 26, 3898-3912. <https://doi.org/10.1080/19648189.2020.1824822>

TS EN 12390-7, Concrete-hardened concrete tests - Part 7: Determination of hardened concrete density, 2010. Turkish Standards Institute, Ankara, Turkey.

TS EN 197-1, Cement. Composition, specifications and conformity criteria for common cements, European Standard, 2011. Turkish Standards Institute, Ankara, Turkey.

Vahabi, M.Y., Tahmouresi, B., Mosavi, H., Aval, S.F. (2022). Effect of pre-coating lightweight aggregates on the self-compacting concrete, *Structure Concrete*, 23, 2120-2131. <https://doi.org/10.1002/suco.202000744>

Wang, J., Dai, Q., Si, R. (2022). Experimental and numerical investigation of fracture behaviors of steel fiber-reinforced rubber self-compacting concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 34, 04021379. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0004010](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0004010)

Wang, J., Dai, Q., Si, R., Guo, S. (2019). Mechanical, durability, and microstructural properties of macro synthetic polypropylene (PP) fiber-reinforced rubber concrete. *Journal of Cleaner Production*, 234, 1351–1364, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.272>

Yildirim, M., Derun, E.M. (2018). The influence of CuO nanoparticles and boron wastes on the properties of cement mortar. *Materiales de Construcción*, 68 (331), e161. <https://doi.org/10.3989/mc.2018.03617>



## BÖLÜM III

# NANOFİLTRASYON YÖNTEMİYLE NF 270 MEMBRANI KULLANILARAK PLASTİK ENDÜSTRİSİ ATIKSUYUNUNDAN RENK GİDERİMİ\*

*Color Removal from Plastic Industry Wastewater  
Using NF 270 Membrane with Nanofiltration Method*

**Selin GÜLCAN<sup>1</sup> & Duygu KAVAK<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>(M.Sc.) Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,  
Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği  
Bölümü, Eskişehir, Türkiye*

*E-mail: gulcanselin@gmail.com  
ORCID-0000-0002-2138-1629*

*<sup>2</sup>(Prof. Dr.) Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,  
Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği  
Bölümü, Eskişehir, Türkiye*

*E-mail: dbayar@ogu.edu.tr  
ORCID-0000-0002-1189-3110*

### 1. Giriş

**T**ürkiye, plastik üretiminde ve ithalatında öne çıkan bir konumda bulunmaktadır. 2016'da yılda 7,9 milyon ton (mt) plastik üreten Türkiye'nin bu miktarın 2,1 mt'ü yerel kaynaklı işlenmemiş plastikten, 5,8 mt'si ise ithal işlenmemiş plastikten elde ettiği görülmüştür. 2020'de ise Türkiye'nin plastik üretimi 9,54 milyon tona ulaşmıştır. Plastik projelerin %40'ından fazlasını plastik ambalajlar oluştururken, %20'si inşaat sektöründeki projeler tarafından gerçekleştirilmiştir.

\* Bu çalışma Prof. Dr. Duygu KAVAK danışmanlığında tamamlanan Selin GÜLCAN'ın "Plastik Endüstrisi Atıksuyunun NF270 Membrani Kullanılarak Nanofiltrasyon Yöntemiyle Arıtımı" adlı Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir.

COVID-19 salgını, dünya genelinde Kişisel Koruyucu Ekipman (KKD) ve diğer plastik tıbbi malzemelerin talebinde artışa neden olmuştur. Türkiye’de yapılan anketlere göre, üç ilde günlük yaklaşık 10 ton tek kullanımlık yüz maskesi üretildiği belirlenmiştir (Akarsu vd., 2021). Uzmanlar, ülke genelinde her gün 50 milyon kirlenmiş yüz maskesinin atıldığını tahmin etmektedir, bu da yılda 73.000 ton atık demektir. Aynı dönemde Türkiye’nin plastik üretimi de COVID-19 döneminde yaklaşık %25 artış göstermiştir (Gülcan, 2023).

Plastiğin içerdiği zararlı kimyasalların artan kullanımı, çevreye verdiği zararı artırmaktadır. Bu durum, bu alanda yapılacak yeni çalışmalar için bir başlangıç noktası olmuştur. Küresel ısınmanın ve artan nüfusun etkisiyle, dünyamızın her geçen gün daha fazla kirlenmesini önlemek amacıyla atık suların arıtılması ve yeniden kullanılması çalışmaları hız kazanmıştır. Türkiye, 2016’da toplam 3,7 milyon ton plastik atık ürettiği veya ithal ettiği tahmin edilen ve 2060’a kadar yılda 5,4 milyon ton evsel plastik atık üreteceği tahmin edilen, bölgedeki üçüncü en büyük atık üreticisi olarak kabul edilmektedir (Lebreton ve Andrady, 2019). Plastik hammadde boyası, plastik malzemelerin üretim sürecinde direkt olarak renklendirilmesi için özel bir boya türüdür. Bu boya, plastik granüllere veya reçinelere eklenir, homojen bir şekilde dağıtılır ve plastik üretim sürecinde eritilerek kullanılır. Plastik hammadde boyası genellikle plastik enjeksiyon kalıplama veya ekstrüzyon işlemlerinde tercih edilir. Bu işlemlerde, plastik granüller veya reçineler ile boya karıştırılır ve eritilir. Sonuç olarak, plastik malzeme doğrudan renklendirilir ve plastik ürünlerin üretiminde kullanılır (Anonim, 2023a).

Atıksulardaki boyar maddeler, hem kimyasal hem de estetik açıdan istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle boyar madde içeren atık suların renk giderimi, ekolojik açıdan büyük öneme sahiptir (Kocaer ve Alkan, 2002). Boyar maddelerin giderimi için fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Adsorpsiyon, kimyasal çöktürme, iyon değişimi ve membran prosesleri bu yöntemlere örnek olarak gösterilebilir. Bu yöntemler arasında membranla ayırma, düşük maliyeti, çevre dostu olması, yüksek verim ve az enerji tüketimi ile diğer yöntemlere göre avantajlıdır.

Endüstrilerin faaliyetleri sonucu oluşan atıksular, çevreye deşarj edilen boyar maddelerle birlikte, içme sularına, yeraltı sularına ve sulama sularına karışarak çeşitli ortamlara ulaşabilmektedir. Kompleks yapıdaki atıksulardaki boyar maddelerin giderimi zorlu bir süreçtir. Hangi arıtma yönteminin kullanılacağı, atıksu karakterine, konsantrasyonuna, miktarına, deşarj limitlerine ve yeniden kullanılabilirlik özelliklerine bağlı olarak değişmektedir (Anonim,

2023b). Yeterli arıtma yapılmadığında, söz konusu atık sularındaki boyalar, alıcı ortamlarda renk ve toksik maddelere neden olabilir. Renk, ilk etapta estetik sorunlara yol açabilir; ancak yüksek seviyelere ulaştığında doğal sularda ışık geçirgenliğini azaltarak fotosentezi engelleyebilir (Çapar, 2004).

Endüstriyel gelişme ve üretim ile birlikte, meydana gelen atıkların artması, yeni teknolojilere ve ileri arıtım tekniklerine olan yönelimi artırmıştır. Membran prosesleri, endüstriyel atıksu arıtımında sıkça tercih edilen yöntemler arasındadır. Membran malzemelerin ayırma büyüklüklerine göre ultrafiltrasyon (UF), mikrofiltrasyon (MF), nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (TO) olmak üzere dört grupta incelenebilir. MF ve UF prosesleri katı/kolloidal parçacıklar ve büyük molekül ağırlıklı organik maddeler için kullanılırken, NF ve TO prosesleri çözülmüş inorganik maddeler için uygundur (Gökçek, 2020).

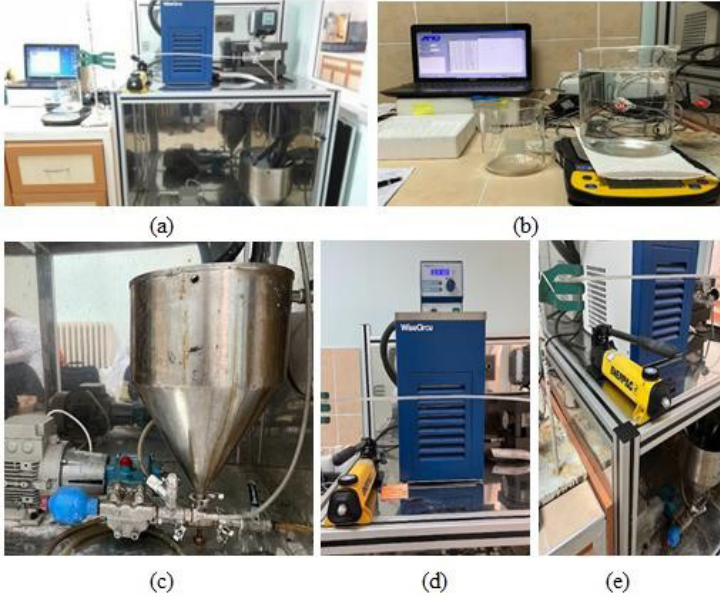
Membran proseslerinin diğer ayırma tekniklerine göre düşük enerji ihtiyacı, kesintisiz ve sürekli işletilebilme, elde edilen ürünün yüksek saflıkta olması, sıcaklık değişimlerinden etkilenmeme ve az yer kaplama gibi avantajları, endüstriyel atıksu arıtımında tercih edilmelerini artırmaktadır (Kaleli, 2006). Polimer endüstrisinin hızla gelişmesi, membran teknolojilerini daha rekabetçi hale getirmektedir. Bugün, membran prosesleri Amerikan Çevre Koruma Teşkilatı (EPA) tarafından en iyi arıtma teknolojilerinden biri olarak kabul edilmektedir (Kuzu, 2018).

Çapraz akışlı nanofiltrasyon yöntemiyle plastik atıksuyundan renk giderimi üzerine yapılmış çok sayıda çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada çapraz akışlı nanofiltrasyon yöntemi kullanılmıştır. Deneysel çalışmada plastik atıksuyundan renk giderimi için NF 270 membranının kullanıldığı çapraz akışlı nanofiltrasyon yöntemi tercih edilmiştir. Farklı sıcaklıklarda (25°C, 30°C) ve basınçlarda (4 bar, 6 bar ve 8 bar) gerçekleştirilen deneylerde, bu parametrelerin renk giderim verimine olan etkileri incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma kapsamında kullanılan atıksu, Eskişehir merkezli bir plastik üretim endüstrisinden elde edilmiştir. Plastik üretim endüstrisi atıksularının renk giderimi verimini değerlendirmek amacıyla nanofiltrasyon yöntemi kullanılmış, bu süreçte sıcaklık (25°C ve 30°C) ve basınç (4, 6, 8 bar) faktörlerinin etkisi incelenmiştir. Her bir sıcaklık ve basınç seviyesi için belirlenen zaman aralıklarında ölçüm değerleri kaydedilmiştir. Renk giderim verimleri, farklı zaman aralıklarında alınan numunelerin renk ölçümleri üzerinden hesaplanmıştır.

Deneyler, SEPA CF ve Sterlich marka çapraz akışlı paslanmaz çelik membran filtrasyon düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.1). Bu düzeneğe, zararlı kimyasallara dayanıklı malzemeden üretilmiştir ve içerisinde süzuntu toplama bölümü, hassas terazi, membran modülü, ısıtıcı, bilgisayar, hidrolik el pompası ve santrifüj pompa gibi bileşenleri barındırmaktadır. Membran büyüklüğü ise 150 cm<sup>2</sup>'dir.



**Şekil 2.1.** Membran sistemi (a), Bilgisayar ve hassas terazi (b), Besleme tankı ve pompa (c), Isıtıcı (d), Hidrolik pompa (e)

Bu çalışmada TFC (ince film kompozit), flat sheet (plaka tipi) NF 270 nanofiltrasyon membranı kullanılmıştır. NF270 membranının özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

**Tablo 2.1.** Membran (NF270) Özellikleri (Anonim, 2023c)

Membran Adı	NF270
Akı ( GFD) / psi	20/110
Besleme	Endüstriyel Atık Su
Gözenek Boyutu / MWCO*	~150 Da
MgSO <sub>4</sub> Reddetme	99%
pH Aralığı	2-11
Polimer	Poliamid - TFC
Tip	Organik Giderme, Yumuşatma

(\*MWCO: Moleküler ayırma sınırı, Dalton)

$$\%R = \frac{(A_0) - A}{A_0} * 100$$

Numunelerdeki renk Hach Lange DR 3900 UV-vis spektrofotometre kullanılarak analiz edilmiştir. Atıksu için analizler 331 nm maksimum dalga boyunda gerçekleştirilmiştir. % Renk giderme (R) verimleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$A_0$ : Beslemenin atıksu maksimum absorbans değeri

$A$ : Süzüntü atıksuyu maksimum absorbans değeri

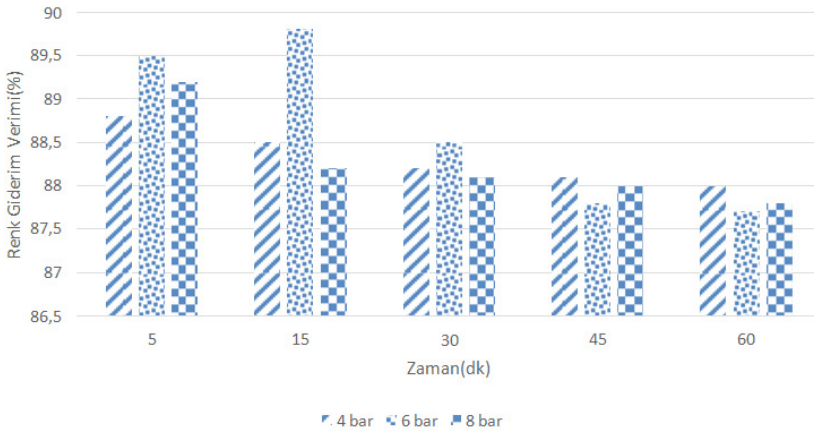
$R$ : Renk giderim verimi

### 3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Aşağıdaki tablolar ve şekillerde 25°C ve 30°C ve 4,6 ve 8 bar basınçta gerçekleştirilen renk giderimi analizlerinin sonuçları verilmiştir. Tablo 3.1’de plastik atık suyu için 25°C’deki (%) Renk Giderimi Değerleri ve Şekil 3.1’de bu değerlerin grafiği verilmiştir.

**Tablo 3.1.** Plastik Atık Suyu için 25°C’deki (%) Renk Giderimi Değerleri

Zaman (dk)	25°C		
	4 bar	6 bar	8 bar
5	88,8	89,5	89,2
15	88,5	89,8	88,2
30	88,2	88,5	88,1
45	88,1	87,8	88
60	88,0	87,7	87,8



**Şekil 3.1.** Plastik Atık Suyu için 25°C’deki (%) Renk Giderimi Değerleri

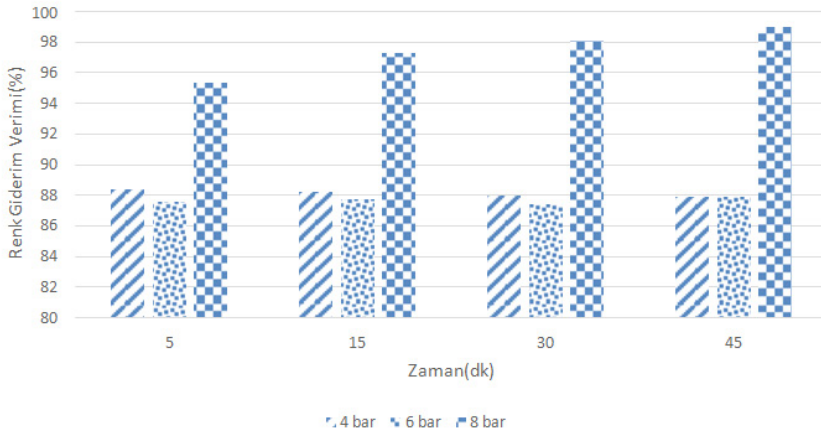


Tablo 3.1 ve Şekil 3.1’de verilen sonuçlara göre; 25°C’deki (%) renk giderimi değerleri incelendiğinde 4 bar, 6 bar ve 8 barda yapılan analizler sonucunda zamanla renk giderimi veriminin çok değişmediği görülmüştür. Aynı şekilde verim sıcaklık ve basınç değişiminden de çok fazla etkilenmemiştir. En yüksek renk giderim veriminin 25°C ve 6 barda %89,8 olduğu görülmektedir. Tüm renk giderim verimleri %88 ve üzerindedir.

Tablo 3.2’de Plastik Atık Suyu için 30°C’deki (%) Renk Giderimi Verimleri verilmiştir. Şekil 3.2 de bu verilerin grafiği verilmiştir.

**Tablo 3.2.** Plastik Atık Suyu için 30°C’deki (%) Renk Giderimi Verimleri

Zaman (dk)	30°C		
	4 bar	6 bar	8 bar
5	88,4	87,6	95,3
15	88,2	87,7	97,3
30	88	87,4	98,1
45	87,9	87,9	99



**Şekil 3.2.** Plastik Atık Suyu için 30°C’deki (%) Renk Giderimi Verimleri

Tablo 3.2 ve Şekil 3.2’de görülen sonuçlara göre; 30°C’deki renk giderimi değerleri incelendiğinde 4 ve 6 bar için çok büyük değişiklikler gözlemlenmemiştir. 8 bar ve 30°C koşullarında 45. dk içerisinde en yüksek giderim verimine ulaşılmıştır. Maksimum renk giderim verimi (8 bar, 30°C koşullarında) %99 olarak elde edilmiştir.

Zamanla çapraz akışlı membran sistemi kullanılarak elde edilen renk gideriminde çok büyük bir değişiklik olmamıştır. Bunun nedeni ise sistemdeki

çapraz akış ile membranın devamlı olarak temizlenmesi olabilir. Dik akışlı membran sistemlerinde, membran üzerinde oluşan tıkanmalar çapraz akışa kıyasla daha yoğundur. Bu akış türünde, maddeler membran yüzeyine yapışır ve zamanla membran üzerinde bir kek tabakası oluşur, bu da akı değerlerinde belirgin bir düşüşe neden olur. Diğer taraftan çapraz akışlı sistemlerde, maddelerin yüzeye tutunma eğilimleri daha düşüktür. Bu nedenle, çapraz akışlı filtrasyon sistemleri, membran için daha yüksek akı değerlerine ulaşma konusunda daha avantajlıdır (Yıldız, 2000).

Bu deneysel çalışma, plastik üretimi yapan bir tesisten alınan atık suyun nanofiltrasyon yöntemiyle çapraz akışlı membran sisteminde arıtımını konu almıştır. Atık su içerisinde boyar maddeler de bulunmaktadır. Çalışmada NF270 membranı kullanılmış, basınç ve sıcaklığın renk giderim verimine etkileri gözlemlenmiştir. Yapılan tüm bu analizler sonucunda plastik sektörü atık sularının arıtımı için uygun koşullar belirlenmiştir. Deneysel çalışmada %99 gibi yüksek renk giderimi elde edildiği için NF270 membranı bu analiz için uygun bir membrandır sonucuna varılabilir. Bu çalışma ile birlikte yapılacak diğer çalışmalar plastik endüstrisi atık su arıtımı için alternatif yollar gösterecektir. Ek olarak su tüketiminin oldukça arttığı ve su kıtlığının gündem olmaya başladığı bu günlerde bu tür çalışmaların önemi giderek artmaktadır. Yapılan her yeni çalışmayla sistemler daha da geliştirilerek veya hibrit sistemler kullanılarak uygun arıtma koşulları veya yöntemleri belirlenebilir. Yüksek renk giderimi ve kullanıma uygunluğu göz önünde bulundurulduğunda plastik üretimi atıksuyundan renk gideriminde NF 270 membranı ile çapraz akışlı nanofiltrasyon sistemi tercih edilebilir.

### **Teşekkür**

Bu çalışmada, 201215031 numaralı ESOGU Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenen projeden alınan cihazlar kullanılmıştır. Yazarlar, bu desteklerinden ötürü ESOGU BAP Komisyonuna teşekkürlerini sunar.

### **Kaynakça**

Akarsu, C., Ö. Madenli, and Deveci, E.Ü. (2021). “Characterization of Littered Face Masks in the Southeastern Part of Turkey.” *Environmental Science and Pollution Research*, 1–11.

Anonim, (2023a), <https://ergeplastik.com/boyalar/plastik-hammadde-boyasi.html>, erişim tarihi: 27.11.2023

Anonim, (2023b), <https://www.veritascevre.com/atiksularda-renk-giderimi/> erişim tarihi: 26.11.2023

Anonim, (2023c), <http://www.sterlitech.com/>, erişim tarihi: 27.11.2023

Çapar, G., Yetiş, Ü. ve Yılmaz, L. (2004). Halı boyama atıksularının membran prosesleri ile arıtımı. Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi, 14(2) 9-15.

Gökçek, Ö. (2020). Membran Prosesler ile Mezbaha Atıksularının Arıtımı . Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,9(1),107-113.

Gülcan S. (2023). Plastik Endüstrisi Atıksuyunun NF270 Membranı Kullanılarak Nanofiltrasyon Yöntemiyle Arıtımı, ESOGÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, s.67.

Kaleli B (2006). Atıksuların İleri Arıtımında Membran Proseslerinin Kullanımının Araştırılması, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.

Kocaer, F.O., Alkan, U., (2002). Boyar madde içeren tekstil atık sularının arıtım alternatifleri, Uludağ Üniv. Müh.Mim.Fak.Dergisi, 7(1), 47-55.

Külah Kuzu E. (2018). Reçel ve Tekstil Endüstrileri Atık Sularının Nanofiltrasyon Yöntemiyle Arıtımı, ESOGÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, s.103.

Lebreton, L., Andrady, A. (2019). “Future Scenarios of Global Plastic Waste Generation and Disposal.” Palgrave Communications 5(1): 1–11.

Yıldız, A. H. (2000). Membran Arıtma Sistemiyle Florürün Arıtılması. Isparta: SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

## BÖLÜM IV

# ELMASLI KESİCİ TAKIMLARIN ÜRETİM VE METALURJİK ESASLARI

### *Manufacturing and Metallurgical Principles of Diamond Cutting Tools*

**Erdinç ÖZDEMİR<sup>1</sup> & Serkan ISLAK<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>(Doktora Öğrencisi), Kastamonu Üniversitesi,  
Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme  
Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Kastamonu  
E-mail: erdincoz.666@gmail.com  
ORCID: 0009-0004-1199-5389*

*<sup>2</sup>(Prof. Dr.), Kastamonu Üniversitesi,  
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü, Kastamonu  
E-mail: serkan@kastamonu.edu.tr  
ORCID: 0000-0001-9140-6476*

### 1. Giriş

İnsanlık tarihi boyunca doğal taşlar gerek alet yapımında gerek yaşam alanlarında günümüze kadar pek çok alanda kullanılmaktadır. 20. Yüzyılın ortalarından itibaren sentetik elmasların yaygınlaşması ile elmaslı kesme takımlarının kullanımı da artmıştır. Doğal taşların kesilmesi, jeolojik keşif, petrol ve gaz çıkarma, madencilik operasyonları ve inşaat işleri gibi sondaj mühendisliğinde yaygın olarak uygulanır (Zhao vd., 2019). İnşaat ve maden endüstrisi gibi yaygın olarak kullanılan elmaslı kesme aletleri ile ilgili servis ömürlerinin uzatılması, elmasın bağlanma kuvvetinin artırılması, aşınma mekanizmaları gibi pek konu halen araştırmalara konu olmaktadır. Elmas, sert ve kırılğan malzemelerin taşlama ve kesme işlemlerinde yaygın olarak kullanılan

bir aşındırıcıdır, çünkü aşırı sertliği ve mükemmel aşındırıcı performansı vardır. Bununla birlikte, elmasın aletin matrisine veya çelik çekirdeğine bağlanması teknik bir zorluktur. Bu nedenle, elmas taneleri ve matris arasındaki bağın gücünü artırmak için çeşitli stratejiler kullanılır. Bir seçenek, matrise krom, vanadyum veya titanyum gibi aktif elementler ekleyerek kimyasal bir bağ oluşturmayı teşvik etmektir. Bu aktif elementler, matris ve elmas arasında daha sağlam bir bağ oluşturarak erken elmas tanecığı sıyrılmalarını azaltmaya yardımcı olur. Alternatif bir yaklaşım, elmasın kaplanmasıdır. Kaplanmış elmaslar, elmasın grafitleşmesini önleyerek elmasın özelliklerini korur ve daha güçlü bir ara yüz bağ oluşumuna yardımcı olur. Kaplanmış elmaslar, elmas tanelerinin yüzeyine ince bir tabaka uygulayarak matrisle daha iyi bir bağlantı sağlar. Ancak, endüstriyel uygulamalardaki sinterleme koşullarının sınırlamaları nedeniyle, elmaslar ve matris arasında güçlü bir ara yüz bağ gücü elde etmek hala büyük bir zorluktur. Bu nedenle, daha etkili ara yüz bağları sağlayacak yeni teknolojiler üzerinde çalışmalar devam etmektedir (Duan vd, 2015). Kırmızı, gri ve mermer taşların kesilmesi, elmas aletler, özellikle granit gibi sert taşlar için gerekli bileşenlerdir. Bu aletler parlatma, kesme, delme vb. işlerde kullanılır. Elmas aletler, taşlama, döşeme, dilimleme ve parlatma için teller, tel testere incileri, dairesel, doğrusal, blok aletler şeklinde mevcuttur. Çeşitli taşları kesmek için elmas aletlerin geliştirilmesinde veya üretilmesinde geniş bir yelpazeye sahip farklı malzemeler kullanılır ve bu aletler bağlayıcı, elmas tozu ve toz metalürjisi işlemi ile hazırlanan diğer matris kesme parçalarından oluşur (Gupta ve Pratap, 2021).

Granit sert ve kırılğan bir malzeme türüdür. Elmas daire testere bıçağı, sert granit işleme için önemli bir kesme aletidir ve taş kesme endüstrisinde geniş çapta uygulanmaktadır. Elmas segmentlerinin hizmet ömrü, işleme maliyetini etkiler. Elmas özellikleri, kesme parametreleri, kesme yöntemi, matris bağlama ve granit özellikleri dâhil olmak üzere birçok faktör elmas segmentlerinin aşınmasını etkiler (Wang vd., 2023).

Doğal taşların yapı ve dekorasyon sektöründe yaygın olarak kullanılmasıyla birlikte, taş işleme araçları ve ekipmanları büyük bir ilgi görmüştür. Taş işleme makineleri genellikle elmas telli testereleler, dairesel testereleler ve matkap uçları gibi araçlardan oluşurken, kesici aletler genellikle elmas boncuklu çelik teller ve elmas segmentlerle kaynaklanmış testere bıçaklarıdır.

Taş ve benzeri sert ve kırılğan malzemelerin işlenmesinde temel prensip, elmas parçacıklarıyla iş parçası malzemeleri arasındaki etkileşimden kaynaklanan

talaşların oluşumu ve çıkarılmasıdır. Bu nedenle, işleme mekanizmasını anlamak son derece önemlidir (Dong vd., 2021).

Elmas lehimlemede kullanılan en sık tercih edilen üç dolgu alaşımı, Ni, Cu ve Ag bazlı alaşımlardır. Cu ve Ag bazlı alaşımlar, düşük sıcaklık direnci, düşük aşınma direnci ve kolay oksitlenme gibi depolama zorluklarına sahiptir. Bu nedenle, yüksek sıcaklık ve aşınma direncine sahip Ni-Cr alaşımları, lehimli elmas takımlarında tercih edilen dolgu alaşımları haline gelmiştir. Ancak, bu yüksek erime noktalı dolgu alaşımının olumsuz etkilerinin göz ardı edilememesi gerektiği unutulmamalıdır. Cu ve Ag bazlı alaşımlarla karşılaştırıldığında, Ni-Cr alaşımını sert lehimli elmas parçacıkları, düşük erime noktalarına sahip değildir ve katalizör elementleri içermediğinden termal hasar riskini artırır. Bu durum, istenmeyen bileşik fazların ve çatlakların oluşumuna, grafitleşmeye ve artık gerilmelere neden olabilir, bu da elmas bağlantısının erken kırılmasına yol açabilir. Aşırı kırılan elmas parçacıkları, taşlama kuvveti ve sıcaklığını artırarak lehimli elmas takımlarının işleme performansında önemli bir düşüşe neden olur (Wang vd., 2022).

Bu çalışmada çeşitli sektörlerde kullanılan elmaslı kesme aletlerinin türleri, üretim yöntemleri ve üretilirken karşılaşılan sorunlar, çözüm önerileri incelenerek elmas özellikleri, elmas matris ara yüzeyi, isletilebilirlik, karbür formları ve grafitleşme gibi özellikler irdelenerek sistematik bir şekilde sunulmaktadır.

## 2. Doğal Taşlar

Doğal taşlar doğada oluşan minerallerin veya minerallerin birleşimiyle oluşan doğal kayalardır. Doğal taşlar, çeşitli renklerde, desenlerde ve bileşimlerde gelir ve çeşitli şekillerde kullanılırlar. İnsanlık tarihi boyunca doğal taşlar, yapı malzemeleri, süs eşyaları, takılar ve dekorasyon gibi çeşitli amaçlar için değerli ve ilgi çekici olmuştur.

Kayaçlar, fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı olarak çeşitli kategorilere ayrılır ve genel olarak magmatik (volkanik), tortul ve metamorfik kayaçlar olmak üzere üç gruba ayrılır. Magmatik kayaçlar, Dünya'nın mantosundaki magmadan oluşur. Derin kabuktaki magma, çatlaklardan taşıdığı veya yüzeye çıktığında, havada hızla yoğunlaşır ve magmatik kayaçlar oluşturmak için kristalleşir. Yaygın magmatik kaya türleri arasında riyolit, andezit ve bazalt bulunur. Şekil 1'de bir örneğinin görüldüğü üzere andezit kompakt bir yapıya ve açıktan

koyuya mavimsi gri, pembe, kırmızımsı kahverengi ve siyahımsı menekşe gibi farklı renklere sahiptir (Bulut vd., 2021).



Şekil 1. Ankara andezit kayaç örneği (Bulut vd., 2021)

## ***2.1. Kayaç Türleri***

### ***2.1.1. Volkanik Kayaçlar***

**Bazalt:** Siyah renkte, gözenekli bir volkanik kayaçtır. Lav akıntıları ve volkanik patlamalar sonucu oluşur.

**Andezit:** Gri renkte, orta taneli bir volkanik kayaçtır. Magmatik aktiviteler sırasında oluşur.

**Obsidyen:** Siyah renkte parlak ve cam gibi bir volkanik kayaçtır. Lavın hızlı soğuması sonucu oluşur.

### ***2.1.2. Tortul Kayaçlar***

**Kumtaşı:** Kum tanelerinin birleşmesiyle oluşan tortul bir kayaçtır.

**Kil taşı:** Kil minerallerinin birleşmesiyle oluşan tortul bir kayaçtır.

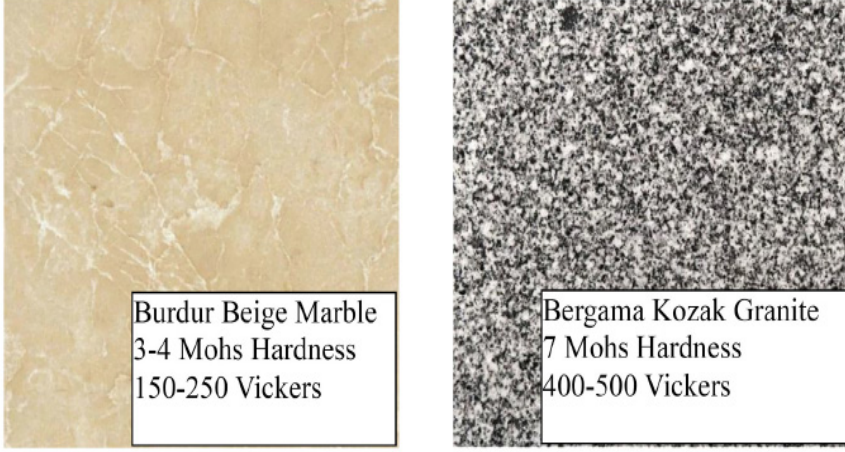
**Konglomera:** Yuvarlak çakıl taşlarının çimento maddesiyle birleşmesi sonucu oluşan tortul bir kayaçtır.

### ***2.1.3. Metamorfik Kayaçlar***

**Sist:** Kil taşı veya çamur taşının yüksek sıcaklık ve basınç altında metamorfizm süreciyle dönüşerek oluşan bir kayaçtır.

**Mermer:** Kireçtaşının yüksek sıcaklık ve basınç altında metamorfizm geçirerek oluşan bir kayadır.

**Gnays:** Granit gibi magmatik kayaların metamorfizm süreciyle dönüşerek oluşan bir kayadır.



(a)

(b)

**Şekil 2.** Yüzey görünümü ve sertliği (Bulut vd., 2021)

Andezit, granit ve bazalt kayalar içerdiği mineraller nedeniyle farklı renk ve görünüme sahiptir ve daha çok turistik alanlar, temeller, bina duvarları, park ve bahçeler gibi dış cephelerin ve kamusal alanların dekorasyonunda, tarihi yapıların, camilerin ve camilerin minarelerinin restorasyon işlerinde kullanılır (Bulut vd., 2021). Şekil 2’de mermer ve granit için yüzey görüntüsü ve sertlik değerleri gösterilmektedir.

## 2.2. Doğal Kayaların Mekanik Özellikleri

Yerkabuğu üç genel kaya türünden oluşur; okyanussal, magmatik ve metamorfik. Her kayanın kendine özgü özellikleri, mineral ve kimyasal bileşimleri, renkleri, özgül ağırlıkları ve davranışları vardır. Magmatik ve metamorfik kayaların başlıca örnekleri sırasıyla granit ve mermerdir. Granit, esas olarak kuvars, mika ve feldspattan oluşan çok sert (7–8 Mohs), sert, taneli ve kristalimsi magmatik bir kayadır, mermer ise 3–4 Mohs sertliğe sahip yumuşak bir kayadır. Kayaların sertliklerine göre sınıflandırılması Tablo 1’de verilmiştir (Bulut vd, 2021). Andezit mermerinin çeşitli mekanik özellikleri Tablo 2’de gösterilmiştir.



**Tablo 1.** Doğal taşların sertliklerine göre sınıflandırılması (Bulut vd, 2021)

Doğal taşlar		
Okyanus taşları	Metamorfik taşlar	Magmatik taşlar
Sertlik: 3 Mohs 105–130 Vickers	Sertlik: 3–5 Mohs 105–250 Vickers	Sertlik: 7 Mohs 400–500 Vickers
Numuneler: Traverten	Numuneler: Mermer, Burdur Bej, Bursa, Bej, Afyon Gül, Elmalı Beyaz	Numuneler: Granit
Konum: Denizli, Bucak Konya (Türkiye)	Konum: Burdur, Bursa, Afyon, Antalya (Türkiye)	Konum: Giresun, Aksaray, Bergama (Türkiye) İran, Suudi Arabistan, Brezilya

**Tablo 2.** Andezit mermerinin özellikleri (Bulut vd, 2021)

Temel İndeks Özellikleri	
Yoğunluk	2,00 g/cm <sup>3</sup> ± 0,20
Gözeneklilik	%14,01 ± 0,34
Ağırlıkça Su Emme	%7,21 ± 0,90
Hacimce Su Emme	%14,40 ± 0,33
Mohs Sertliği	6.5 ± 1.00
Schmidt Geri Tepme Sertliği	52 ± 1,37
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	45,235 MPa ± 0,60
Eğilme Dayanımı	100.003 kgf/cm <sup>2</sup> ± 0.25
Bohme Yüzey Aşınma Dayanımı	11,475 cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup> ± 0,76

Karakurt ve ark. (2013) yapmış oldukları testerelerin doğal taş kesme işlemi sırasında çıkardıkları gürültü üzerine yaptıkları bir çalışmada farklı özelliklere sahip Türkiye'den ve Dünya'dan seçilen kayalar arasında Verde Kelebek (R1), Giallo Fiorito (R2), Porto Rosa (R3), Crema Lal (R4), Giresun Vizon (R5), Balaban Green (R6), Bergama Gri (R7), Nero Zimbabwe (R8) ve Yıldız Galaksisi (R9) bulunmaktadır. Bu doğal taşların fiziksel ve mekanik özellikleri aşağıdaki Tablo 3'de verilmiştir.

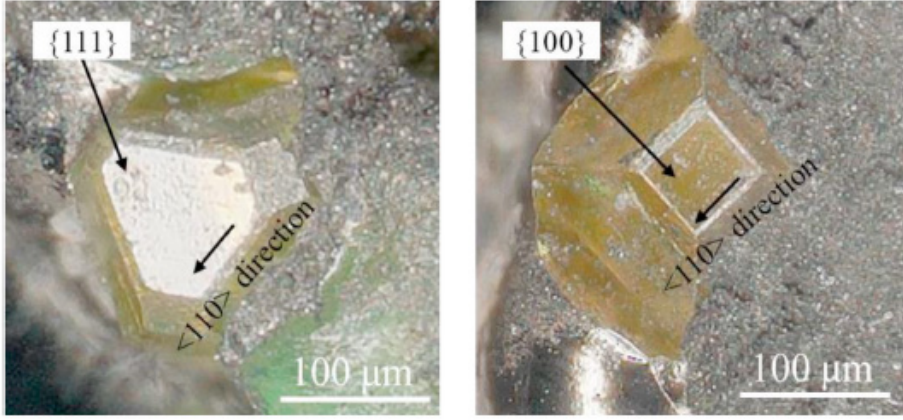
**Tablo 3.** Testere testlerinde kullanılan kayaların mekanik özellikleri (Karakurt vd., 2013)

Kaya Özellikleri	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Mukavemet (MPa)	191,18	167,65	107,94	231,34	132,35	145,00	92,65	242,6	201,47
Yoğunluk (kN/m <sup>3</sup> )	27,60	26,60	25,9	25,9	26,7	26,6	26,09	30,30	28,40
Eğilme mukavemeti (MPa)	13,14	22,06	15,00	19,42	18,14	15,20	14,90	24,02	19,61
Hacimce su emme (%)	0,2	0,28	0,30	0,86	0,2	0,19	0,30	0,14	0,10
Gözeneklilik (%)	1,50	0,80	1,50	1,50	3,30	2,20	1,80	0,30	1,00
Ultrasonik hız (m/s)	4130	3917	4196	4140	5866	4849	4836	6054	6863
Cerchar aşınma indeksi	4,348	4,166	4,508	5,2	3,868	4,356	4,622	3,412	4,29
Schmidt çekiç sertliği	47	48	51	56	54	55	54	64	65
Mikrosertlik (HV)	502,04	543,47	538,73	539,55	505,5	559,03	537,93	501,84	464,18
Shore sertliği	72,65	73,55	81,85	75,6	83,1	75,15	71,35	71,9	60,8
Mohs sertliği	6,1	5,7	6,0	4,5	6,0	6,0	6,3	6,2	5,8

### 3. Kesici Tane Çeşitleri

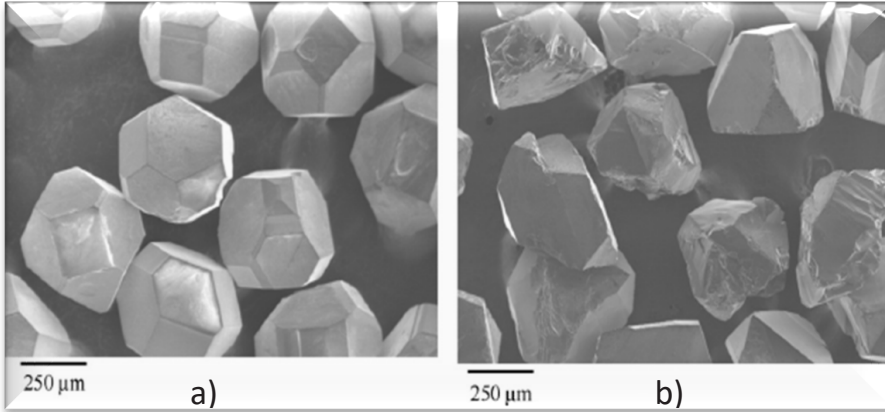
#### 3.1. Elmas

Elmas, karbon elementinin bir modifikasyonudur ve dünyadaki en sert maddelerden biridir. Elmas, karbon atomlarının yoğun bir kristal yapısı oluşturarak oluşur. Bu kristal yapısı nedeniyle, elmas diğer maddeleri çizmede ve kesmede son derece etkilidir. Elmasın sertliği, Mohs sertlik ölçeğine göre 10 üzerinden en yüksek değeri temsil eder. Bu nedenle, elmas diğer mineralleri çizme özelliğine sahiptir ve genellikle takı yapımında ve endüstriyel kesme ve taşlama araçlarında kullanılır. Elmas ve grafit arasındaki fark, karbon atomlarının farklı kristal yapılarından kaynaklanır. Elmas, karbon atomları dört yönlü bir düzenlemeye sahipken, grafitte ise altıgen halkalar halinde düzenlenmiştir. Bu farklılık, elmasın sertliğini ve grafitin yumuşaklığını açıklar.



Şekil 3. Tek kristal elmasın aşındırıcı üzerindeki tutumu (Zhou vd., 2021)

Elmas, olağanüstü sertliği, katı yapısı ve termal özellikleri sayesinde sert malzemelerin kesilmesi, taşlanması, delinmesi ve parlatılması gibi işlemlerde kullanılan gelişmiş aşınma direncine sahip bir malzemedir. Ayrıca, mükemmel termal iletkenliği, düşük termal genleşme katsayısı ve iyi aşınma direnci gibi özellikleri sayesinde taşlar, optik camlar, beton, sement karbürler (WC-Co), mühendislik seramikleri gibi malzemelerin aşındırıcı aletlerin imalatında mükemmel bir takviye malzemesi haline gelir (Frutos vd., 2023).



Şekil 4. Süper sert malzemeler: (a) Elmaslar (b) cBN (Loginov vd., 2015)

### 3.2. Kübik Bor Nitrür

Kübik bor nitrür (c-BN), bor ve azot elementlerinden oluşan bir bileşiğin kristal yapısıdır. Elmas gibi, kübik bor nitrür de sert bir malzemedir ve endüstriyel uygulamalarda kullanılan bir aşınma direnci malzemesi olarak değerlendirilir. Elmas, Mohs sertlik ölçeğinde 10 üzerinden en yüksek sertliği temsil eden bir malzemedir. Kübik boron nitrür ise 9-9.5 arasında bir sertliğe sahiptir. Elmas, dünyadaki en sert malzeme olarak bilinirken, kübik bor nitrür de oldukça sert kabul edilen malzemeler arasındadır. Elmas, kimyasallara karşı oldukça dayanıklıdır ve asidik ortamlarda çoğunlukla etkilenmez. Kübik bor nitrür de kimyasal olarak kararlıdır ve birçok asidik ve bazik çözeltilere dayanıklıdır.

Elmas, mükemmel bir termal iletkenlik gösterir ve ısıyı çok iyi iletir. Kübik bor nitrür de yüksek termal iletkenliğe sahiptir, ancak elmas kadar yüksek değildir. Kübik bor nitrür bu özellikleri ile elmasın bir alternatifi olarak kesme, aşındırma ve delme gibi birçok sert malzemelerin işlenmesi amacıyla üretilen aletlerde kullanılmaktadır.

Loginov ve diğerlerinin yapmış oldukları bir çalışmada elmas ve c-BN kullanılan hibrit işleme takımlarında önerilen yapısal modifikasyonların %25 oranında elmasın cBN taneleriyle değiştirildiği süper sert takımlar, saf elmas işleme takımlarıyla karşılaştırıldığında %20 daha yüksek performans ve saf cBN takımlarıyla karşılaştırıldığında iki kattan fazla daha yüksek performans gösterdiğini ortaya koymuştur (Loginov vd., 2015).

## 4. Elmaslı Kesici Takım Çeşitleri

Elmas aletler, elmasın olağanüstü sertliği ve dayanıklılığından faydalanarak malzemelerin kesilmesi, taşlanması, delinmesi ve şekillendirilmesi için kullanılan araçlardır. Elmas segmentli dairesel testere, elmas tel testere ve elmaslı matkap uçları en temel üç elmas kesici takım tipleridir.

### 4.1. Dairesel Testere

Dairesel testere, malzemelerin kesilmesi veya dilimlenmesi için kullanılan bir kesme aracıdır. Bu kesici araç, çeşitli endüstrilerde kullanılan birçok malzeme için etkili bir kesme yöntemidir. Çeşitli boyutlarda ve şekillerde üretilen disk şeklindeki bir alettir. Diskin üzeri, yüksek sertlik ve dayanıklılık sağlamak için elmas taneleriyle kaplanmıştır. Şekil 5’de dairesel testere cihazı gösterilmektedir.



Şekil 5. Dairesel testere cihazı (Dong vd., 2019)

Dairesel testere, genellikle sert malzemelerin kesilmesinde kullanılır. Bunlar arasında doğal taşlar (mermer, granit, traverten), seramik, cam, beton, metal ve kompozit malzemeler bulunabilir. Özellikle inşaat, taş işleme, seramik üretimi, cam endüstrisi ve metal işleme gibi sektörlerde sıkça tercih edilir.

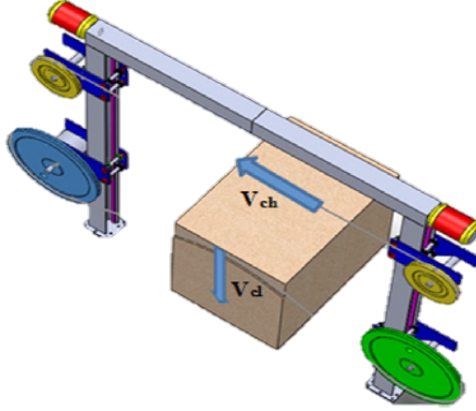


Şekil 6. Dairesel testereler (Islak ve Çelik, 2015)

#### 4.2. Elmas Tel Testere

Elmas tel testere, elmas taneleriyle kaplanmış ince bir çelik telin kullanıldığı bir kesme aracıdır. Bu yöntem, malzemelerin kesilmesi, dilimlenmesi veya şekillendirilmesi için kullanılır. Elmas telli testere, çeşitli endüstrilerde kullanılan sert malzemelerin kesilmesi için etkili bir çözümdür. Elmas telli testerenin

temel bileşenleri, elmas taneleri ile kaplanmış bir çelik tel ve kesme işlemi için kullanılan bir destek sistemidir. Tel, malzemenin kesilmesi gereken bölgeye yerleştirilir ve gerilir. Elmas taneleri, telin kesim yüzeyi boyunca düzenli bir şekilde yerleştirilir. Şekil 7’de şematik olarak elmas tel testere mekanizması gösterilmektedir.



Şekil 7. Elmas tel testere kesme makinesi şeması (Turchetta vd., 2017)

Kesme işlemi başladığında, tel dönmeye başlar ve elmas taneleri malzemeyi kesmeye başlar. Telin hareketi ve malzeme üzerindeki ilerleme hızı, kesme işleminin hızını ve kesim yüzeyinin kalitesini belirler. Elmas telli testere, malzemeyi yavaşça ve hassas bir şekilde keser, böylece düz ve düzgün kesim yüzeyleri elde edilebilir. Elmas telli testere, özellikle doğal taşlar (mermer, granit, traverten), seramik, cam, beton ve metal gibi sert malzemelerin kesilmesinde yaygın olarak kullanılır. Taş ocaklarından, inşaat projelerine ve heykeltıraşlık gibi sanatsal uygulamalara kadar birçok alanda kullanımı vardır.



(a)



(b)

Şekil 8. (a) Alandan görüntüler ve (b) elmas tel kesme yöntemi (Bulut vd., 2021)

### 4.3. Elmaslı Matkap Uç

Delme işlemlerinde kullanılan kesici aletlerdir. Bu uçlar, elmas kristalleri ile kaplıdır ve sert malzemelerin delinmesi için etkili bir çözüm sunar. Elmas, yüksek sertlik ve dayanıklılık özellikleriyle bilinen bir malzemedir ve bu özellikleri sayesinde elmas delme uçları, zorlu delme uygulamalarında kullanılır. Emprenyeli elmas matkap uçları, jeolojik keşif, petrol ve gaz çıkarma, madencilik ve inşaat gibi sondaj mühendisliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Hu vd., 2021).

Elmas delme kovanları, silindirik veya tüp şeklindeki kesici uçlardır. Bu uçlar, beton, taş, seramik, cam ve diğer sert malzemelerin delinmesinde kullanılır. Genellikle inşaat, madencilik ve jeoloji endüstrilerinde kullanılır. Delme kovanları, delme işlemi sırasında çekirdek veya delik oluşturulan malzemeyi korur ve çıkarır.

Elmas delik testereleri, çeşitli çaplarda ve şekillerde üretilen delme uçlarıdır. Bu uçlar, çeşitli malzemelerin delinmesi ve deliklerin oluşturulması için kullanılır. Özellikle seramik, cam, mermer ve granit gibi malzemelerin delinmesinde etkilidir. Elmas taneleri, malzemeyi keserek pürüzsüz ve düzgün bir delik oluşmasını sağlar. Şekil 9’da elmaslı matkap uç gösterilmektedir.



Şekil 9. Elmaslı matkap uç (Hu vd., 2021).

### 5. Elmaslı Kesici Takımların Üretimi

Elmas aletler, üretim sürecine göre sinterleme, sert lehimlenmiş ve elektrolizle kaplanmış aletler olmak üzere üç sınıfa ayrılabilir.

Sinterlenmiş aletler, genellikle grafit kalıplarda sıcak pres sinterleme yoluyla bir metal tozuna gömülmüş elmaslara sahiptir: Sert lehimli takımlarda, elmaslar, genellikle Cu, Ni- veya Ag esaslı bir alaşımdan oluşan bir dolgu fazı kullanılarak çelik çekirdeğe lehimlenmiş tek bir tabaka oluşturur. Dolgu fazı

doğru seçilirse, sert lehimli takımlardaki elmaslar, sinterlenmiş takımlara göre daha sıkı tutulur; sonuç olarak, çıkıntı yükseklikleri ve kesme hızları daha yüksek ve takım ömrü daha uzundur. Hasarı en aza indirmek için alaşımın elması yeterince ıslatması ve dolgu fazının erime noktasının mümkün olduğunca düşük olması gerekir (Artini vd., 2012).

Elektrolizle kaplanma yönteminde, bir Ni matrisi alet alt tabakasına galvanik kaplama ile bağlanır ve elmaslar mekanik olarak Ni tabakasına hapsedilir. Takım alt tabakası ve elmaslar arasındaki zayıf bağ, diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha kısa servis ömrü ile birlikte düşük kesme hızlarına yol açar (Artini vd., 2012).

Elmas alet kullanımının avantajı, segmentin kendini bileme özelliklerini içermesidir. Bu durumda, matris ve elmaslar ideal koşullarda orantılı olarak aşınır. Böylece, segment yüzeyinde taze elmas tanecikleri ortaya çıkar ve geri kazanılmış kesme verimliliği sağlanır. Matris hızla aşınıyorsa, servis sırasında elmaslar dışarı çekilir. Öte yandan, matris çok yavaş aşınıyorsa, elmas tanecikleri kesme etkinliğini kaybetmeden önce ayrılmaz. Matris ve elmasın aşınma oranını dengelemek için metal matris, iş parçasının aşındırıcılığı, sertliği ve metal-elmas ara yüzey bağ kuvveti göz önünde bulundurularak dikkatlice seçilmelidir.

### **5.1. Sinterleme**

Sinterleme, toz veya granül halindeki malzemelerin yüksek sıcaklık ve basınç altında birleştirilmesi işlemidir. Bu işlemde, malzeme parçacıkları arasındaki bağlar kuvvetlenir ve kompakt bir yapı oluşturulur. İstenilen malzeme tozların birleştirildiği bir hazırlık aşaması, sıcaklık ve basınç altında bir sıkıştırma aşaması, sıcaklık ve basınç nedeni ile temas halindeki parçaların difüzyonu ile bağlanmanın sağlandığı bağlanma aşaması ve soğuma aşaması olmak üzere dört aşamadan oluşur.

Elmasların mükemmel sertliği ve aşınma direnci, onları metal matrisli kompozitler için takviye parçacıkları olarak uygun hale getirir. Bir toz metalürjik proses yoluyla üretilen sözde elmas taşlama segmentleri, genellikle belirli uygulamaya göre özel geometriler gerektirir. Elmas aletlerin endüstriyel üretiminde en sık kullanılan sinterleme teknikleri soğuk presleme, ardından vakumlu sinterleme veya sıcak preslemedir. Sinterleme teknikleri, serbestçe şekillendirilmiş elmas segmentlerinin üretimini engelleyen geometrik kısıtlamaları içerir. Bunun bir nedeni, tozun ön sıkıştırılmasını sağlayan tek eksenli presleme adımının eksensel simetrik geometrilerle sınırlı olmasıdır (Wegner vd., 2020).



Presleme, toz veya ham kompaktın aynı anda ısıtılması ve sıkıştırılmasıyla gerçekleştirilen bir işlemdir. Bu işlemde, genellikle ısıya dayanıklı çelik, seramik veya grafitten yapılan presleme aletleri kullanılır ve metal tozunun ve elmasların oksidasyonunu önlemek için vakum odasında veya koruyucu bir gaz atmosferi altında gerçekleştirilir. Sinterlenmiş malzemenin ısıtılması ise, dolaylı olarak bir ısıtma elemanı kullanılarak veya doğrudan elektrikli rezistanslı ısıtma ile zımba veya kalıp yoluyla gerçekleştirilebilir (Malevich vd., 2021).

### **5.2. Sert Lehimleme**

Bu işlemde, lehim malzemesi (genellikle bir alaşım) ısınır ve eriyerek, birleştirilmek istenen metal parçaların yüzeylerine uygulanır. Lehim malzemesi, erime sıcaklığı altında kalacak şekilde seçilir, böylece metal parçaları erimeden birleştirme yapılır. Lehim malzemesi, yüzey gerilimi düşük olan bir akışkanlık sergiler ve bu nedenle metal parçaların arasına akarak birleşmeyi sağlar.

Kobalt esaslı alaşımlar, kırılğan malzemelerin kesimi için Elmas Emprenyeli Aletlerde (DIT) yaygın olarak kullanılan bir bağlayıcıdır. DIT, karotlu matkaplar, tel testereleri, dairesel ve çerçevesiz testere bıçakları gibi araçları içerir. Bu aletler, doğal taşların çıkarılması, boyutlandırılması, beton ve betonarme delme ve kesme, yol onarımı gibi çeşitli uygulamalarda kullanılır.

DIT'nin farklı türlerine bakılmaksızın, bu aletler sert lehimleme veya kaynaklama yoluyla çelik bir destek üzerine sabitlenmiş aşındırıcı parçalardan oluşur. Segmentler, metalik bir matris içinde rastgele yönlendirilmiş ve dağılmış elmas kristallerini içeren bir sert lehimleme işlemiyle birleştirilir (Quacquarelli vd., 2021).

### **5.3. Elektro Kaplama**

Bu yöntem ile elektrik akımı kullanarak kaplama yapılacak olan metalin çözeltisi ile elmas tanelerinin kesici alet üzerine kaplanması yöntemidir. Kaplama kimyasal ve tek bir sıra kaplanması sebebiyle bu şekilde üretilen elmaslı kesici aletler pek uzun ömürlü olmamaktadır.

## **6. Metalurjik Esaslar**

### **6.1. Islatabilirlik**

Elmasın ısıtma mekanizması, metal matrisin yüzeyine yayılan bir sıvı faz olan lehim veya dolgu malzemesinin elmas yüzeyine temas etmesiyle gerçekleşir.

İslatma mekanizması, sıvının yüzey gerilimi ve katı yüzeyin kimyasal ve fiziksel özellikleriyle ilişkilidir.

Bir sıvı, yüzey gerilimi olarak adlandırılan bir kuvvete karşı koyma eğilimindedir. Yüzey gerilimi, sıvının moleküllerinin arasındaki çekici kuvvetler nedeniyle sıvının yüzeyinde bir gerilim oluşturur. Sıvı, düzgün bir yüzeyde düşük bir yüzey gerilimi gösterirken, bir katı yüzeyde daha yüksek bir yüzey gerilimi gösterebilir.

İslatma mekanizması, sıvının yüzey gerilimini aşmasını ve katı yüzeyi kaplayarak yayılmasını sağlamasını gerektirir. Bu, sıvının katı yüzey ile moleküler düzeyde etkileşim kurabilmesini ve sıvının katı yüzeyi “ıslatmasını” sağlar.

Elmaslar çoğu metalle temas halinde son derece inerttir ve bu nedenle, zayıf ıslanabilirlikleri ve termal genişleme katsayılarındaki önemli farklılıklar nedeniyle elmaslar ve metal yüzeyler arasında güçlü bir bağ oluşturmak çok zordur (Frutos vd., 2023).

Reaksiyonu katalize etmek için metaller, kimyasal bileşikler (karbürler) oluşturmadan önemli miktarda karbonu çözmelidir. Bu nedenle benzer miktarda elektrona ve d orbitallerinde boşluğa sahip elementler etkili katalizörlerdir. Boşlukları hiç olmayan veya az olan geçiş elementleri aslında yalnızca eser miktarda karbonu çözebilirken, çok sayıda boşluğa sahip elementler karbür oluşturuculardır. Yüksek karbon çözünürlüğüne sahip geçiş metalleri grafiti katalize ederken yüksek basınçta elmas reaksiyonu ve düşük basınçta elmas - grafit reaksiyonu, yüksek sıcaklıkta kolayca elmas grafitleşmesine neden olabileceğinden, bunları elmas aletlerin metalik matrisinde kullanırken dikkat edilmelidir (Artini vd., 2012).

Elmasın matrisinin ıslanabilirliği, matris malzemelerinin ön alaşımlama derecesinin artmasıyla güçlenir. Ancak matris malzemelerinin düşük ön alaşımlama derecesi, elmas grafitleşme oranını hızlandırır. Ve yalnızca yeterli bir ön alaşımlama derecesi olan Fe bazlı tozlar, elmas grafitleşmesini büyük ölçüde azaltabilir, termal hasarını azaltabilir ve tutma gücünü iyileştirebilir (Zhao vd, 2019).

Lehimleme dolgu metali, elmas yüzeyi boyunca elmas parçacıklarının yüksekliğinin yaklaşık 1/3'üne kadar tırmanır. Dolgu tırmanan elmasın yüksekliği, dolgu alaşımı için ideal ıslatma etkisi olan elmasın çapının yaklaşık% 30 ila% 40'dır, elmasın matrisle bağlanma derecesi, lehimin ıslatma reaksiyonuyla yakından ilgilidir (Cui vd., 2022).

İslatma mekanizması iki ana adıma ayrılabilir: takviye kontrollü dolgu akışı ve takviye kaynaklı kılcal hareket. Erimiş dolgu maddesinin lehim bağlantısının

çevresi boyunca akış hızı, boşluk içindeki doldurma hızından farklıdır. Paralel boşluklar koşulu altında, erimiş dolgu maddesinin dolgu bağlantısının çevresindeki akış hızı genellikle boşluk içindeki doldurma hızından daha yüksektir (Cui vd., 2022).

Bir alt tabakanın bir sıvı metal tarafından ıslanma derecesi esas olarak ara yüzey etkileşimlerinin yoğunluğuna bağlıdır. Farklı metal sınıflarından farklı davranışlar beklenebilir. Van der Waals kuvvetleri aralığında değerler gösterir, yani fiziksel bir yapışma gerçekleşir; bu kanıt, bahsedilen metallerin karbona karşı inertliği dikkate alınarak kolayca açıklanabilir. Ele alınan metallerin her biri, metalle temas eden elmas kristalografik düzlemin bir fonksiyonu olarak farklı yapışma değerleri gösterir. Örneğin Cu, Ag ve Au elması ıslatmazken, Pd, Ni ve Co belirli bir miktarda C'yi ıslatır ve çözer. Son olarak, Mn, Cr, V ve Ti çok düşük ıslatma açıları ve karbür formlarıyla karakterize edilir (Artini vd., 2012).

## 6.2. Grafitleşme

Grafitleşme, genellikle elmasın ısı ve basınç altında grafit yapısına dönüşmesini ifade eden bir terimdir. Elmas ve grafit, karbon elementinin farklı kristal yapılarını temsil eder. Elmas, yoğun, sert ve saydam bir kristal yapısına sahipken, grafit daha gevrek, yumuşak ve katılaşmış bir karbon formudur.

Grafitleşme, elmasın doğal olarak ortaya çıkabileceği koşulların dışında, yüksek sıcaklık ve basınç altında gerçekleşir. Bu koşullar altında, elmasın atomik yapısı değişerek grafit yapısına dönüşür. Grafitleşme süreci, elmasın kristal yapısındaki atomların yeniden düzenlenmesini ve karbon atomlarının grafitte karakteristik düzlemlerini almasını içerir.

Grafitleşme, elmasın sertliğinin azalmasına ve mekanik dayanıklılığının düşmesine neden olur. Grafitleşen elmaslar, genellikle elmasın endüstriyel uygulamalarında kullanım dışı kalır çünkü grafit daha az dayanıklı bir malzemedir. Grafitleşme, elmasın kimyasal ve fiziksel özelliklerinde önemli bir değişikliğe yol açar ve genellikle istenmeyen bir fenomen olarak kabul edilir.

Elmas kompozitler ile ilgili mevcut bir zorluk, elmasın kendisinin yarı kararlılığında yatmaktadır. Sonuç olarak, elmas grafitleştirme, tipik sinterleme parametreleri altında termodinamik olarak elverişlidir. Sonuç olarak, grafitleşme sinterlenmiş numunelerin özelliklerini engelleyecektir (Garcia vd., 2022).

Elmasın yüzeyi, grafitleşme genişlemesi için mekânsal koşulları tam olarak karşılayan çevre ile doğrudan temas halindedir. Bununla birlikte, normal sıcaklıklar ve basınçlar altında, elmasın grafitleşme dönüşümü, yüzey gevşemesi

ve azaltılmış yüzey enerjisine yeniden yapılanma olgusuyla yakından ilgili olan, katman katman ilerlemez. Genel olarak, çok yüksek faz dönüşüm potansiyel enerji bariyeri nedeniyle, elmasın grafitleşmesi yüksek sıcaklık koşullarında aktive edilebilir ve elmas grafitte dönüşür. Karbon atomları arasındaki C-C bağlarının kırılması ve yeniden bağlanması, atomların orijinal titreşim denge konumlarını terk etmelerini gerektirir ve atomların şiddetli titreşiminin görünürdeki fenomeni, yüksek sıcaklıktır (Yan vd., 2021).

### **6.3. Elmas Metal Ara Yüzeyi**

Tillmann ve ark. (2013) yapmış oldukları bir çalışmada elmas-metal kompozitler üzerindeki X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri incelenmiş ve sinterleme işlemi sırasında elmas ve metal arasındaki ara yüz tabakasında üç özellik ortaya koymuşlardır.

1. Karbür oluşumu: Kimyasal reaksiyon ile karbon ve metal arasında güçlü bir bağ gerçekleşir. Yapışma mukavemetinin artmasıyla takım kalitesinin de artmasını beklenmektedir.

2. Elmas bozunması ve grafit oluşumu: Elmas yüzeyinde grafit oluşumu ile birlikte meydana gelen elmas bozunmasının takım kalitesini iki şekilde düşürmesi beklenir. Birincisi, elmasın kendisi hasar görür ve ikincisi, elmas ile metal matris arasındaki bağ, elmas yüzeyindeki grafit tabakası tarafından zayıflatılır.

3. İnert davranış: Hiçbir kimyasal reaksiyon veya difüzyon işlemi meydana gelmez. Elmas yüzeyi neredeyse etkilenmez ve sinterleme işlemi sırasında grafit gibi herhangi bir reaksiyon ürünü oluşmaz. Elmaslar sadece metal matris içinde mekanik olarak bağlanır (Tillmann vd., 2013)

## **7. Sonuç**

Elmaslı kesici takımlar için matris seçimi, doğal taş kesme işlemlerinde yüksek performans ve dayanıklılık sağlamak için çok önemlidir. Bu çalışma, termal hasar, grafitleşme, ıslatabilirlik, elmas matris ara yüzeyi, sertlik ve eğilme mukavemeti gibi faktörleri dikkate alarak matris seçiminin sonuçlarını detaylı bir şekilde değerlendirmiştir.

Termal hasarın önlenmesi ve matrisin termal iletkenliğinin artırılması, kesici takımın uzun süreli kullanımı için kritik bir faktördür. Elmas matrisin yüksek termal iletkenliği, ısıyı hızlı ve etkili bir şekilde dağıtır, bu da termal hasar riskini azaltır. Ayrıca, matrisin termal genleşmesi ile taşın termal genleşme

katsayısı arasındaki uyum, kesici takımın dayanıklılığını ve performansını olumlu yönde etkiler.

Grafitleşmeye karşı dirençli bir matris seçimi, kesici takımın mekanik özelliklerini ve ömrünü artırır. Grafitleşme, elmas matrisin karbon atomlarıyla etkileşime girerek matrisin zayıflamasına neden olur. Bu durumda, matris seçimi sürecinde grafitleşmeye karşı dirençli bir matris malzemesi tercih edilmelidir.

İyi bir ıslatabilirlik özelliği, kesici takımın taş yüzeyine optimal bir şekilde oturmasını sağlar. Bunun sonucunda, kesme işleminde daha yüksek hassasiyet, daha düzgün bir kesim yüzeyi ve daha az enerji kaybı elde edilir. Islatabilirlik, matris seçiminde dikkate alınması gereken önemli bir mekanik özelliktir.

Matrisin sertlik ve eğilme mukavemeti de kesici takımın performansını etkileyen önemli faktörlerdir. Yüksek sertlik, matrisin aşınma direncini artırır ve kesici takımın uzun ömürlü olmasını sağlar. Eğilme mukavemeti ise kesici takımın dayanıklılığını ve direncini belirler. Matris seçimi sırasında bu mekanik özelliklerin optimum seviyede olmasına dikkat edilmelidir.

Sonuç olarak, doğal taş kesme işlemlerinde elmaslı kesici takımlar için matris seçimi, termal hasar, grafitleşme, ıslatabilirlik, elmas matris ara yüzeyi, sertlik ve eğilme mukavemeti gibi mekanik özelliklerin doğru bir şekilde değerlendirilmesini gerektirir. Bu faktörlerin optimal seviyede olması, kesici takımların performansını artırır, dayanıklılığını sağlar ve kesme kalitesini iyileştirir. Gelecekteki araştırmalar, matris seçiminde bu mekanik özelliklerin daha da optimize edilmesi ve kesici takımların verimliliğinin en üst düzeye çıkarılması üzerinde odaklanmalıdır.

### **Kaynakça**

Artini, C., Muolo, L., & Passerone, A. (2012). Diamond–metal interfaces in cutting tools: a review. *Journal of Materials Science* (47), 3252-3264.

Bulut, B., Baydoğan, M., & Kayali, E. S. (2021). Effect of aluminium and silver addition on the wear characteristics of circular diamond saw blades for cutting Ankara andesite rocks. *Wear* (474-475), 203867.

Bulut, B., Gunduz, O., Baydoğan, M., & Kayali, E. S. (2021). Determination of matrix composition for diamond cutting tools according to the hardness and abrasivity properties of rocks to be cut. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* (95), 105466.

Cui, B., Chen, J., Li, H., Zuo, R., Cheng, Z., Sun, Z., et al. (2022). Effect of holding time on interfacial reaction layer characteristics and mechanical

performance of brazed diamonds with Cu-Sn-Ti-Ga filler metals. *Diamond & Related Materials* (123), 108826.

Cui, B., Zhao, W., Zuo, R., Cheng, Y., Zhong, S., Li, H., et al. (2022). The abrasion resistance of brazed diamond using Cu-Sn-Ti composite alloys reinforced with boron carbide. *Diamond & Related Materials* (124), 108926.

Dong, P., Huang, B., Zhang, J., & Zhang, H. (2019). Investigation and improvement of wear nonuniformity of diamond tools in sawing granite. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials* (83), 104961.

Dong, P., Zhang, J., Wu, J., & Wang, J. (2021). Performance investigation of traditional diamond frame saw in processing granite. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* (99), 105601.

Duan, D.-Z., Xiao, B., Wang, B., Han, P., Li, W.-j., & Xia, S.-W. (2015). Microstructure and mechanical properties of pre-brazed diamond abrasive grains using Cu-Sn-Ti alloy. *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials* (46), 427-432.

Frutos, E., Richhariya, V., Silva, F. S., & Trindade, B. (2023). Manufacture and mechanical-tribological assessment of diamond-reinforced Cu-based coatings for cutting/grinding tools. *Tribology International* (177), 107947.

Garcia, C., Smith, J. D., Rodriguez, J., DiGiovanni, A. A., & Scharf, T. W. (2022). Reactive spark plasma sintering of SiC-TiC-diamond composites. *Diamond & Related Materials* (129), 109384.

Gupta, R. K., & Pratap, B. (2021). Diamond tools processing for marble and granite: Cutting & wear. *Materials Today: Proceedings* (46), 2135-2140.

Hu, H.-x., Chen, W., Deng, C., & Yang, J.-d. (2021). Effect of matrix composition on the performance of Fe-based diamond bits for reinforced concrete structure drilling. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* (95), 105419.

Islak, S., & Çelik, H. (2015). Effect of Sintering Temperature and Boron Carbide Content on the Wear Behavior of Hot Pressed Diamond Cutting Segments. *Science of Sintering* (47), 131-143.

Karakurt, I., Aydın, G., & Aydiner, K. (2013). Experimental and statistical analysis of cutting force acting on diamond sawblade in sawing of granitic rocks. *Journal of Engineering Manufacture* , 2 (227), 286-300.

Loginov, P., Mishnaevsky, L. J., Levashov, E., & Petrzhik, M. (2015). Diamond and cBN hybrid and nanomodified cutting tools with enhanced. *Materials and Design* (88), 310-319.

Malevich, N., Müller, C. H., Dreier, J., Kansteiner, M., Biermann, D., Ferreira, M. P., et al. (2021). Experimental and statistical analysis of the wear of diamond impregnated tools. *Wear* (468-469), 203574.

Quacquarelli, A., Mollon, G., Commeau, T., & Fillot, N. (2021). A dual numerical-experimental approach for modeling wear of Diamond Impregnated Tools. *Wear* (478-479), 203763.

Tillmann, W., Ferreira, M., Steffen, A., Ruster, K., Möller, J., Bieder, S., et al. (2013). Carbon reactivity of binder metals in diamond-metal composites characterization by scanning electron microscopy and X-ray diffraction. *Diamond & Related Materials* (38), 118-123.

Turchetta, S., Sorrentino, L., & Bellini, C. (2017). A method to optimize the diamond wire cutting process. A method to optimize the diamond wire cutting process (71), 90-97.

Wang, K., Zhang, J., Kang, J., & Zhang, H. (2023). Analysis of diamond wear morphology and segment wear evolution during the process of hard granite sawing. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* (110), 106040.

Wang, S., Xiao, B., Xiao, H., & Meng, X. (2022). Interface microstructure and bonding performance of brazed W-coated diamonds using Ni-Cr alloy. *Ceramics International* (48), 9864-9872.

Wegner, J., Fehr, A., Platt, S., Kleszczynski, S., & Witt, G. (2020). Diamond-impregnated 316L metal matrix composites fabricated by powder bed fusion with laser beam - Influences of the energy input on the microstructural properties. *Diamond & Related Materials* (109), 108040.

Yan, X., Wei, J., An, K., Liu, J., Chen, L., Zheng, Y., et al. (2021). High temperature surface graphitization of CVD diamond films and analysis of the kinetics mechanism. *Diamond & Related Materials* (120), 108647.

Zhao, X., Li, J., Duan, L., Tan, S., & Fang, X. (2019). Effect of Fe-based pre-alloyed powder on the microstructure and holding strength of impregnated diamond bit matrix. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials* (79), 115-122.

Zhou, K., Xiao, G., Xu, J., & Huang, Y. (2021). Material removal behavior of Cf/SiC ceramic matrix composites as a function of abrasive wear during diamond abrasive belt grinding. *Wear* (486-487), 204101.

## BÖLÜM V

# TERMAL OKSİDASYON YÖNTEMİ İLE ZNO NANOTELLERİN SENTEZİ VE GAZ SENSÖRÜ UYGULAMASI

### *Synthesis of Zno Nanowires by Thermal Oxidation Method and Application in Gas Sensor*

Mustafa Kemal ÖZHAN<sup>1</sup>& Selda TOPÇU ŞENDOĞDULAR<sup>2</sup>  
& Levent ŞENDOĞDULAR<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Department of Materials Science and Engineering,  
Erciyes University, Kayseri, 38039, Turkey.  
E-mail: 4012630063@erciye.edu.tr  
ORCID: 0009-0005-1324-7912*

<sup>2</sup>*Department of Materials Science and Engineering,  
Erciyes University, Kayseri, 38039, Turkey.  
E-mail: selda.topcu@erciyes.edu.tr;  
ORCID: 0000-0002-7757-4577*

<sup>3</sup>*Department of Materials Science and Engineering,  
Erciyes University, Kayseri, 38039, Turkey.  
E-mail: lsendogdular@erciyes.edu.tr  
ORCID: 0000-0002-6364-0932*

## 1. Giriş

Nanoteknoloji, son yıllarda bilim ve teknoloji dünyasında büyük heyecan ve ilgi uyandıran önemli bir alan haline gelmiştir. Özellikle nanomalzemeler, nano boyutlarındaki eşsiz özellikleri nedeniyle büyük ilgi görmektedir. Bu nanomalzemeler, farklı endüstriyel alanlarda çeşitli uygulamaları destekleyen işlevsel yapı taşları olarak önemli bir rol oynamaktadır.



Bu derleme, özellikle ZnO (Çinko Oksit) nanotellerin sentezi ve sensör uygulamaları üzerine odaklanmaktadır. ZnO nanoteller, nano boyutlardaki benzersiz yapıları sayesinde birçok alanda heyecan verici potansiyele sahiptir. Termal oksidasyon yöntemi, bu nanotellerin sentezinde önemli bir rol oynamaktadır ve etkileyici şekilde kontrol edilebilir boyutlara ve morfolojiye sahip nanotellerin elde edilmesini mümkün kılmaktadır.

Amacımız, okuyucuya bu yazı içeriğine genel bir bakış sunmak ve ZnO nanotellerin önemli nitelikleri ve uygulamaları hakkında bir ön bilgi vermektedir. Bu yazıda, ZnO nanotellerin sentezi için kullanılan termal oksidasyon yönteminin temel prensipleri hakkında temel bilgiler sunulacaktır. Ayrıca, bu nanotellerin gaz sensörü uygulamalarında kullanımına yönelik potansiyel avantajları vurgulanacaktır.

Sonuç olarak, “Termal Oksidasyon Yöntemi ile ZnO Nanotellerin Sentezi ve Gaz Sensörü Uygulaması” yazısı, nanomühendislik ve sensör teknolojileri alanında çalışan araştırmacılar, mühendisler ve öğrenciler için değerli bir kaynak olmayı amaçlamaktadır. Yazının içeriği, okuyucuların ZnO nanotellerin sentezi ve çeşitli sensör uygulamalarıyla ilgili güncel bilgilere ulaşmalarını sağlayacak ve bu alandaki araştırmalara katkıda bulunacaktır.

## **2. Sensör Teknolojisinin Önemi ve Nanoteknolojinin Sensör Uygulamalarına Etkisi**

Şimdiye kadar geliştirilmiş çeşitli gaz sensörleri vardır. Elektrolit solüsyon bazlı elektrokimyasal sensörler ve katalitik yanma tipi sensörler gibi bazı sensörler profesyonel kullanımlar için uzun zaman önce geliştirilmiştir (“IFC ----- EDB Top Half of Page,” 2005).

Nanobilim ve nanoteknoloji çağı olarak bilinen günümüzde, bilim, mühendislik ve teknolojinin hemen hemen tüm alanları bir araya gelerek insanlığa daha iyi hizmet etmek için etkili çözümler sunmaktadır. Nanomalzeme terimi, büyük ölçekli malzemelere kıyasla benzersiz özellikleri nedeniyle akademisyenler, araştırmacılar ve bilim insanlarının ilgisini çekiyor.

Şu anda araştırmacılar çevre ve ekoloji ile ilgili birçok sorunu çözmek için nanoteknolojiye yönelmektedir. Kataliz, biyoteknoloji, sensör teknolojisi, yakıt ekonomisi, yakıt krizi, biyosensörler, atık su arıtma, güneş hücreleri teknolojisi, enerji kaynakları vb. gibi bilim ve teknolojinin her ana alanı, merkezi bir tema olan nanoteknolojiye doğru ilerlemektedir. Modern araştırmacılara göre, önümüzdeki yıllarda nanoteknoloji, yeni nesneleri icat edilmiş nanomalzemelerle oluşturmak için kullanılabilir ve bu nesnek nanokompozitlere dayanacaktır ve bu nesnelerin

boyutunu (mobil cihazlar, bilgisayarlar, dizüstü bilgisayarlar, arabalar vb.) azaltmaya yardımcı olacaktır. Malzemeler katlanabilir ve küçültülebilir olabilir (Z. Wu et al., 2019).

Nanoteknolojinin sensör uygulamaları üzerinde önemli bir etkisi vardır. Nanomalzemelerin benzersiz özellikleri, daha hassas, daha duyarlı ve daha güvenilir sensörlerin geliştirilmesine imkan sağlar. Nanoteknolojinin sensör uygulamalarına olan etkilerini açıklayan bazı noktalar bulunmaktadır;

**Yüzey Büyüklüğü ve Reaktivite:** Nanomalzemelerin büyük yüzey alanı ve yüksek reaktiviteye sahip olması, sensörlerin duyarlılığını artırır. Küçük boyutları sayesinde, daha az miktarda analit ile etkileşime girerler ve daha düşük konsantrasyonlardaki hedef maddeleri algılamak için kullanılabilirler.

**Optik Özellikler:** Nanomalzemeler, optik özelliklerindeki değişiklikler sayesinde sensörlerin etkinliğini artırabilir. Plazmonik etkiler, yüzey plazmon rezonansı gibi optik fenomenler, nanomalzemelerin optik özelliklerini manipüle etmek için kullanılabilir ve daha hassas ve seçici sensörlerin geliştirilmesine olanak tanır.

**Kimyasal Seçicilik:** Nanomalzemelerin yüzeyleri, çeşitli kimyasal gruplarla işlenebilir ve özelleştirilebilir. Bu, sensörlerin belirli analitleri seçici bir şekilde algılamasını sağlar. Yüzey modifikasyonu, nanomalzemelerin özelleştirilmesini ve farklı analitlere tepki verme yeteneklerini iyileştirir.

**Elektriksel Özellikler:** Bazı nanomalzemelerin elektriksel özellikleri, sensörlerin çalışma prensiplerine uygulanabilir. Örneğin, karbon nanotüpler ve grafen gibi iletken nanomalzemeler, direnç değişikliklerini algılamak için kullanılabilir ve gaz sensörleri gibi uygulamalarda kullanışlı olabilir.

**Esneklik ve Taşınabilirlik:** Nanoteknoloji, esnek elektronik ve giyilebilir teknolojilerin geliştirilmesine olanak tanır. Nano ölçekteki malzemelerin kullanımı, sensörlerin daha hafif, daha esnek ve taşınabilir olmasını sağlar. Bu da sensörlerin farklı uygulamalarda kullanımını kolaylaştırır.

**Çoklu İşlevsellik:** Nanomalzemelerin çoklu işlevsellik özellikleri, sensörlerin farklı analitleri algılaması veya birden fazla parametreyi ölçmesi için kullanılabilir. Örneğin, bir nanomalzeme hem optik hem de elektriksel özelliklere sahip olabilir ve farklı sensör uygulamalarında çok yönlü kullanılabilir.

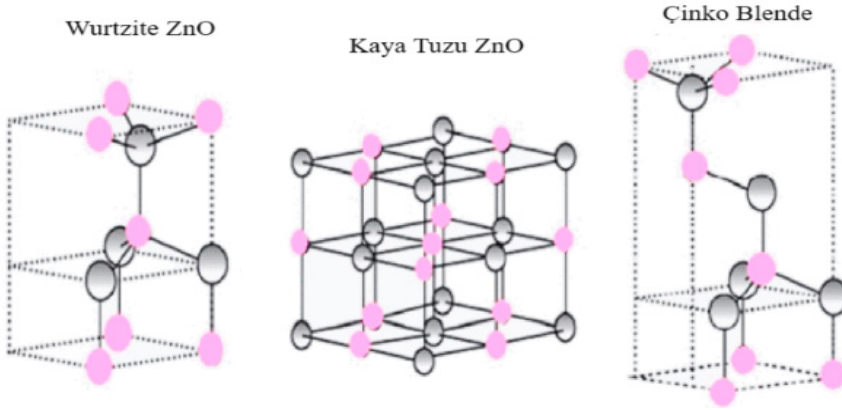
Bu faktörler, nanoteknolojinin sensör uygulamaları üzerindeki etkisini göstermektedir. Nanomalzemelerin benzersiz özellikleri, daha hassas, seçici ve güvenilir sensörlerin geliştirilmesine olanak sağlar ve çeşitli alanlarda, sağlık, çevre, gıda güvenliği ve güvenlik gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Bizim yazıda ele alacağımız nanomalzeme ZnO nanotellerdir.

### 3. ZnO Nanotellerin Genel Özellikleri

ZnO (Çinko Oksit) nanoteller, nanoboyutlu yapıya sahip ve çinko oksit bileşeninden oluşan ince tellerdir. Bu nanotellerin genel özellikleri şu şekilde listelenebilir:

**Morfoloji:** ZnO nanoteller genellikle uzun silindirik yapıya sahiptir. Uzunlukları mikron ölçeğinde olabilir ve çapları nanometre ölçeğinde değişebilir.

**Yapısal Özellikler:** ZnO genellikle 3 çeşit kristal yapısına sahiptir: wurtzite, çinko blende ve kaya tuzudur (Şekil 1). Normal şartlarda wurtzite yapısı ZnO'nun en kararlı fazıdır (Zhang, Ram, et al., 2012)(Cui, 2011). Bu yapıda, çinko ve oksijen atomları belirli bir düzen içinde dizilmiştir.



**Şekil 1.** ZnO 3 kristal yapısı. Sırasıyla wurtzite, kaya tuzu ve çinko blende. Pembe renkli olanlar oksijen ve gri renkli olanlar çinkodur (Zare et al., 2022).

**Yüzey Özellikleri:** ZnO nanotellerin yüzeyleri çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir. Yüzey pürüzlülüğü, büyüme koşulları, sentez yöntemi ve çeşitli uygulamalar için gereksinimlere bağlı olarak değişebilir.

**Optik Özellikler:** ZnO nanoteller, geniş bir bant aralığına sahip (3.37 eV) ve UV bölgesine yakın 380 nm dalga boyutuna sahip olan yarıiletken bir malzemedir (Zare et al., 2022). Bu nedenle, ultraviyole (UV) ışığa duyarlıdır ve UV ışığını absorbe edebilir veya yayabilirler (Qin et al., 2021).

**Elektriksel Özellikler:** ZnO nanoteller genellikle yüksek elektriksel iletkenliğe sahiptir. Bu özellik, nanotellerin elektronik cihazlarda kullanımını ve elektriksel sensör uygulamalarını destekler (Qin et al., 2021).

**Kimyasal Dayanıklılık:** ZnO nanoteller, genellikle kimyasal olarak karardır ve oksidasyon ve çözünme gibi çevresel etkilere karşı direnç gösterebilir.

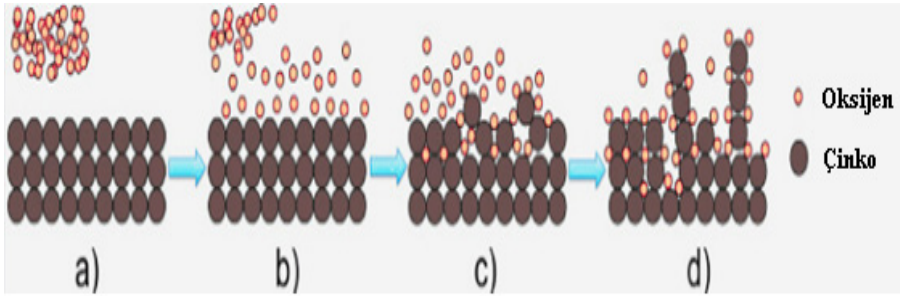
#### 4. ZnO Nanotellerin Sentezi

ZnO nanoteller çeşitli yöntemlerle sentezlenebilir. ZnO Nanoteller; Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD) (Bae et al., 2004), Hidrotermal Sentez (Hu et al., 2007), Kimyasal Çöktürme (Yang et al., n.d.), Elektrokimyasal Biriktirme (Manzano et al., n.d.), Otokatalitik Büyüme (Kolasinski, n.d.), Elektrospinning Yöntemi (Vanaraj et al., 2023)(W.-Y. Wu et al., 2009) gibi birçok yöntem ile sentezlenebilir. Bu derlemede, ele alacağımız sentez yöntemi ise termal oksidasyon yöntemidir.

##### 4.1. Termal Oksidasyon Yöntemi

Termal oksidasyon yöntemi, malzemelerin yüksek sıcaklıklarda oksidasyon yoluyla yüzeylerinin işlenmesini sağlayan bir işlemdir.

Şekil 2’de termal oksidasyon işleminde nanotel büyüme mekanizmasını göstermektedir. a) Atmosferdeki oksijen iyonlarının varlığı, b) yüzeydeki oksijen iyonları ile iyonlaşmış çinko atomları arasındaki etkileşim, c) metal içinde oksijen iyonlarının difüzyonu, nanotel başlangıcı, d) nanotellerin oluşumu, şeklinde açıklayabiliriz (Zappa et al., 2013).



Şekil 2. Termal Oksidasyon ile nanotel sentezinde nanotellerin oluşma mekanizması (Zappa et al., 2013).

ZnO nanotellerin sentezinde termal oksidasyon yöntemi, bir dizi avantaj sunar ve nanotellerin kontrol edilebilir büyümesini sağlar. Termal oksidasyon yönteminin ZnO nanotellerin sentezindeki avantajları;

**Basit ve Yüksek Verimli Yöntem:** Termal oksidasyon yöntemi, ZnO nanotellerin sentezinde basit bir yaklaşımdır ve düşük maliyetle yüksek verim elde etmeyi sağlar. Diğer bazı sentez yöntemlerine kıyasla daha az kimyasal madde ve karmaşık ekipman gerektirir.

**Yüksek Kristal Kalitesi:** Termal oksidasyon işlemi, yüksek sıcaklıkta gerçekleştiğinden, ZnO nanotellerin kristal kalitesini artırır. Bu, daha düzgün ve

homojen kristal yapıların oluşmasına olanak tanır, bu da nanotellerin elektronik ve optoelektronik uygulamalarda daha iyi performans göstermesini sağlar.

**Kontrollü Büyüme:** Termal oksidasyon işlemi, işlem parametreleri (sıcaklık, basınç, gaz akışı, reaksiyon süresi vb.) kontrol edilerek nanotellerin boyutu, şekli ve dağılımı üzerinde hassas kontrol sağlar. Bu sayede istenilen özelliklere sahip nanoteller elde etmek mümkündür.

**Düşük Sentez Sıcaklıkları:** Termal oksidasyon, ZnO nanotellerin sentezinde yüksek sıcaklıkların kullanılmasına rağmen, diğer sentez yöntemlerine kıyasla düşük sıcaklıklarla da uygulanabilir. Bu, bazı özel alt tabakaların veya malzemelerin kullanımına olanak tanır ve proses esnasında malzemelerin termal hasarını en aza indirir.

**Çeşitli Uygulamalar:** Elde edilen ZnO nanoteller, elektronik, optoelektronik, fotovoltaiik, sensör ve kataliz gibi birçok alanda kullanılabilir. Kontrollü büyüme ve yüksek kristal kalitesi, nanotellerin farklı uygulamalara yönelik özelliklerinin optimize edilmesine olanak tanır.

Termal oksidasyon işlemi iki ana aşamadan oluşur. Öncelikle bir altlık üzerine malzeme ince film kaplanır, daha sonra termal oksidasyon işlemine başlanır.

#### ***4.2. Termal Oksidasyon İşleminde Kullanılacak İnce Film***

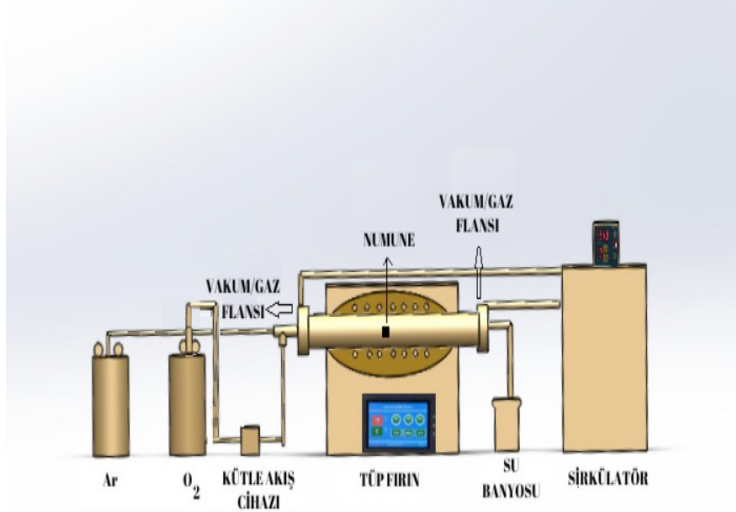
Termal oksidasyon yönteminde ilk olarak çinko ince film ihtiyacı vardır. Bu ince filmler birçok yöntemle elde edilebilir. Kaplama termal buharlaştırma yöntemiyle (Girtan et al., n.d.), RF sputteringle (Chin & Chao, 2013) ya da üretilmiş çinko saclar (Ren et al., 2007), folyolar (Florica et al., 2016) vb. ürünler kullanılarak direk sentez de yapılabilir. Yapılacak olan ince film mikroskop camına (Colorado & Colorado, 2017) ya da çeşitli silika substrat (Amekura et al., 2006) vb. seramikler üzerine uygulanabilir.

#### ***4.3. Sentez Sürecinin Adımları***

Kaplama işleminden sonra veya kullanılacak ince film seçildikten sonra termal oksidasyon işlemine geçilir. Termal oksidasyon tüp fırınlarda yapılır (Han et al., 2021)(Amekura et al., 2005)(Liang et al., 2008). Tüp fırınlar bir seramik tüp içinde ısıtma yapılan fırınlardır. Bu seramik tüpün etrafını saran ve tüpün her kısmına eşit sıcaklık veren ısıtıcıları vardır (*Why Use a Custom Tube Furnace?*, n.d.).

Şekil 3 yatay tüp fırın şemasını göstermektedir. Sistemde sentez için Ar ve O<sub>2</sub> gaz karışımı kullanılmaktadır. Bu gazlar tüpten çıkarak kütle akış cihazı içinde miktarları ayarlanarak sisteme dahil olmaktadır. Yatay tüpün iki

yanındaki vakum flanşları gaz kaçağını önlemek için bulunuyor. Su banyosu olmasının sebebi gazların sistemden çıkarken kabarcık çıkartarak bize gaz akışının devamlılığı konusunda bilgi sağlamasıdır. Son olarak sirkülatör vakum flanşlarında ve borularda fazla ısınmayı önlemek için içerisinde antifrizin sürekli sirkülasyonunu sağlayan bir cihazdır.



Şekil 3. Termal oksidasyon için kullanılan bir tüp fırın şeması.

Termal oksidasyon işleminde kullanılacak gaz sabit bir akışta gelmelidir. Termal oksidasyon işleme hava ortamında (Rusu et al., 2007)(Gao et al., 2004) (Zhang, Li, et al., 2012), saf oksijen ortamında (Kumar Gupta et al., 2002) (Mihailova et al., 2013) veya oksijen-argon ortamında (B. Guo et al., 2019) (Zappa et al., 2012) yapılabilir. ZnO'nun termal oksidasyonu yaklaşık olarak 400-1000°C aralığında gerçekleşir (Yuan et al., 2013). Bunun sebebi çinkonun erime (419.53°C) (Çinko - Evrim Ağacı, n.d.) ve kaynama (907°C) (Çinko - Evrim Ağacı, n.d.) sıcaklığıdır. Termal oksidasyon, bu sıcaklıklar arasında belirlenen hava, oksijen ya da oksijen-argon ortamında belirli sürelerle yapılır ve fırından direkt olarak nanoteller oluşmuş olarak başka bir işlem gerekmeksizin alınır.

Tablo 1 çeşitli kaynaklardan elde edilen termal oksidasyon yöntemiyle sentezlenmiş çeşitli nanoteller ve sensör özellikleri ile ilgili bilgi vermektedir. Termal oksidasyon yöntemi özelinde, termal oksidasyon sıcaklığının değiştirilmesi, gaz ortamının ve akışının değiştirilmesi, termal oksidasyon süresinin değiştirilmesi tabloda görüldüğü üzere nanotelin sensör tepkisi ve tepki süresi üzerinde önemli rol oynayan parametrelerdir.

**Tablo 1.** Termal oksidasyon yöntemiyle sentezlenmiş ZnO nanotel ve sensör özellikleri ile ilgili tablo.

	Termal Oksidasyon Parametreleri	Algılanan Gaz	Tepki Süresi	Kaynak
1	620°C'de 20 °C/dak hızla ısıtma			(Campos et al., 2019)
2	650°C'de 2 saat O <sub>2</sub> atmosferinde	0.1 ppm NO <sub>2</sub> için %1.38 ± 0.1 ve 10 ppm NO <sub>2</sub> için %6.45 sensör tepkisi	0.1 ppm için 280 ± 28 saniye ve 10 ppm için 310 saniye	(Park et al., 2012)
3	500°C'ye 15 dakikada çıkacak şekilde ısıtılarak 2 saat	500 ppm O <sub>2</sub> için %11 ve 520 ppm H <sub>2</sub> için %10.2 sensör tepkisi	O <sub>2</sub> için 10-12 saniye ve H <sub>2</sub> için 8-12 saniye	(Tonezzer & Lacerda, 2010a)
4	500°C'ye 15 dakikada çıkacak şekilde ısıtılarak 2 saat	600 ppm O <sub>2</sub> için %13 ve 500 ppm H <sub>2</sub> için %10 sensör tepkisi	100-600 ppm O <sub>2</sub> için 10 saniye ve 100-500 ppm H <sub>2</sub> için 12 saniye	(Tonezzer & Lacerda, 2010b)
5	600°C'de 4 saat süreyle			(Aurobindo Panda et al., n.d.)
6	10 Torr 600°C 1 saat süreyle 54.4 sccm Ar ve 0.8 sccm O <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub> için %22.5-36 sensör tepkisi	NH <sub>3</sub> için 100 saniye	(Jinn Chang et al., 2010)
7	400°C sıcaklıkta 4saat 30 L/dk hava akışı	500 ppm Aseton için %20 ve 500 ppm Etanol için %30 sensör tepkisi		(Wongrat et al., 2017)
8	400°C sıcaklıkta %100 O <sub>2</sub> ortamında 3 saat	300°C'de 50 ppm Etanole %3, 50 ppm Asetona %25, 1 ppm NO <sub>2</sub> 'ye %0.6 sensör tepkisi		(Zappa et al., 2013)
9	400°C sıcaklıkta %80 O <sub>2</sub> - %20 Ar ortamında 3 saat			(Zappa et al., 2013)
10	400°C sıcaklıkta %50 O <sub>2</sub> - %50 Ar ortamında 3 saat			(Zappa et al., 2013)
11	500°C sıcaklıkta %100 O <sub>2</sub> ortamında 3 saat	300°C'de 50 ppm Etanole %2, 50 ppm Asetona %9, 1 ppm NO <sub>2</sub> 'ye %1 sensör tepkisi		(Zappa et al., 2013)

12	500°C sıcaklıkta hava ortamında 3 saat	NH <sub>3</sub> için %0.75 sensör tepkisi		( <i>Improving the NH<sub>3</sub> Gas Sensitivity of ZnO Nanowire Sensors by Reducing the Carrier Concentration</i> , 2008)
13	1000°C sıcaklıkta oluşan nanotetrapod yapı			(Yuan et al., 2013)

#### 4.4. Sentez Parametrelerinin Optimizasyonu

ZnO nanotellerin gaz sensörü uygulamalarında etkili performans elde etmek için çeşitli üretim parametrelerinin dikkatli bir şekilde optimizasyonu gerekmektedir. Bu bölümde, termal oksidasyon yöntemiyle üretilen ZnO nanotellerin gaz sensörü performansını en üst düzeye çıkarmak için dikkate alınması gereken ana parametreler ele alınmıştır.

ZnO termal oksidasyonu için optimum değerler 12 saat, atmosferik basınç, 200-900°C sıcaklık ve 300 sccm gaz (%80 argon-%20 oksijen) değerleri termal oksidasyon için en uygun parametreler olarak bilinmektedir. Oksidasyon sıcaklığının nanotel büyümesi üzerinde güçlü bir etkisi vardır ve numune morfolojisini kontrol etmek için kullanılabilecek önemli bir parametredir (Bertuna et al., 2017).

##### 4.4.1. Nanotel Üretim Sıcaklığı

Termal oksidasyon sıcaklığı birçok çalışmada araştırılmış ve ZnO nanotel sentezi için en iyi oksidasyon sıcaklık aralığı olarak 400-600°C sıcaklık aralığı kabul edilmektedir (Zappa et al., 2013), daha düşük sıcaklıklarda büyük nanoparçacıklar elde edilir (Zappa et al., 2013). Fakat 800°C ve üzerinde nanotel oluşumu yerine farklı nano yapılar oluşmaktadır.

Pu-Xian Gao ve arkadaşları, 500 °C'de ZnO nanotelleri seyrek olarak büyüdüğünü; sıcaklık 600 °C'ye yükseldikçe nanotellerin yoğunluğu büyük ölçüde arttığını bildirmiştir (Sarac et al., 2010).

Diğer bir çalışmada, Tuncay Dikici ve arkadaşları, termal oksidasyon sıcaklığının artmasıyla ZnO nanotellerinin boyutunun, daha geniş ve uzun hale geldiğini, fakat sıcaklığın 800°C ve 900°C'ye kadar yükseltilmesiyle ZnO nanotel yapısı neredeyse pul şeklindeki yapıları dönüştüğünü bildirmiştir (Dikici & Demirci, 2019).



Guangwen Zhou ve arkadaşları, 200°C ve 300°C’de Zn substratı üzerinde ZnO nanoyapılarının oluşmadığını, 400°C’deki oksidasyonun, ZnO nanotellerinin oluşumuyla sonuçlandığını ve nanotellerin çapının ~20nm’ye kadar olduğunu, 500°C’deki oksidasyonun ise daha geniş (~50 nm) ve daha uzun (~1.5 µm) nanotellere sahip bir sonuç elde edildiğini bildirmiştir.

Düşük oksidasyon sıcaklığına kıyasla aynı zamanda oksitlenmiş Zn substratının hafifçe pürüzlü hale geldiği görüldüğünü ve bu durumun oksidasyon sıcaklığında Zn substratının yüzey erimesinden kaynaklanmış olabileceğini tahmin etmektedir. 600°C’de oksidasyon için, kökte 500 nm çapa ve 2 µm’ye kadar uzunluğa sahip konik şekilli ZnO nanotellerinin oluşmasıyla Zn yüzeyi oldukça pürüzlü hale geldiğini gözlemlenmiştir (Yuan et al., 2014). Tablo 2 sentezlenmiş çeşitli nanotellerin sıcaklığa göre değişimini göstermektedir.

**Tablo 2.** Termal oksidasyon sıcaklığının etkisi.

Sıcaklık	Gaz ve Gaz Akışı	Zaman	Referans
400°C	Hava atmosferi	12 saat	(Florica et al., 2016)
400 °C	%100 Oksijen	3 saat	(Zappa et al., 2013)
500 °C	%100 Oksijen	3 saat	(Zappa et al., 2013)
500°C	Hava atmosferi	24 saat	(D. Guo & Ju, 2016)
500°C	Hava atmosferi	12 saat	(Florica et al., 2016)
500°C	Hava atmosferi	2 saat	(Dikici & Demirci, 2019)
500°C	Hava atmosferi	2 saat	(Sarac et al., 2010)
500°C	Hava atmosferi	4 saat	(Sarac et al., 2010)
500°C	Oksijen atmosferi	30 dakika	(Yuan et al., 2014)
600°C	Hava atmosferi	2 saat	(Sarac et al., 2010)
600°C	Hava atmosferi	4 saat	(Sarac et al., 2010)
600°C	Oksijen atmosferi	30 dakika	(Yuan et al., 2014)
600°C	Hava atmosferi	12 saat	(Florica et al., 2016)
600°C	Hava atmosferi	2 saat	(Dikici & Demirci, 2019)
700°C	Hava atmosferi	2 saat	(Dikici & Demirci, 2019)
900°C	Hava atmosferi	30 dakika	(Lee et al., 2005)

#### 4.4.2. Termal Oksidasyon Gazı Seçimi

Morfolojiyi etkileyen bir diğer önemli parametre ise atmosfer bileşimidir. Tablo 3’te sentez gazının termal oksidasyona etkisi gösterilmektedir. D Zappa ve arkadaşları, atmosfer bileşimindeki oksijen oranının azaltılması, nanotellerin yoğunluğunu ve uzunluğunu arttırdığını bildirmiştir (Zappa et al., 2013).

Çoğunlukla oksijen ya da oksijene ek olarak argon, azot gibi gazlar (örneğin %80 Ar-%20 O<sub>2</sub>, %50 N<sub>2</sub>-%50 O<sub>2</sub>). Oksijen, ZnO nanotellerin büyümesini destekleyen bir oksijen ortamı sağlar. Argon ise ZnO nanotellerin büyümesini yavaşlatan bir inert gazdır (Waclawik et al., 2012). Bu bileşimle yüzde oranlarını ayarlayarak yaklaşık olarak istenilen uzunlukta nanoteller üretilebilir. CH Xu ve arkadaşları, kuru oksijende oksitlenen numunede tüy benzeri nano yapı gözlemlenirken, ıslak oksijende oksitlenen filmler herhangi bir nanoyapıdan yoksun olduğunu, kuru azot atmosferinde oksitlenen numune üzerinde uzunluğu 10 µm'nin üzerinde olan nanotellerin varlığı açıkça görüldüğünü ve ıslak azotta yaklaşık 2 µm uzunluğunda nanotellerin görüldüğünü bildirmiştir (Xu et al., 2011). K.G. Saw ve arkadaşları, nano yapıların büyüme hızının O<sub>2</sub> varlığının yüzdesi ile arttığını bildirmiştir (Tneh et al., 2012).

**Tablo 3.** Termal oksidasyon sentez gazının etkisi.

Sıcaklık	Gaz ve Gaz Akışı	Zaman	Referans
470°C	Hava ortamı	3 saat	(C. Wang et al., 2021)
500°C	Hava ortamı	2 saat	(Zhao, Huang, et al., 2013)
500°C	Hava ortamı	2 saat	(Li et al., 2017)
500°C	Hava ortamı	12 saat	(florica et al., n.d.)
600°C	Hava ortamı	1 saat	(Tneh et al., 2012)
400 °C	%100 Oksijen	3 saat	(Zappa et al., 2013)
400 °C	%80 Oksijen %20 Argon	3 saat	(Zappa et al., 2013)
400 °C	%50 Oksijen %50 Argon	3 saat	(Zappa et al., 2013)
600°C	Oksijen ortamı 4 L/dk	1 saat	(Tneh et al., 2012)
390°C	Kuru azot ortamı 400 ml/dk	10 saat	(Xu et al., 2011)
390°C	Yaş azot ortamı 400 ml/dk	10 saat	(Xu et al., 2011)
390°C	Kuru azot ortamı 400 ml/dk	10 saat	(Xu et al., 2011)
390°C	Yaş azot ortamı 400 ml/dk	10 saat	(Xu et al., 2011)
720°C	Argon ortamı	1 saat	(Srivastava & Bolse, 2023)

Termal oksidasyon sırasında ortamında bulunan oksijen miktarı nanotellerin uzunluğunu ve dolayısıyla sensör performansını etkiler. Tablo 3'te gözüktüğü üzere oksijen oranı azaldıkça nanotel büyümesi artar. Düşük oranda oksijen ihtiva eden bir ortamda termal oksidasyon ile sentez daha uzun nanoteller ve daha iyi sensör performansı sağlayacaktır. Atmosferin bileşimindeki oksijen oranını azaltmak, 400°C'de oksitlenme sıcaklığında nanotellerin hem yoğunluğunu hem de uzunluğunu arttırıyor gibi görünmektedir (Zappa et al., 2013).

#### 4.4.3. Termal Oksidasyon Zamanı

Termal oksidasyon zamanı arttıkça nanotel büyümesi belli ölçüde artar. Uzun nanotel üretilmek isteniyorsa süre uzatılmalıdır.

Carmen Lazau ve arkadaşları, termal oksidasyon süresi uzadıkça nanotelin yüzey-hacim oranı arttığını bildirmiştir (Nicolaescu et al., 2022). Pu-Xian Gao ve arkadaşları, uzatılmış oksidasyon işlemiyle daha fazla ZnO nanotel büyümesi gözlemledi (Sarac et al., 2010). Tablo 4'te diğer birkaç örnek ile birlikte görüldüğü üzere Jun Chen ve arkadaşları, termal oksidasyon süresinin 1 dakikadan 120 dakikaya çıkarılmasıyla nanotelin dağılım yoğunluğu ve çapının büyük ölçüde arttığını, büyüme süresi ne kadar uzun olursa nanotellerin o kadar yoğun ve uzun olacağını bildirmiştir (Zhao, Li, et al., 2013).

**Tablo 4.** Termal oksidasyon zamanının etkisi.

Sıcaklık	Gaz ve Gaz Akışı	Zaman	Referans
2.5 °C/dakika hızla 500 °C	Hava ortamı	1 dakika	(Zhao, Li, et al., 2013)
2.5 °C/dakika hızla 500 °C	Hava ortamı	5 dakika	(Zhao, Li, et al., 2013)
2.5 °C/dakika hızla 500 °C	Hava ortamı	20 dakika	(Zhao, Li, et al., 2013)
2.5 °C/dakika hızla 500 °C	Hava ortamı	40 dakika	(Zhao, Li, et al., 2013)
2.5 °C/dakika hızla 500 °C	Hava ortamı	80 dakika	(Zhao, Li, et al., 2013)
2.5 °C/dakika hızla 500 °C	Hava ortamı	120 dakika	(Zhao, Li, et al., 2013)
400°C	100 mL/dk O <sub>2</sub> -Ar	2 saat	(Nicolaescu et al., 2022)
400°C	100 mL/dk O <sub>2</sub> -Ar	4 saat	(Nicolaescu et al., 2022)
400°C	100 mL/dk O <sub>2</sub> -Ar	6 saat	(Nicolaescu et al., 2022)
470°C	Hava ortamı	192 dakika	(L. Wang et al., 2019)
450°C	Oksijen ortamı	3 saat	(Liu et al., 2018)
500°C	Hava ortamı	12 saat	(Costas et al., 2019)
500°C	Hava ortamı	2 saat	(Sarac et al., 2010)
500°C	Hava ortamı	4 saat	(Sarac et al., 2010)
600°C	Hava ortamı	2 saat	(Sarac et al., 2010)
600°C	Hava ortamı	4 saat	(Sarac et al., 2010)

## 5. ZnO Nanotellerin Gaz Sensörü Uygulaması

Çinko oksit (ZnO), büyük eksiton bağlama enerjisi(60meV) (Özgür et al., 2005), geniş bant aralığı enerjisi (3,1-3,4 eV) (Marotti et al., 2004) ve toksik ve yanıcı gazlara karşı yüksek duyarlılığı olan (Singh Bhati et al., 2020) kimyasal

ve termal olarak kararlı n-tipi yarıiletken malzemedir (Janotti & Van De Walle, 2009). Bu özellikler sensör malzemesi olarak kullanılmasının sağlar. Nanotellerin her iki ucuna elektriksel kontaklar eklenir. Bu kontaklar, nanotellerin elektriksel direncini ölçmek ve gazın varlığını algılamak için kullanılır. Gaz dedektörlerinin temel çalışma prensibi, hedef gazın nanotellerin yüzeyine adsorplanması veya absorbe edilmesi sonucu elektriksel özelliklerde değişiklik oluşmasıdır. Gaz molekülleri ile nanoteller arasındaki etkileşim, nanotellerin yüzey yükleri ve iletim özelliklerini değiştirebilir. Gaz dedektörünün önceden bilinen gaz konsantrasyonlarına karşı tepkisi kalibre edilir. Ardından, gerçek dünyada hedef gazın tespiti için gaz örnekleri alınır ve dedektörün tepkisi ölçülür. Dedektörden elde edilen veriler analiz edilir ve hedef gazın konsantrasyonu belirlenir. Bu veriler, çevre izleme, endüstriyel süreç kontrolü veya sağlık uygulamaları gibi farklı alanlarda faydalı bilgiler sağlar. Nanotellerin özellikleri, dedektörün duyarlılığını, ömrünü ve seçiciliğini etkiler. Bu nedenle, nanotellerin yapısal özellikleri, işletim koşulları ve dedektör tasarımı sürekli olarak optimize edilir. Metal oksit kimyasal algılama performansları güçlü bir şekilde termal olarak etkilenir, bu nedenle platin bir ısıtıcı kullanılmıştır. Orta kısımda ise ZnO nanotel kaplı aktif katman bulunuyor (Zappa et al., 2013).

## 6. Sonuç

ZnO nanotellerin yüksek en-boy oranı, hacimlerine göre büyük bir yüzey alanına sahip olmalarını sağlar. Bu yüksek yüzey-hacim oranı, sensörlerin duyarlılığını artırır ve çevresel ortamdaki küçük değişiklikleri bile tespit edebilmelerini sağlar. ZnO, geniş enerji aralığına sahip bir yarıiletken malzemedir ve mükemmel elektriksel ve optik özelliklere sahiptir. Bu, ZnO nanotellerin gaz sensörleri, biyosensörler ve UV sensörleri gibi çeşitli sensör türleri için uygun hale gelmesini sağlar. ZnO nanotellerle yapılan sensörler, gazlar, uçucu organik bileşikler, biyolojik moleküller ve ultraviyole radyasyon gibi geniş bir analiz yelpazesini algılama yeteneğine sahiptir. ZnO nanotellerin sensörleri hızlı tepki ve iyileşme süreleri sergiler, bu da gerçek zamanlı izleme uygulamaları için önemlidir. Bu hızlı tepki, nanotellerin yüksek yüzey alanı ve verimli yük taşıma özelliklerine bağlıdır. ZnO nanotellerle yapılan sensörler, nispeten düşük güçte çalışabilir, bu da taşınabilir ve pil ile çalışan sensör cihazları için uygundur. Bu özelliklere rağmen bazı kısıtlamalar da mevcuttur. ZnO nanotellerin termal oksidasyon yöntemiyle sentezi karmaşık olabilir ve büyüme sıcaklığı, basınç ve öncül konsantrasyonları gibi büyüme parametrelerinin dikkatli kontrolünü gerektirir. Tutarsız sentez koşulları, nanotellerin kalitesinde ve özelliklerinde

değişikliklere neden olabilir. ZnO nanotellerin boyutu, yönlendirmesi ve yoğunluğu üzerinde kesin kontrol elde etmek zor olabilir. Bu parametrelerdeki değişiklikler, sensör performansını ve tekrarlanabilirliğini etkileyebilir. ZnO nanoteller, sıcaklık değişikliklerine duyarlıdır ve sensörün ölçümlerinin doğruluğunu ve istikrarını etkileyebilir. Bu duyarlılıkla başa çıkmak için telafi yöntemleri veya sıcaklık kontrollü ortamlar gerekebilir. ZnO nanotellerle yapılan sensörler geniş bir analit yelpazesi algılayabilseler de yüksek seçicilik (benzer bileşikleri ayırt etme yeteneği) elde etmek zor olabilir. Belirli uygulamalar için özgünlüğü artırmak için işlevsellik veya ek sensör tabakaları gerekebilir. ZnO nanoteller, özellikle zorlu ortamlarda zamanla bozulmaya eğilimli olabilir. Nem, UV radyasyonu ve diğer reaktif maddelere maruz kalma, yüzey özelliklerini değiştirebilir ve sensör performansını etkileyebilir. Laboratuvar ölçeğinde sentezden ZnO nanotellerle yapılan sensörlerin büyük ölçekte üretimine geçiş, daha fazla sayıda cihazda tutarlı kalite ve performans gerektiği için zor olabilir. Sonuç olarak, termal oksidasyonla sentezlenen ZnO nanoteller, yüksek duyarlılık, geniş algılama aralığı ve hızlı tepki gibi avantajlarını sensör uygulamalarında göstermiştir. Ancak, sentez karmaşıklığı, özellik kontrolü, sıcaklık duyarlılığı, özgünlük, kararlılık ve ölçek büyütme zorlukları gibi sınırlamaların da olduğu unutulmamalıdır. Devam eden araştırma ve geliştirme çalışmaları, bu sınırlamaları aşmayı ve ZnO nanotellerle yapılan sensörlerin potansiyelini tam olarak ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır.

### Kaynaklar

Amekura, H., Sakuma, Y., Kono, K., Takeda, Y., Kishimoto, N., & Buchal, C. (2006). *Luminescence from ZnO nanoparticles/SiO<sub>2</sub> fabricated by ion implantation and thermal oxidation*. 760–763. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2005.12.190>

Amekura, H., Umeda, N., Sakuma, Y., Kishimoto, N., & Buchal, C. (2005). Fabrication of ZnO nanoparticles in SiO<sub>2</sub> by ion implantation combined with thermal oxidation. *Applied Physics Letters*, 87(1). <https://doi.org/10.1063/1.1989442>

Aurobindo Panda, S., Choudhary, S., & Gangopadhyay, S. (n.d.). *Growth of ZnO nanowires using thermal oxidation process Selection and peer-review under responsibility of the scientific committee of the International Conference on Nanotechnology for Sustainable Living and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.423>

Bae, S. Y., Seo, H. W., & Park, J. (2004). Vertically aligned sulfur-doped ZnO nanowires synthesized via chemical vapor deposition. *Journal of Physical Chemistry B*, 108(17), 5206–5210. <https://doi.org/10.1021/JP036720K>

Bertuna, A., Faglia, G., Ferroni, M., Kaur, N., Arachchige, H. M. M. M., Sberveglieri, G., & Comini, E. (2017). Metal Oxide Nanowire Preparation and Their Integration into Chemical Sensing Devices at the SENSOR Lab in Brescia. *Sensors 2017, Vol. 17, Page 1000*, 17(5), 1000. <https://doi.org/10.3390/S17051000>

Campos, A. C., Paes, S. C., Correa, B. S., Cabrera-Pasca, G. A., Costa, M. S., Costa, C. S., Otubo, L., & Carbonari, A. W. (2019). *Growth of Long ZnO Nanowires with High Density on the ZnO Surface for Gas Sensors*. <https://doi.org/10.1021/acsanm.9b01888>

Chin, H.-S., & Chao, L.-S. (2013). The Effect of Thermal Annealing Processes on Structural and Photoluminescence of Zinc Oxide Thin Film. *Journal of Nanomaterials*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/424953>

Çinko - Evrim Ağacı. (n.d.). Retrieved September 18, 2023, from <https://evrimagaci.org/cinko-9886>

Colorado, S. A., & Colorado, H. A. (2017). *Manufacturing of zinc oxide structures by thermal oxidation processes as scalable methods towards inexpensive electric generators*. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.08.156>

Costas, A., Florica, C., Preda, N., Apostol, N., Kuncser, A., Nitescu, A., & Enculescu, I. (2019). Radial heterojunction based on single ZnO-Cu<sub>2</sub>O core-shell nanowire for photodetector applications. *Scientific Reports 2019 9:1*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42060-w>

Cui, J. (2011). *Zinc oxide nanowires*. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2011.11.017>

Dikici, T., & Demirci, S. (2019). Influence of thermal oxidation temperature on the microstructure and photoelectrochemical properties of ZnO nanostructures fabricated on the zinc scraps. *Journal of Alloys and Compounds*, 779, 752–761. <https://doi.org/10.1016/J.JALLCOM.2018.11.241>

florica, camelia, costas, A., preda, N., Beregoi, M., Kuncser, A., Apostol, nicoleta, popa, C., Socol, G., Diculescu, V., & enculescu, ionut. (n.d.). *core-shell nanowire arrays based on ZnO and Cu<sub>2</sub>O for water stable photocatalysts*. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53873-0>

Florica, C., Preda, N., Costas, A., Zgura, I., & Enculescu, I. (2016). ZnO nanowires grown directly on zinc foils by thermal oxidation in air: Wetting and water adhesion properties. *Materials Letters*, 170, 156–159. <https://doi.org/10.1016/J.MATLET.2016.02.035>

Gao, X. D., Li, X. M., & Yu, W. D. (2004). *Structure and UV photoluminescence of nanocrystalline ZnO films prepared by thermal oxidation of ZnS films*. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2004.08.007>

Girtan, M., Rusu, G. G., Dabos-Seignon, S., & Rusu, M. (n.d.). *Structural and electrical properties of zinc oxides thin films prepared by thermal oxidation*. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2007.12.055>

Guo, B., Košiček, M., Fu, J., Qu, Y., Lin, G., Baranov, O., Zavašnik, J., Cheng, Q., Ostrikov, K., & Cvelbar, U. (2019). *Single-Crystalline Metal Oxide Nanostructures Synthesized by Plasma-Enhanced Thermal Oxidation*. <https://doi.org/10.3390/nano9101405>

Guo, D., & Ju, Y. (2016). Preparation of Cu<sub>2</sub>O/ZnO p-n Junction by Thermal Oxidation Method for Solar Cell Application. *Materials Today: Proceedings*, 3(2), 350–353. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2016.01.019>

Han, T.-H., Bak, S.-Y., Kim, S., Lee, H., Han, Y.-J., Yi, M., Lee, S. ;, Han, S. H. ;, & Yi, Y.-J. ; (2021). *Decoration of CuO NWs Gas Sensor with ZnO NPs for Improving NO<sub>2</sub> Sensing Characteristics* *Decoration of CuO NWs Gas Sensor with ZnO NPs for Improving NO<sub>2</sub>*. <https://doi.org/10.3390/s21062103>

Hu, H., Huang, X., Deng, C., Chen, X., & Qian, Y. (2007). Hydrothermal synthesis of ZnO nanowires and nanobelts on a large scale. *Materials Chemistry and Physics*, 106, 58–62. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2007.05.016>

IFC ----- EDB top half of page. (2005). *Sensors and Actuators B: Chemical*, 108(1–2), CO<sub>2</sub>. [https://doi.org/10.1016/S0925-4005\(05\)00492-2](https://doi.org/10.1016/S0925-4005(05)00492-2)

*Improving the NH<sub>3</sub> gas sensitivity of ZnO nanowire sensors by reducing the carrier concentration*. (2008). <https://doi.org/10.1088/0957-4484/19/20/205502>

Janotti, A., & Van De Walle, C. G. (2009). Fundamentals of zinc oxide as a semiconductor. *ON PROGRESS IN PHYSICS Rep. Prog. Phys*, 72, 29. <https://doi.org/10.1088/0034-4885/72/12/126501>

Jinn Chang, S., Yin Weng, W., Liang Hsu, C., & Jen Hsueh, T. (2010). High sensitivity of a ZnO nanowire-based ammonia gas sensor with Pt nanoparticles. *Nano Communication Networks*, 1, 283–288. <https://doi.org/10.1016/j.nancom.2010.09.005>

Kolasinski, K. W. (n.d.). *Catalytic growth of nanowires: Vapor-liquid-solid, vapor-solid-solid, solution-liquid-solid and solid-liquid-solid growth*. <https://doi.org/10.1016/j.cossms.2007.03.002>

Kumar Gupta, R., Shridhar, N., & Katiyar, M. (2002). Structure of ZnO films prepared by oxidation of metallic Zinc. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 5, 11–15.

Lee, G. H., Jeon, H. D., Lee, W. J., Shin, B. C., & Kim, I. S. (2005). Fabrication of chestnut bur-like particles covered with ZnO nanowires. *Journal of Crystal Growth*, 277(1–4), 1–5. <https://doi.org/10.1016/J.JCRYSGRO.2004.12.134>

Li, Y., Zhang, Z., Zhang, G., Zhao, L., Deng, S., Xu, N., & Chen, J. (2017). *Optimizing the Field Emission Properties of ZnO Nanowire Arrays by Precisely Tuning the Population Density and Application in Large-Area Gated Field Emitter Arrays*. <https://doi.org/10.1021/acsami.6b13994>

Liang, H. qin, Pan, L. zhan, & Liu, Z. jun. (2008). Synthesis and photoluminescence properties of ZnO nanowires and nanorods by thermal oxidation of Zn precursors. *Materials Letters*, 62(12–13), 1797–1800. <https://doi.org/10.1016/J.MATLET.2007.10.010>

Liu, S., Li, G., Xiao, L., Jia, B., Gao, Y., & Wang, Q. (2018). Effect of morphology evolution on the thermoelectric properties of oxidized ZnO thin films. *Applied Surface Science*, 436, 354–361. <https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2017.12.053>

Manzano, C. V, Philippe, L., Serrà, A., & Serr, A. (n.d.). *Recent progress in the electrochemical deposition of ZnO nanowires: synthesis approaches and applications*. <https://doi.org/10.1080/10408436.2021.1989663>

Marotti, R. E., Guerra, D. N., Bello, C., Machado, G., & Dalchiele, E. A. (2004). Bandgap energy tuning of electrochemically grown ZnO thin films by thickness and electrodeposition potential. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 82, 85–103. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2004.01.008>

Mihailova, I., Gerbreder, V., Tamanis, E., Sledevskis, E., Viter, R., & Sarajevs, P. (2013). *Synthesis of ZnO nanoneedles by thermal oxidation of Zn thin films*. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2013.05.003>

Nicolaescu, M., Bandas, C., Orha, C., Purcar, V., & Lazau, C. (2022). Development of the Zn-ZnO(Nw)@CuMnO<sub>2</sub> Heterojunction by Low Temperature Zn Foil Oxidation for Gas Sensor Fabrication. *Coatings 2022, Vol. 12, Page 1630, 12(11)*, 1630. <https://doi.org/10.3390/COATINGS12111630>

Özgür, Ü., Alivov, Y. I., Liu, C., Teke, A., Reshchikov, M. A., Doğan, S., Avrutin, V., Cho, S.-J., & Morkoç, H. (2005). *APPLIED PHYSICS REVIEWS A comprehensive review of ZnO materials and devices*. <https://doi.org/10.1063/1.1992666>

Park, S., An, S., Ko, H., Jin, C., & Lee, C. (2012). *Synthesis of Nanograined ZnO Nanowires and Their Enhanced Gas Sensing Properties*. <https://doi.org/10.1021/am300741r>



Qin, L., Mawignon, F. J., Hussain, M., Ange, N. K., Lu, S., Hafezi, M., & Dong, G. (2021). Economic Friendly ZnO-Based UV Sensors Using Hydrothermal Growth: A Review. *Materials (Basel, Switzerland)*, 14(15). <https://doi.org/10.3390/MA14154083>

Ren, S., Bai, Y. F., Chen, J., Deng, S. Z., Xu, N. S., Wu, Q. B., & Yang, S. (2007). Catalyst-free synthesis of ZnO nanowire arrays on zinc substrate by low temperature thermal oxidation. *Materials Letters*, 61(3), 666–670. <https://doi.org/10.1016/J.MATLET.2006.05.031>

Rusu, G. G., Gîrtan, G., & Rusu, M. (2007). Preparation and characterization of ZnO thin films prepared by thermal oxidation of evaporated Zn thin films. *Superlattices and Microstructures*, 42, 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.spmi.2007.04.021>

Sarac, M. F., Shimpi, P., Mackey, J. A., Kim, D., & Gao, P.-X. (2010). Surface Dezincification and Selective Oxidation Induced Heterogeneous Semiconductor Nanowire/Nanofilm Network Junctions. 10, 3942–3948. <https://doi.org/10.1021/CG100486G>

Singh Bhati, V., Hojamberdiev, M., & Kumar, M. (2020). Enhanced sensing performance of ZnO nanostructures-based gas sensors: A review. *Energy Reports*, 6, 46–62. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.08.070>

Srivastava, N., & Bolse, W. (2023). Stress-driven growth of ZnO nanowires through thermal oxidation of Zinc thin films over silicon substrate. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 34(7), 1–16. <https://doi.org/10.1007/S10854-023-10059-9/FIGURES/10>

Tneh, S. S., Abu Hassan, H., Saw, K. G., Yam, F. K., & Hassan, Z. (2012). STRUCTURAL AND OPTICAL PROPERTIES OF LARGE-SCALE ZnO NANOWIRES AND NANOSHEETS PREPARED BY DRY THERMAL OXIDATION. <https://doi.org/10.1142/S0218625X09013451>, 16(6), 901–904. <https://doi.org/10.1142/S0218625X09013451>

Tonezzer, M., & Lacerda, R. G. (2010a). Integrated zinc oxide nanowires/carbon microfiber gas sensors. *Sensors and Actuators B*, 150, 517–522. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2010.09.003>

Tonezzer, M., & Lacerda, R. G. (2010b). Zinc oxide nanowires on carbon microfiber as flexible gas sensor. <https://doi.org/10.1016/j.physe.2010.11.029>

Vanaraj, R., Arumugam, B., Mayakrishnan, G., Kim, I. S., & Kim, S. C. (2023). A Review on Electrospun Nanofiber Composites for an Efficient Electrochemical Sensor Applications. *Sensors 2023, Vol. 23, Page 6705*, 23(15), 6705. <https://doi.org/10.3390/S23156705>

Waclawik, E. R., Chang, J., Ponzoni, A., Concina, I., Zappa, D., Comini, E., Motta, N., Faglia, G., & Sberveglieri, G. (2012). Functionalised zinc oxide nanowire gas sensors: Enhanced NO<sub>2</sub> gas sensor response by chemical modification of nanowire surfaces. *Beilstein J. Nanotechnol*, *3*, 368–377. <https://doi.org/10.3762/bjnano.3.43>

Wang, C., Zhang, G., Xu, Y., Chen, Y., Deng, S., & Chen, J. (2021). Fully Vacuum-Sealed Diode-Structure Addressable ZnO Nanowire Cold Cathode Flat-Panel X-ray Source: Fabrication and Imaging Application. *Nanomaterials* *2021*, Vol. 11, Page 3115, *11*(11), 3115. <https://doi.org/10.3390/NANO11113115>

Wang, L., Zhao, Y., Zheng, K., She, J., Deng, S., Xu, N., & Chen, J. (2019). Fabrication of large-area ZnO nanowire field emitter arrays by thermal oxidation for high-current application. *Applied Surface Science*, *484*, 966–974. <https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2019.04.169>

*Why Use a Custom Tube Furnace?* (n.d.). Retrieved September 18, 2023, from <https://thermcraftinc.com/why-use-a-tube-furnace/>

Wongrat, E., Chanlek, N., Chueaiarrom, C., Thupthimchun, W., Samransuksamer, B., & Choopun, S. (2017). *Acetone gas sensors based on ZnO nanostructures decorated with Pt and Nb*. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.05.296>

Wu, W.-Y., Jyh, A. E., Ting, M., Po, A. E., Huang, J., Wu, W.-Y., Ting, J.-M., & Huang, P.-J. (2009). Electrospun ZnO Nanowires as Gas Sensors for Ethanol Detection. *Nanoscale Res Lett*, *4*, 513–517. <https://doi.org/10.1007/s11671-009-9271-4>

Wu, Z., Wang, Y., Liu, X., Lv, C., Li, Y., Wei, D., Liu, Z., Wu, Z., Wang, Y., Liu, X., Lv, C., Li, Y., Liu, Z., & Wei, D. (2019). *REVIEW 1800716 (1 of 25) Carbon-Nanomaterial-Based Flexible Batteries for Wearable Electronics*. <https://doi.org/10.1002/adma.201800716>

Xu, C. H., Lui, H. F., & Surya, C. (2011). Synthetics of ZnO nanostructures by thermal oxidation in water vapor containing environments. *Materials Letters*, *65*(1), 27–30. <https://doi.org/10.1016/J.MATLET.2010.09.052>

Yang, H., Xiao, Y., Liu, K., & Feng, Q. (n.d.). *Chemical Precipitation Synthesis and Optical Properties of ZnO/SiO<sub>2</sub> Nanocomposites*. <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2008.02340.x>

Yuan, L., Wang, C., Cai, R., Wang, Y., & Zhou, G. (2013). *Temperature-dependent growth mechanism and microstructure of ZnO nanostructures grown from the thermal oxidation of zinc*. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2013.12.036>

Yuan, L., Wang, C., Cai, R., Wang, Y., & Zhou, G. (2014). Temperature-dependent growth mechanism and microstructure of ZnO nanostructures grown from the thermal oxidation of zinc. *Journal of Crystal Growth*, *390*, 101–108. <https://doi.org/10.1016/J.JCRYSGRO.2013.12.036>

Zappa, D., Comini, E., & Sberveglieri, G. (2012). Gas-sensing properties of thermally-oxidized metal oxide nanowires. *Procedia Engineering*, *47*, 430–433. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.09.176>

Zappa, D., Comini, E., & Sberveglieri, G. (2013). Thermally oxidized zinc oxide nanowires for use as chemical sensors. *IOP PUBLISHING NANOTECHNOLOGY Nanotechnology*, *24*, 444008–444016. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/24/44/444008>

Zare, M., Namratha, K., Ilyas, S., Sultana, A., Hezam, A., Sunil, L., Surmeneva, M. A., Surmenev, R. A., Nayan, M. B., Ramakrishna, S., Mathur, S., & Byrappa, K. (2022). Emerging Trends for ZnO Nanoparticles and Their Applications in Food Packaging. *ACS Food Science and Technology*, *2*, 763–781. [https://doi.org/10.1021/ACSFOODSCITECH.2C00043/ASSET/IMAGES/LARGE/FS2C00043\\_0004.JPEG](https://doi.org/10.1021/ACSFOODSCITECH.2C00043/ASSET/IMAGES/LARGE/FS2C00043_0004.JPEG)

Zhang, Y., Li, P., Huang, B., Li, Q., & Zheng, Z. (2012). Using Zn as target to fabricate ZnO coating by thermal oxidation in air on quartz substrate. *Optics Communications*, *285*(21–22), 4290–4293. <https://doi.org/10.1016/J.OPTCOM.2012.06.068>

Zhang, Y., Ram, M. K., Stefanakos, E. K., & Goswami, D. Y. (2012). Synthesis, Characterization, and Applications of ZnO Nanowires. *Journal of Nanomaterials*, *2012*, 22. <https://doi.org/10.1155/2012/624520>

Zhao, C. X., Huang, K., Deng, S. Z., Xu, N. S., & Chen, J. (2013). Investigation of the effects of atomic oxygen exposure on the electrical and field emission properties of ZnO nanowires. *Applied Surface Science*, *270*, 82–89. <https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2012.12.100>

Zhao, C. X., Li, Y. F., Zhou, J., Li, L. Y., Deng, S. Z., Xu, N. S., & Chen, J. (2013). Large-scale synthesis of bicrystalline ZnO nanowire arrays by thermal oxidation of zinc film: Growth mechanism and high-performance field emission. *Crystal Growth and Design*, *13*(7), 2897–2905. [https://doi.org/10.1021/CG400318F/ASSET/IMAGES/LARGE/CG-2013-00318F\\_0013.JPEG](https://doi.org/10.1021/CG400318F/ASSET/IMAGES/LARGE/CG-2013-00318F_0013.JPEG)

## BÖLÜM VI

# AKIŞKANLARIN REOLOJİSİ VE AKIŞ MODELLERİ

### *Rheology of Fluids and Flow Models*

**Onur Eser KÖK<sup>1</sup> & Yasin ERDOĞAN<sup>2</sup> & Hüseyin VAPUR<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>(Dr.) İskenderun Teknik Üniversitesi,  
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,  
Petrol ve Doğalgaz Müh. Bölümü, Hatay, Türkiye  
E-mail: oeser.kok@iste.edu.tr  
ORCID: 0000-0002-7061-2921

<sup>2</sup>(Doç. Dr.) Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, Türkiye  
E-mail: ysnerd@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-2314-5216

<sup>3</sup>(Prof. Dr.) Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye  
E-mail: hvapur@cu.edu.tr  
ORCID: 0000-0003-4438-3982

### 1. Giriş

Akışkanlar geçmişten günümüze bilimsel ve endüstriyel çalışmalara konu olmuşlardır. Birçok açıdan incelenmiş olup; halen akışkanlara ait birçok özellik deneysel olarak incelenmektedir. Reoloji ise akışkanların deformasyonu sonucu meydana gelen değişimleri inceleyen önemli bir kavramdır. Günümüzde ise akışkanların reolojik olarak incelenmesi ve akış esnasında meydana gelen değişikliklerin yüksek doğrulukta tahmin edilmesi için birçok çalışma yapılmaktadır. Bu sebeple farklı akışkanlar için çeşitli akış modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller genel olarak akış özelliklerini yüksek doğrulukta belirleyen eşitlikler olarak tanımlanmaktadır.

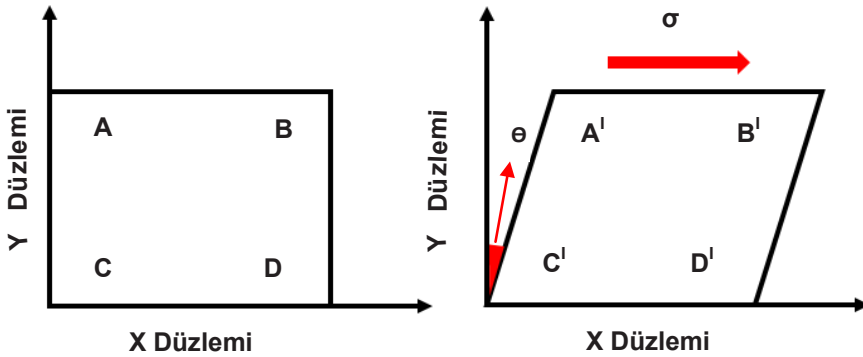
Bu çalışmada, akış türlerine ve akışkanların reolojisine detaylı olarak yer verilmiştir. Ayrıca yüksek doğrulukta tahmin imkanı sağlayan ve yaygın olarak kullanılan akış modelleri açıklanmıştır.

## 2. Reoloji Kavramı ve Akış Türleri

Reoloji kavramı, tarihte ilk kez Bingham isimli bir bilim insanı tarafından sunulmuştur. Amerikan Reoloji Birliği tarafından bir maddenin herhangi bir etki ile şekil değiştirerek deformasyona uğramasını ve bu maddenin akışkanlığını inceleyen bilim dalı olarak 1929 yılından itibaren tanımlanmaktadır (Gündüz, 2010).

Reoloji, Hooke ve Newton tarafından sunulan elastisite ve viskozite yasalarına dayanmaktadır. Bu yasalara göre bir madde üzerine uygulanan kuvvet ile maddede oluşan deformasyon doğru orantılı olarak değişmektedir. Hooke yasasına göre katı bir blok malzemeye uygulanan kuvvetin meydana getirdiği deformasyonun şematik gösterimi Şekil 1’de verilmiştir. Başlangıçta ABCD pozisyonunda duran katı blok,  $\sigma$  gerilme kuvvetine maruz kaldığında deformasyon sonucunda ise A'B'C'D' pozisyonunu almaktadır. Uygulanan gerilme kuvveti ( $\sigma$ ), gerilme açısı ( $\Theta$ ) ve rijitlik modülü ( $G$ ) parametrelerine göre değişmektedir (Mezger, 2020).

$$\sigma = G \cdot \Theta \quad (1)$$



Şekil 1. Hooke Yasası Katı Blok Deformasyonu (Harris, 1977)

Newton yasası, sıvı maddelerin viskozite özelliklerine dayanan bir yasa olup 1687 yılında geliştirilmiştir. Newton, bu yasayı birbiri üstüne binmiş tabakalar şeklinde ifade etmiş ve sıvıların akışını bu tabakaların birbirleri üzerinden kayarak hareket etmesine benzetmiştir. Bu yasa yüzey alanı  $A$  ve aralarındaki

mesafe  $d$  olarak tanımlanan iki tabaka arasından akış özelliği gösteren sıvının geçişi incelenmiştir. Üstte yer alan tabaka  $F$  kuvvetinin etkisi ile alt tabakaya bağlı olarak  $V$  hızında hareket ettiğinde zaman sonunda alttaki tabaka da bir hız kazanmaktadır. Alt tabakada meydana gelen hız, tabakalar arasındaki  $d$  mesafesi ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Bu hız değişimi ‘Kayma Hızı (Shear Rate)’ olarak adlandırılmakta, ‘ $\gamma$ ’ sembolü ve ‘ $s^{-1}$ ’ birimi ile ifade edilmektedir. Uygulanan  $F$  kuvvetine bağlı olarak ise bir gerilim kuvveti de oluşmaktadır. Bu gerilim kuvveti ‘Kayma Gerilmesi (Shear Stress)’ olarak adlandırılmakta, ‘ $\tau$ ’ sembolü ve ‘Pa,  $N/m^2$ ,  $lb/100ft^2$ ’ birimleri ile ifade edilmektedir (Yazar ve ark., 2016; Cho ve ark., 2005).

Kayma hızı ve kayma gerilmesi arasında bulunan orana basitçe ‘Viskozite’ adı verilmekte ve ‘ $\eta$ ’ sembolü ile ifade edilmektedir. Viskozite, sıvının akmaya karşı gösterdiği direncin veya içsel sürtünme direncinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Bu direnç, akış özelliği gösteren iki tabakanın ara yüzeylerinde yer alan moleküllerin birbirlerine uyguladığı kuvvetler tarafından meydana gelmektedir. Viskozite SI ve CGS olmak üzere iki birim sistemine göre ifade edilmektedir. SI birim sisteminde Pascal.saniye (Pa.s) olarak kullanılırken CGS birim sisteminde ise Poise (P) kullanılmaktadır. İki birim sistemi arasında dönüşüm yapılması gerektiğinde mili Pascal.saniye (mPa.s) ile centiPoise (cP) eşit kabul edilmektedir (Barnes ve ark., 1989; Willingham ve Shah, 2000).

Kayma hızı, kayma gerilmesi ve viskozite denklilikleri aşağıda verilmiştir.

$$\gamma = V / d \quad (2)$$

$$\tau = F / A \quad (3)$$

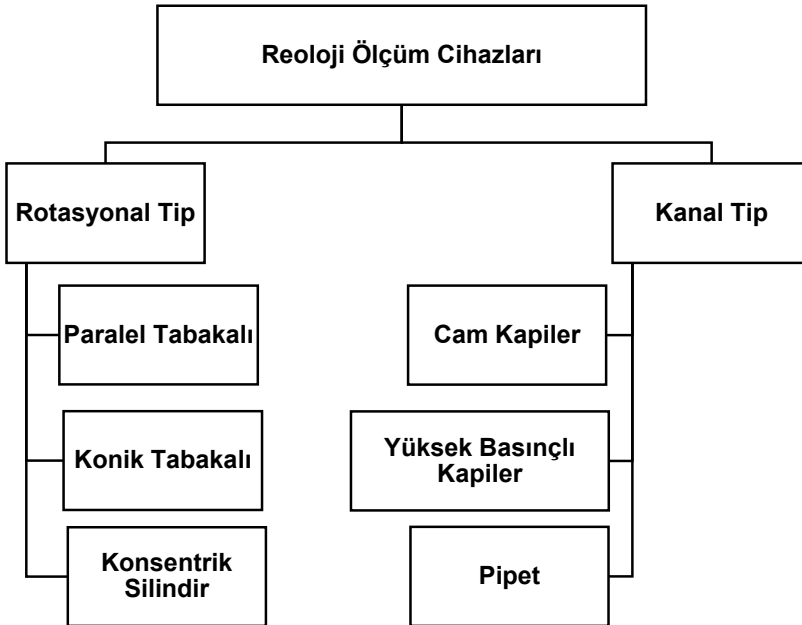
$$\eta = \tau / \gamma \quad (4)$$

Katı ve sıvı malzemeler üzerinde yapılan deneylerde sıvıların akış esnasında deformasyona uğradığı, katıların ise deformasyon esnasında bir akış meydana getirdiği belirlenmiştir. Dolayısıyla yalnızca Hooke ve Newton yasalarının yeterli olmadığı tespit edilmiştir. Bu sebeple ‘Viskoelastisite’ kavramı oluşmuştur. Viskoelastisite kavramı, Hooke ve Newton yasalarına göre meydana gelen elastik ve viskoz davranışların birlikte gerçekleştiği durum olarak tanımlanmaktadır. Viskoelastisite kavramına göre katılar uygulanan gerilme kuvvetine bağlı olarak sürekli şekil değiştirmeyen ve uygulanan gerilim sonucunda kalıcı deformasyon gösteren maddeler olarak tanımlanmaktadır. Sıvılar ise etki eden gerilim kuvvetinin büyüklüğünden bağımsız olarak sürekli

deformasyon gösteren madde olarak ifade edilmektedir (Alemdar, 2001; Tschoegl, 2012; Çinku, 2008).

Akışkan malzemelerin reoloji ölçümleri ‘Rotasyonel Tip’ ve ‘Kanal Tip’ olmak üzere iki genel sınıfa ayrılan cihazlar ile yapılmaktadır. Bu cihazlar düşük maliyetli cam kapiler viskozimetrelerden yüksek maliyetli dinamik özellikleri ile normal gerilim farklarını ölçebilen rotasyonel cihazlara kadar geniş bir aralıkta değişmektedir. Reoloji ölçümlerinde kullanılan cihazlar Şekil 2’de verilmiştir.

Rotasyonel tip cihazlar sabit açılı kayma hızlarında ya da değişken (dinamik) hızlarda çalışabilmektedir. Ayrıca kayma gerilmesi verilerinin elde edilmesini kolaylaştıran ve çok düşük kayma gerilmelerinin ölçümüne imkan sağlayan kontrollü gerilim fonksiyonları da bulunmaktadır. Dolayısıyla malzemenin daha detaylı incelenmesine ve doğruluk payı yüksek veriler elde edilmesine imkan sağlamaktadır. Rotasyonel tip cihazlarda içerisindeki malzeme yalnızca bir defa geçiş yaptığı için genel olarak zamana bağlı davranış gösteren (Non-Newtonian) akışkanlar için kullanılmaktadır. Kanal tip cihazlar ise daha düşük maliyetli olmakla birlikte genellikle daha basit reolojik ölçümler yapılabilmektedir. Kısaca, ölçüm yapılacak sıvı ve elde edilmek istenilen sonuçlara bağlı olarak kullanılacak cihaz ve uygulanacak ölçüm yöntemi değişmektedir (Gündüz, 2010; Steffe, 1996).



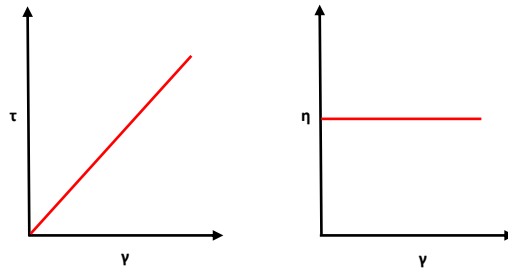
Şekil 2. Reoloji Ölçüm Cihazları (Gündüz, 2010)

Reolojik ölçümlerde kullanılan cihazların çeşitli avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Konik ve paralel tabakalı cihazlar ağırlıklı olarak orta düzeyde kayma hızlarında verimli olmaktadır. Ayrıca hesaplama konusunda oldukça basittirler. Konsentrik silindirik cihazlar ise kayma gerilmesi ve kayma hızına karşı yapısal olarak hassas olan akışkanların analizinde yüksek verimde kullanılabilir. Cam kapiler cihazlarda ise kayma hızı dinamik olduğundan dolayı Non-Newtonian tipi akışkanlara uygun olmayıp yalnızca Newton tipi akış gösteren sıvılarda kullanılabilir. Yüksek basınçlı kapiler cihazlar, oldukça fazla yüksek kayma hızlarında verimli sonuçlar vermektedir. Pipet ise oldukça düşük maliyetli olup tanecik boyutu büyük süspansiyonların ölçümlerinde kullanılmaktadır (Hyun ve ark., 2011; Irgens, 2014; Gündüz, 2010).

### 2.1. Newton Tipi (Newtonian) Akış

Newton tipi akış, kayma hızı ( $\dot{\gamma}$ ) ile kayma gerilmesi ( $\tau$ ) arasında sabit katsayı olan akışkanları temsil etmektedir. Bu akışkanların akış eğrileri Şekil 3'te verilmiştir.

Newton tipi akışkanların sabit sıcaklık ve basınç koşullarında birçok farklı özelliği bulunmaktadır. Newton tipi akış gösteren sıvıların viskozitesi kayma hızından bağımsızdır ve artan ya da azalan kayma hızı ile değişim göstermezler. Kayma hızı artarken ya da azalırken viskozite sabit kalmaktadır. Ancak kayma hızı sıfır olduğu durumlarda viskozite de sıfır değerine düşmektedir. Tekrar aynı akış koşulları sağlandığında ise viskozite eski değerlerine ulaşmaktadır. Bu durum da viskozitenin zamandan bağımsız olduğunu göstermektedir. Ne kadar farklı akış ve deformasyon koşulları uygulanırsa uygulansın kayma gerilmesi ve kayma hızı birbirleri ile orantılı bir şekilde değişim göstermektedir (Barnes ve ark., 1989; Rahman, 2018). Newton tipi akışkanlara deiyonize su, gliserin, bal türevleri ve süt gibi düşük molekül ağırlığına sahip akışkanlar örnek olarak verilebilir (Rao, 1999; Gleible ve Windhab, 1985).



Şekil 3. Newton Tipi Akışkanların Akış Eğrileri



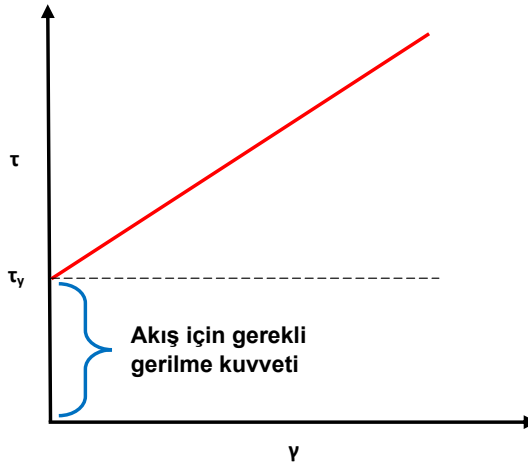
## 2.2. Newton Tipi Olmayan (Non-Newtonian) Akış

Kayma hızı ve viskozite arasındaki etkileşimler, modern ölçüm teknikleri ile birlikte detaylı olarak incelenebilmiştir. Bu sayede polimer, emülsiyon ve dispersiyon gibi çeşitli çözeltilerin kayma gerilmesi ile kayma hızları arasında sabit bir oran bulunmadığı, dolayısıyla da Newton tipi akış göstermedikleri belirlenmiştir. Kayma hızı ile kayma gerilmesi arasında lineer bir ilişki bulunmayan bu durum ‘Newton Tipi Olmayan (Non-Newtonian) Akış’ olarak tanımlanmaktadır (Barnes ve ark., 1989; Rahman, 2018).

Non-Newtonian akışlar ise plastik, pseudoplastik, kopma gerilmeli pseudoplastik, dilatant, tiksotropik ve reopektik olmak üzere aşağıda altı akış türüne ayrılmaktadır.

### 2.2.1. Plastik Akış

Plastik akış, herhangi bir etki olmayan koşullar altında katı davranış sergileyen bir non-newtonian akış türü olarak tanımlanmaktadır. Katı davranıştan akışkan forma geçebilmesi için herhangi bir gerilme kuvveti gerekmektedir. Etkiyen bu gerilme kuvvet değeri belirli bir seviyenin üzerine çıktıktan sonra akma başlamaktadır. Akmanın başlayabilmesi için gereken bu gerilme kuvveti ‘Kopma Noktası (Yield Stress)’ olarak adlandırılmakta, ‘ $\tau_y$ ’ sembolü ve ‘Pa, N/m<sup>2</sup>, dyn/cm<sup>2</sup>, lb/100ft<sup>2</sup>’ birimleri ile ifade edilmektedir (Ewoldt ve ark., 2008).



Şekil 4. Plastik Akış Reogramı

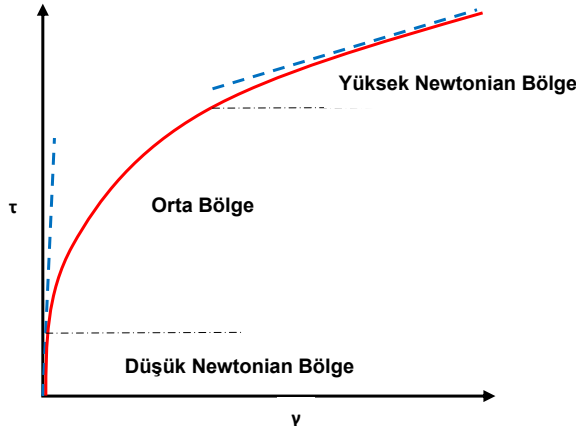
Kopma noktası, plastik özellik gösteren her akışkan için farklı değerde olmaktadır. Flokülasyon eğiliminde olan maddelerden oluşan akışkanların

kopma noktası değeri genellikle daha yüksek olmaktadır. Plastik akış davranışı gösteren bir akışkan için kopma noktası ( $\tau_y$ ) değeri aşıldıktan sonra reogram eğrisi Şekil 4'te belirtildiği gibi lineer görünüm alarak kayma hızına bağlı olarak kayma gerilmesi artış göstermektedir (Eirich, 1956; Hemphill, 2002).

### 2.2.2. Pseudoplastik Akış

Pseudoplastik akış, kayma hızının artış göstermesine rağmen viskozitenin azalma eğiliminde olduğu akış türü olarak tanımlanmaktadır. Pseudoplastik akış gösteren maddeler aynı zamanda kayma hızı artışına bağlı olarak incelen sıvı anlamına gelen 'Shear Thinning' olarak da adlandırılmaktadır. Shear thinning davranış, malzemede yer alan yapısal birimlerdeki kırılmalar ve akış süresince oluşan hidrodinamik kuvvetler ile meydana gelmektedir. Ayrıca bu akış, non-newtonian akış türleri arasında en yaygın tür olarak bilinmektedir (Rao, 1999; Alemdar, 2001). Pseudoplastik akış için boyalar, polimer çözeltileri, dispersiyonlar ve emülsiyonlar örnek olarak verilebilmektedir (Nguimatsia, 2019).

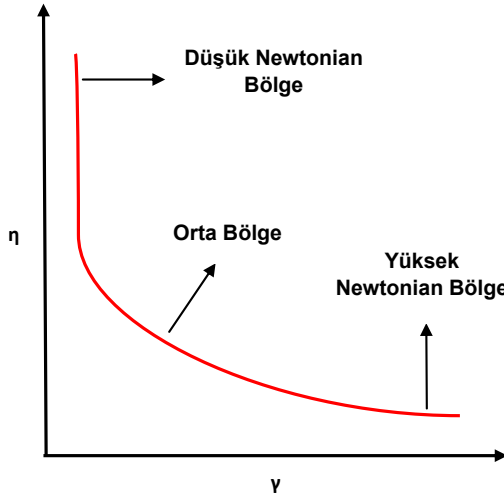
Pseudoplastik akış reogramı ve kayma hızına bağlı viskozite değişimi sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Pseudoplastik Akış Reogramı

Pseudoplastik akışlarda reogram eğrisi orjinden geçerek Y eksenine doğrultusunda konkav bir görünüm oluşturmaktadır. Bu akış türüne ait reogram eğrileri üç farklı bölgeye ayrılmaktadır. Birinci bölge 'Düşük Newtonian Bölge' olarak adlandırılmaktadır. Bu bölge, kayma hızının sıfır veya sıfıra çok yakın olduğu durumda viskozite eğiminin sabit olduğu akışı tanımlamaktadır. İkinci bölge ise 'Orta Bölge' olarak adlandırılmaktadır. Bu bölge, viskozite

eğiminin kesme hızındaki artış veya azalışlar ile sabit kalmayıp değişim gösterdiği akışı tanımlamaktadır. Üçüncü bölge ise ‘Yüksek Newtonian Bölge’ olarak adlandırılmaktadır. Bu bölge, kesme hızının sonsuza kadar gidebildiği durumlarda viskozite eğiminin kesme hızındaki artış veya azalışlardan bağımsız olarak sabit kaldığı akışı tanımlamaktadır. Bu üç bölge ise pseudoplastik akış reogramını oluşturmaktadır (Gündüz, 2010).

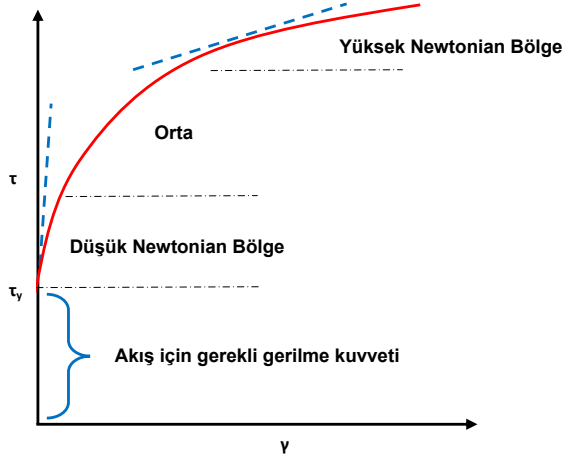


Şekil 6. Pseudoplastik Akış Viskozite Değişimi

### 2.2.3. Kopma Gerilmeli Pseudoplastik Akış

Kopma gerilmeli pseudoplastik akış, reogram eğrisinin pseudoplastik akışta olduğu gibi Y eksenine doğrultusunda konkav bir görünüm oluşturduğu akış olarak tanımlanmaktadır. Ancak pseudoplastik akıştan farklı olarak bu akış türünde durağan halden dinamik hale geçerken Kopma Gerilmesi ( $\tau_y$ ) olarak tanımlanan bir gerilme kuvveti gerekmektedir. Bu gerilme kuvvetinden sonra ise pseudoplastik akış karakteristiklerini göstermektedir (Çinku, 2008).

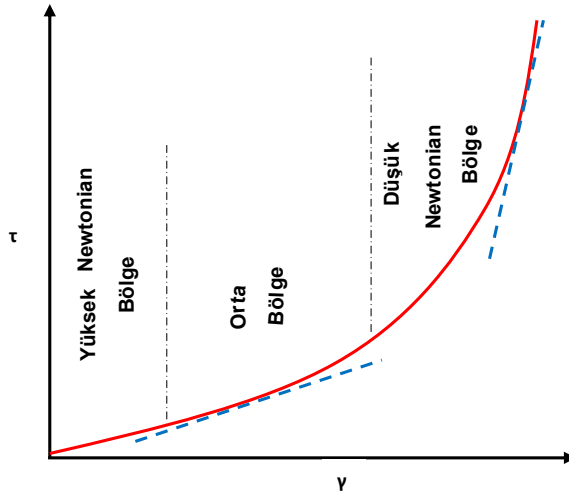
Kopma gerilmeli pseudoplastik akış gösteren bir akışkan için deformasyon, kopma gerilmesi değerinden sonra başlamaktadır. Dolayısıyla kayma gerilmesi ile incelenen bir akış özelliği gösterip kayma hızının artması ile birlikte viskozite azalmaktadır. Ayrıca kayma hızının sonsuz değere doğru artış göstermesi ile viskozite değeri sıfıra doğru azalma gösterirken kayma hızının sıfıra doğru azalması durumunda ise viskozite sonsuza doğru artmaktadır. Bu artış ve azalmalar asimtotik olarak gerçekleşmektedir (Khandavalli ve Rothstein, 2015; TPAO, 2007). Kopma gerilmeli pseudoplastik akış reogramı Şekil 7’de verilmiştir.



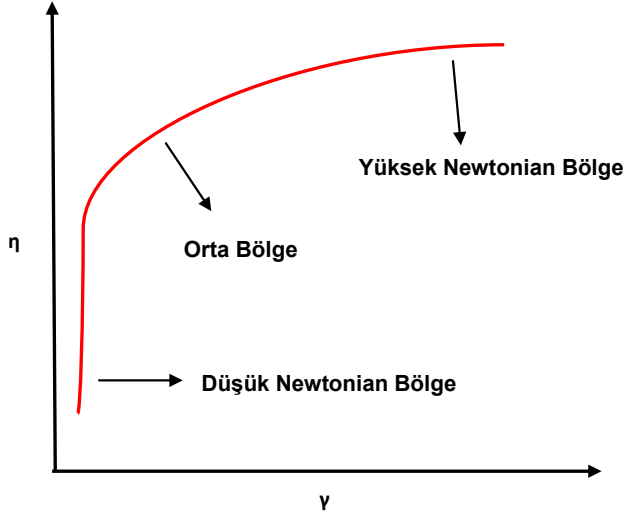
Şekil 7. Kopma Gerilmeli Pseudoplastik Akış Reogramı

#### 2.2.4. Dilatant Akış

Dilatant akış, basit olarak pseudoplastik akışın tersi olarak tanımlanabilir. Bu akış türünde kayma hızının artışı ile birlikte kayma gerilmesinde de bir artış meydana gelmektedir. Dilatant akış gösteren maddeler aynı zamanda kayma hızına bağlı olarak kalınlaşan sıvı anlamına gelen ‘Shear Thickening’ olarak da adlandırılmaktadır. Shear thickening davranış, akışkan içerisinde askıda duran partiküllerin birbirlerine çok yakın olacak şekilde dolgulaşması sonucu oluşmaktadır. Dilatant akış için kum ile su süspansiyonları ve vinil reçine örnek olarak verilebilmektedir (Çınar, 2005; Çinku, 2008; Bijjam ve ark., 2015).



Şekil 8. Dilatant Akış Reogramı



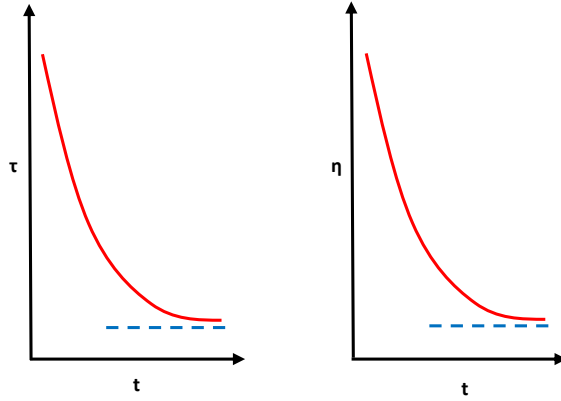
Şekil 9. Dilatant Akış Viskozite Değişimi

Dilatant akışlarda reogram eğrisi orjinden geçerek Y eksenini doğrultusunda konveks bir görünüm oluşturmaktadır. Ayrıca kayma hızına bağlı olarak viskozite de parabolik bir artış meydana getirmektedir. Dilatant akış reogramı ve kayma hızına bağlı viskozite değişimi sırasıyla Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir.

### 2.2.5. Tiksotropik Akış

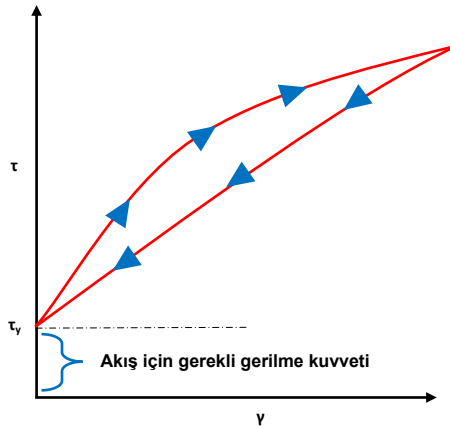
Tiksotropik akış, basitçe zamana bağlı olarak değişim gösteren non-newtonian bir akış türü olarak tanımlanmaktadır. Kayma hızının sabit olduğu durumlarda her zaman sabit bir kayma gerilmesi ve viskozite olmamakta ve zamana bağlı olarak değişmektedir. Akış için gerekli bir kuvvet uygulandığı zaman sabit kayma hızında viskozitenin artan zamana bağlı olarak azalma gösterdiği ve bu kuvvet ortadan kaldırıldığında ise akışkan yapısının başlangıç haline döndüğü akış türüne 'Tiksotropik Akış' adı verilmektedir (Murray, 1975; Çinku, 2008).

Tiksotropik akış özelliği gösteren akışkanlarda sabit kayma hızı koşullarındaki kayma gerilmeleri başlangıçta hızlı bir şekilde azalmaktadır. Geçen zaman ile birlikte bu azalma yavaşlamakta ve bir süre sonra sabit kalmaktadır. Kayma hızının sabit olduğu bu durumlarda kayma gerilme eğrisi aynı zamanda viskozite eğrisini temsil etmektedir. Dolayısıyla tiksotropik akış özelliği gösteren akışkanların viskozitesi de sabit kayma hızında zamana bağlı olarak azalma meydana getirmektedir (TPAO, 2007; Benchabane ve Bekkour, 2006).



Şekil 10. Tiksotropik Akışlarda Zamana Bağlı Değişimler

Tiksotropik akış esnasında akışkan kayma gerilmesi koşulları altında bir iç yapı oluşturmaya çalışırken aynı zamanda da deformasyona sebep olan kuvveti ortadan kaldırmaya çalışmaktadır. Yapılanma ve yıkılma olarak tanımlanan bu kavramların eşit duruma gelmesi ile birlikte bir denge durumu oluşmaktadır ve akışkan newtonian bir akış özelliği göstermektedir. Tiksotropik akışkanlarda kayma gerilmesinin artması ve azalmasına bağlı olarak elde edilen reogram eğrileri birbiri ile çakışmayarak histeri halkaları oluşturmaktadır. Bu histeri halkaları incelendiğinde, artış veya azalma göstermesi farketmeksizin kayma hızı yönüne bağlı olarak histeri halka alanlarında giderek azalma meydana gelmektedir. Denge durumunun olduğu newtonian tipi akış koşullarında ise akış eğrileri birbirleri ile çakışmaktadır (Kulkarni ve ark., 2017). Tiksotropik akışa ait zamana bağlı kayma gerilmesi ve viskozite değişimleri Şekil 10'da, tiksotropik akış reogramı ise Şekil 11'de verilmiştir.



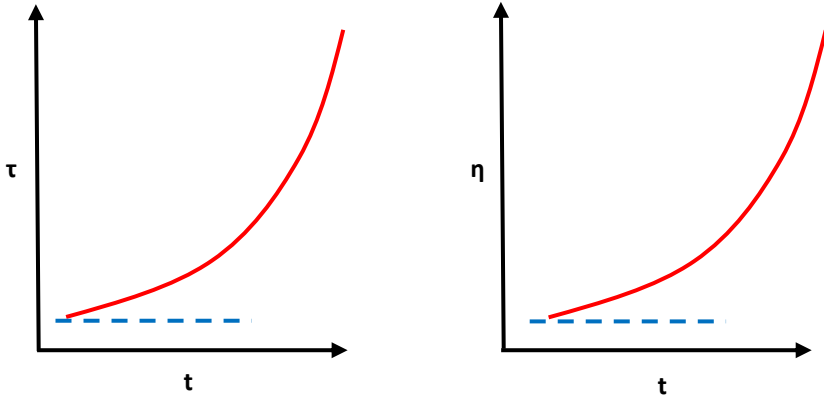
Şekil 11. Tiksotropik Akış Reogramı

Tiksotropik özellik gösteren akışkanlarda kayma hızına bağlı incelmeye (shear thinning) oluşmaktadır. Bu akışkanlar dinamik durumdan statik duruma geldiklerinde jel yapısı meydana getirirler. Akışkana kuvvet uygulayarak deformasyon meydana geldiğinde bu jel yapısı kırılarak zamana bağlı bir şekilde kararlı akış koşulları oluşmaktadır. Tiksotropik akışkanlara mayonez ve kil süspansiyonlar örnek olarak verilebilmektedir (TPAO, 2007; Mewis, 1979; Benchabane ve Bekkour, 2006).

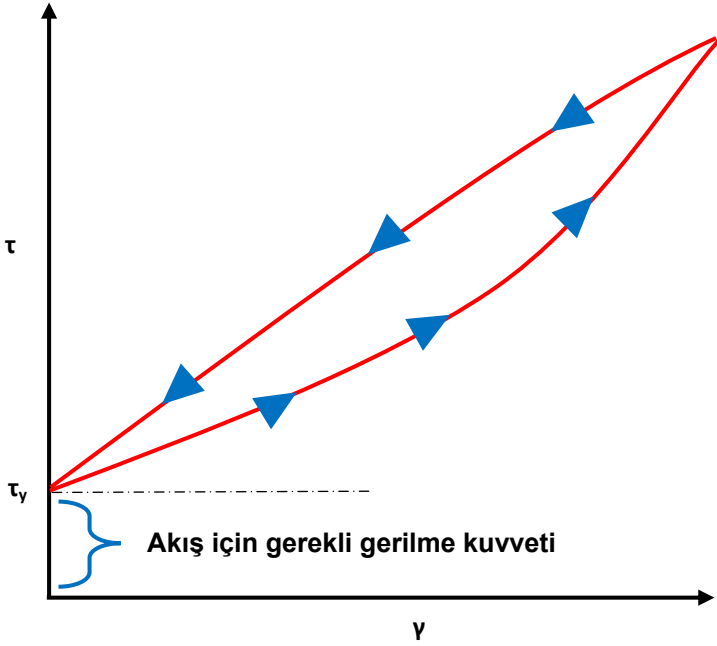
### 2.2.6. Reopektik Akış

Reopektik akış, basit olarak tiksotropik akışın tersi olarak tanımlanmaktadır. Kayma hızının sabit olduğu koşullar altında her zaman sabit bir kayma gerilmesi ve viskozite olmayıp zamana bağlı bir şekilde değişmektedir. Durağan halden dinamik hale geçebilmesi için gerekli kuvvet uygulandığında, kısaca akış başladığında, sabit kayma hızında viskozitenin giderek artış gösterdiği ve bir süre sonunda denge konumuna ulaşarak newtonian akış özelliği gösterdiği akış türü 'Reopektik Akış' olarak tanımlanmaktadır (Malkin, 2013; Gündüz, 2010).

Reopektik akış türünde, tiksotropik akışkanlara benzer şekilde kayma gerilmesinin artması ve azalmasına bağlı olarak elde edilen reogram eğrileri birbiri ile çakışmayarak histeri halkaları oluşturmaktadır. Ancak tiksotropik akış özelliklerinin tersine, reopektik akışlarda kayma hızının artması ile birlikte kayma gerilmesinde azalma meydana gelmektedir. Kayma hızının azaldığı durumlarda ise kayma gerilmesinde bir artış meydana gelmektedir. Kayma hızının sabit olduğu bu durumlarda kayma gerilme eğrisi aynı zamanda viskozite eğrisini temsil etmektedir. Kayma hızının arttığı ve azaldığı durumlarda ise histeri halkalarının alanlarında azalma meydana gelmektedir. Denge şartlarının olduğu kararlı akış koşullarında ise iki yönde yer alan akış eğrileri birbirleri ile çakışmaktadır (TPAO, 2007). Reopektik akışa ait zamana bağlı kayma gerilmesi ve viskozite değişimleri Şekil 12'de verilmektedir. Ayrıca reopektik akış reogramı ise Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 12. Reopektik Akışlarda Zamana Bağlı Değişimler



Şekil 13. Reopektik Akış Reogramı

### 3. Reolojik Akış Modelleri

Reoloji ve akış geçmişten günümüze birçok araştırmacının ilgi odağı olmuştur. Farklı tür ve yapıdaki çok sayıda akışkan için incelemeler yapılmış olup bilim insanları tarafından farklı tanımlamalar yapılmıştır. Zaman, kayma hızı, akışkan yapısı ve ortam koşulları gibi parametrelere bağlı olarak akışkanların



reolojisi incelenmiştir. Çok sayıda bilim insanı tarafından genel bir akış tanımı yapılmaya çalışılmış ve bu amaçla reolojik modeller oluşturulmuştur (Ettehadı ve ark., 2022; Dealy ve Wissbrun, 2012). Bu modellerin ise neredeyse tamamı matematiksel bir eşitlik ile ifade edilmiştir. Geçmişten günümüze çok sayıda reolojik akış modeli tanımlanmış olsa da aşağıda verilen modeller diğerlerine kıyasla daha fazla kabul göreberek bilimsel çalışmalarda kullanılmıştır (Altun ve Serpen, 2005).

- Newton Model
- Bingham Plastik Model
- Power Law Model
- Herschel-Bulkley Model
- Casson Model
- Robertson-Stiff Model

### 3.1. Newton Model

Newton model (NM), newtonian akışkanları temsil etmekte olup genel akış kavramının temelini ifade etmektedir. Kayma gerilmesi ile kayma hızı arasında lineer bir değişim ve sabit viskozite değeri bulunmaktadır.

Kayma gerilmesi ( $\tau$ ) (Pa ya da lb/100ft<sup>2</sup>), kayma hızı ( $\gamma$ ) (s<sup>-1</sup>) ve görünür viskozite ( $\mu_a$ ) (cP ya da mPa.s) parametrelerine bağlı model, Eşitlik 5'te verilmiştir. Ayrıca görünür viskozite ( $\mu_a$ ) hesaplanabilmesi için Eşitlik 6'da verilen denklem kullanılmaktadır.

$$\tau = \mu_a \cdot \gamma \quad (5)$$

$$\mu_a = \frac{\theta_{300}}{478,8} \quad (6)$$

### 3.2. Bingham Plastik Model

Bingham E.C. tarafından 1922 yılında geliştirilen Bingham Plastik model (BPM), zamandan bağımsız bir akış için gerekli olan kuvvet (kopma noktası,  $\tau_y$ ) sonrası kayma gerilmesi ve kayma hızı arasındaki doğrusal ilişkiyi ifade etmektedir (Bingham, 1922; Vikan ve ark., 2007; Thakur ve ark., 2016).

Kayma gerilmesi ( $\tau$ ) (Pa ya da lb/100ft<sup>2</sup>), kayma hızı ( $\gamma$ ) (s<sup>-1</sup>), kopma noktası ( $\tau_y$ ) (Pa ya da lb/100ft<sup>2</sup>) ve plastik viskozite ( $\mu_p$ ) (cP ya da mPa.s) parametrelerine bağlı model, Eşitlik 7'de verilmiştir. Plastik viskozite ( $\mu_p$ ) ve kopma noktası ( $\tau_y$ ) ise sırasıyla Eşitlik 8 ve Eşitlik 9'da verilen denklemler ile hesaplanmaktadır.

$$\tau = \tau_y + \mu_p \cdot \gamma \quad (\tau > \tau_y) \quad (7)$$

$$\mu_p = \theta_{600} - \theta_{300} \quad (8)$$

$$\tau_y = \theta_{300} - \mu_p \quad (9)$$

### 3.3. Power Law Model

Ostwald de Waale tarafından geliştirilen Power Law model (PLM), zamandan bağımsız bir akış için non-newtonian akış özelliği gösteren bir akışkanın kayma hızı ile kayma gerilmesi arasındaki ilişkinin üstel olarak değişimini ifade etmektedir. Bu model pseudoplastik akışın bir tanımı olup akışın başlaması için gerekli bir gerilme kuvveti (kopma noktası) gerektirmemektedir (Bezerril ve ark., 2006; Coussot, 2005).

Kayma gerilmesi ( $\tau$ ) (Pa ya da lb/100ft<sup>2</sup>), kayma hızı ( $\gamma$ ) (s<sup>-1</sup>), kıvam indeksi (k) (Pa.s<sup>n</sup>) ve akış davranış indeksi (n) (birimsiz) parametrelerine bağlı model, Eşitlik 10'da verilmiştir. Kıvam indeksi (k) ve akış davranış indeksinin (n) hesaplanması sırasıyla Eşitlik 11 ve Eşitlik 12'de verilmiştir.

$$\tau = k \cdot \gamma^n \quad (10)$$

$$k = \frac{1,068 \times \theta_{300}}{511^n} \quad (11)$$

$$n = 3,32 \times \log \left( \frac{\theta_{600}}{\theta_{300}} \right) \quad (12)$$

Power Law modelin akışkanların reolojisini tanımlamak amacıyla kullanılabilmesi için bazı koşulların sağlanması gerekmektedir. Yüksek verimlilikte bir reoloji eğrisi belirlenebilmesi için kıvam indeksinin sıfırdan büyük ( $k > 0$ ) olması; akış davranış indeksinin ise sıfır ile bir aralığında ( $0 < n < 1$ ) olması gerekmektedir. ' $n < 1$ ' olduğu koşullarda kayma hızının artışına bağlı olarak incelen sıvı anlamına gelen 'Shear Thinning' akış özelliği göstermektedir. ' $n = 1$ ' olduğu durumlarda kıvam indeksi viskoziteye eşit olmakta ve newtonian akış davranışı sergilenmektedir. ' $n > 1$ ' koşullarında ise kayma hızının artışına bağlı olarak kalınlaşan sıvı anlamına gelen 'Shear Thickening' akış özelliği göstermektedir (Vikan ve ark., 2007).



### 3.5. Casson Model

Casson model (CM), 1959 yılında Casson N. Tarafından geliştirilen iki parametrelili bir akış modeli olup; kayma gerilmesi ( $\tau$ ) ve kayma hızı ( $\gamma$ ) arasında lineer ilişki bulunmayan plastik akışkanların reolojisini ifade etmektedir (Casson, 1959). Bu modelin tanımladığı akış türlerinde, akışın başlayabilmesi için gereken bir kopma noktası değeri bulunmaktadır. Newton ve Bingham Plastik modellere kıyasla daya yüksek doğrulukta sonuç veren CM, petrol ve doğalgaz endüstrisinde yaygın kullanım alanına sahiptir (Casson, 1959; Nazeer ve ark., 2021; Coussot, 2005; Wanneng ve ark., 1986).

Kayma gerilmesi ( $\tau$ ) (Pa ya da lb/100ft<sup>2</sup>), kayma hızı ( $\gamma$ ) (s<sup>-1</sup>), kopma noktası ( $\tau_y$ ) (Pa ya da lb/100ft<sup>2</sup>) ve viskozite ( $\mu_c$ ) (cP ya da mPa.s), parametrelerine bağlı model, Eşitlik 14'te verilmiştir.

$$\tau^{1/2} = \tau_y^{1/2} + \mu_c^{1/2} \cdot \gamma^{1/2} \quad (14)$$

### 3.6. Robertson-Stiff Model

Robertson-Stiff model (RSM), ilk kez 1976 yılında Robertson R.E. ve Stiff H.A. tarafından kullanılmış olup; kopma gerilmeli pseudoplastik akışkanları ifade eden üç parametrelili bir reolojik akış modeli olarak tanımlanmaktadır (Robertson ve Stiff, 1976). Power Law modelin mühendislik uygulamalarına uygun olacak şekilde analitik olarak geliştirilmesi ile elde edilen bu model, boru içerisinde akış sağlayan akışkanların kayma gerilmesi ( $\tau$ ) ile kayma hızı ( $\gamma$ ) arasındaki ilişkiyi tanımlayabilmek için geliştirilmiş ve Eşitlik 15'te verilmiştir (Robertson ve Stiff, 1976; Nguimatsia, 2019; Kelessidis ve Maglione, 2006).

$$\tau = A \cdot (\gamma + C)^B \quad (15)$$

Eşitlik 15'te verilen model, Power Law modelin matematiksel olarak geliştirilmesiyle elde edilmiştir. Model denkleminde yer alan 'A' parametresi kıvam indeksi (k), 'B' parametresi ise akış davranış indeksi (n) ile benzerlik göstermektedir. 'C' parametresi ise düzeltilmiş kayma hızını ifade etmektedir. Model denkleminde yer alan ' $\gamma + C$ ' parametresi ise efektif kayma hızı olarak tanımlanmaktadır. Power Law modelin ifade ettiği akış türlerinde yer alan kayma hızı değerine eşdeğer kabul edilmektedir. Ayrıca model denkleminde yer alan 'C' parametresi Eşitlik 16'dan elde edilmektedir (Robertson ve Stiff, 1976).

$$C = \frac{(Y_{\min} \cdot Y_{\max}) - Y_{\text{ort}}^2}{2 \cdot Y_{\text{ort}} - Y_{\min} - Y_{\max}} \quad (16)$$

Robertson-Stiff model, aşağıda verilen özel koşullar altında çeşitli reolojik akış modellerine indirgenmektedir (Adewale ve ark., 2017; Elkatatny ve ark., 2016).

- $B=1, C=0$       Newton Model
- $B=1, C \neq 0$       Bingham Plastik Model
- $B \neq 1, C=0$       Power Law Model

### 3.7. Diğer Reolojik Modeller

Kil mineralleri ile oluşturulan süspansiyonların akış özelliklerini incelemek için farklı reolojik modeller geliştirilmiştir. Aşağıda verilen modeller, diğerlerine kıyasla daha az kullanım alanına sahiptir. Ayrıca nispeten daha düşük doğrulukta reolojik tahmin sonuçları vermektedir (Bui ve Tütüncü, 2016; Sisko, 1958; Tanveer ve ark., 2017; Kanin ve ark., 2021).

- Prandtl-Eyring Model       $\tau = A \cdot \sin(h)^{-1} \cdot (\gamma/B)$
- Collins-Graves Model       $\tau = (\tau_y + k \cdot \gamma^n) \cdot (1 - e^{-\beta\gamma})$
- Sisko Model       $\tau = A \cdot \gamma + B \cdot \gamma^C$
- Gelişmiş Herschel-Bulkley Model       $\tau = \tau_y + k \cdot \gamma^n + \mu_\infty \cdot \gamma$
- Hyperbolic Model       $\tau = \tau_y + \frac{\gamma}{A+B \cdot \gamma}$
- Carreau-Gahleitner Model       $\tau = (\sqrt{\tau_y} + \sqrt{\mu_c \cdot \gamma})^A$
- Gücüyener Model       $\tau = \sqrt[m]{\tau_y + \mu_G \cdot \sqrt{\gamma}}$

## 4. Sonuç

Yapılan çalışma ile farklı akış türleri ile reolojik akış özellikleri ve akış modelleri detaylı olarak açıklanmıştır. Ayrıca akış türlerinin kayma hızı ve kayma gerilmesi arasındaki ilişki ifade edilmiştir. Akış modelleri ve model parametreleri incelenmiş olup; model tahmini yapılacak olan akış modelinin parametreleri verilmiştir. Bilimsel ve sektörel olarak akışkanlar ve reolojik özellikleri ile ilgili faaliyetler için kaynak oluşturması amaçlanmaktadır.

## Bilgilendirme

Bu çalışma, ilk yazarın Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı kapsamında tamamlanan doktora tezinden hazırlanmıştır.

## Kaynaklar

Adewale F.J., Lucky A.P., Oluwabunmi A. P., and Boluwaji E.F., 2017. Selecting the Most Appropriate Model for Rheological Characterization of Synthetic Based Drilling Mud. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(18): 7614-7629.

Albattat, R., and Hoteit, H., 2019. Modeling Yield-Power-Law Drilling Fluid Loss in Fractured Formation. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 182:106273.

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

Altun, G., and Serpen, U., 2005. Investigating Improved Rheological and Fluid Loss Performance of Sepiolite Muds Under Elevated Temperatures. *Proceedings World Geothermal Congress*.

Barnes H.A., Hutten J.F., Walters K., 1989. *An Introduction to Rheology*. Elsevier Science.

Benchabane, A., and Bekkour, K., 2006. Effects of Anionic Additives On The Rheological Behavior Of Aqueous Calcium Montmorillonite Suspensions. *Rheologica Acta*, 45(4): 425–434.

Bezerril, L. M., de Vasconcelos, C. L., Dantas, T. N. C., Pereira, M. R., and Fonseca, J. L. C., 2006. Rheology of Chitosan-Kaolin Dispersions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects*, 287(1-3), 24-28.

Bijjam, S., Dhiman, A., and Gautam, V., 2015. Laminar Momentum and Heat Transfer Phenomena of Power-Law Dilatant Fluids Around an Asymmetrically Confined Cylinder. *International Journal of Thermal Sciences*, 88:110-127.

Bingham, E. C., 1922. *Fluidity and Plasticity*. Mc Graw-Hill Book Co., New York.

Bui, B., and Tütüncü, A., 2016. A Generalized Rheological Model for Drilling Fluids With Cubic Splines. *SPE Drilling and Completion Journal*, 26-39.

Casson, M., 1959. *The Rheology of Disperse Systems*. Pergamon Press, London.

Cho, K. S., Hyun, K., Ahn, K. H., and Lee, S. J., 2005. A Geometrical Interpretation of Large Amplitude Oscillatory Shear Response. *Journal of Rheology*, 49(3):747–758.

Coussot, P., 2005. *Rheometry of Pastes, Suspensions and Granular Materials*. Wiley- Interscience, New Jersey, 161s.

Çınar, M., 2005. Sepiyolit Reolojik Özelliklerinin Belirlenmesi Ve Su Bazlı Sepiyolit Üretimi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Doktora tezi, İstanbul, 214 s.

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

Dealy, J. M., and Wissbrun, K. F., 2012. *Melt Rheology and its Role in Plastics Processing: Theory and Applications*. Springer Science & Business Media.

Dye, W., Hemphill, T., Gusler, W., and Mullen, G., 2001. Correlation of Ultra-low Shear Rate Viscosity and Dynamic Barite Sag in Invert-Emulsion Drilling Fluids. *SPE Drilling and Completion Journal*, 27-34.

Eirich, F.R., 1956. *Rheology, Theory and Applications*. Academic Press, New York.

Elkatatny S., Tariq Z., and Mahmoud M., 2016. Real Time Prediction Of Drilling Fluid Rheological Properties Using Artificial Neural Networks Visible Mathematical Model (White Box). *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 146: 1202-1210.

Ettehadı, A., and Altun, G., 2018. Functional and Practical Analytical Pressure Surges Model Through Herschel Bulkley Fluids. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 171: 748-759.

Ettehadı, A., Ülker, C., and Altun, G., 2022. Nonlinear Viscoelastic Rheological Behavior of Bentonite and Sepiolite Drilling Fluids Under Large Amplitude Oscillatory Shear. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 208:109210.

Ewoldt, R. H., Hosoi, A. E., and McKinley, G. H., 2008. New Measures for Characterizing Nonlinear Viscoelasticity in Large Amplitude Oscillatory Shear. *Journal of Rheology*, 52(6): 1427–1458.

Gleible, W., and Windhab, E., 1985. The “Twin Capillary” a Simple Device to Separate Shear- and Slip-Flow of Fluids. *Experiments in Fluids*, 3(3): 177-180.

Goodwin, J. W., Hughes, R. W., 2000. *Rheology for Chemists*. Cambridge, 215 s.

Güçüyener, I. H., 2015. *Basic Properties of Drilling Fluids*. Middle East Technical University.

Gündüz, Z., 2010. Kaolinit/Silikon Yağı Pastalarının Reolojik Özelliklerinin Araştırılması. Balıkesir Üniversitesi, Doktora Tezi, Balıkesir, 244 s.

Harris, J., 1977. Rheology and non-Newtonian Flow. Longman, London.

Hemphill, T., 2002. Low Shear Rate Rheology: Clarifying Muddied Water.

Herschel, W.H., and Bulkley, R., 1926. Konsistenz-Messungen Von Gummi-Benzollösungen. Kolloid Z. 39: 291–300.

Hyun, K., Wilhelm, M., Klein, C. O., Cho, K. S., Nam, J. G., Ahn, K. H., Lee, S. J., Ewoldt, R. H., and McKinley, G. H., 2011. A Review of Nonlinear Oscillatory Shear Tests: Analysis and Application of Large Amplitude Oscillatory Shear (LAOS). Progress in Polymer Science, 36(12):1697–1753.

Irgens, F., 2014. Rheology and Non-Newtonian Fluids, Vol. 190. Springer.

Kanin, E. A., Dontsov, E. V., Garagash, D. I., and Osipov, A. A., 2021. A Radial Hydraulic Fracture Driven By a Herschel–Bulkley Fluid. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 295:104620.

Kelessidis V.C., and Maglione R., 2006. Modeling Rheological Behavior of Bentonite Suspensions as Casson and Robertson–Stiff Fluids Using Newtonian And True Shear Rates in Couette Viscometry. Powder Technology, 168: 134-147.

Khandavalli, S., and Rothstein, J. P., 2015. Large Amplitude Oscillatory Shear Rheology of Three Different Shear-Thickening Particle Dispersions. Rheologica Acta, 54(7):601–618.

Kulkarni, S. D., Williams, R., Livanec, P. W., Jamison, D. E., and Kohlt, T. F., 2017. Designing Low-ECD Drilling Fluids for Superior Hydraulics and Sag Performance: A Rheological Approach. SPE Annual Technical Conference and Exhibition.

Madlener, K., Frey, B., and Ciezki, H., 2009. Generalized Reynolds Number for Non-Newtonian Fluids. Progress in Propulsion Physics, 1: 237-250.

Malkin, A. Y., 2013. Non-Newtonian Viscosity In Steady-State Shear Flows. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 192:48-65.

Merlo, A., Maglione, R., and Piatti, C., 1995. An Innovative Model For drilling Fluids Hydraulics. SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference, s.77-93.

Mewis J., 1979. Thixotropy-A General Review. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 6(1): 1-20.

Mezger, T., 2020. The Rheology Handbook. Vincentz Network.

Murray H. H., 1975. Applied Rheology, Proceedings Of The Porcelain Enamel Institute, Technical Forum, 40: 855-892.



Nazeer, M., Hussain, F., Hameed, M. K., Khan, M. I., Ahmad, F., Malik, M. Y., and Shi, Q. H., 2021. Development of Mathematical Modeling of Multi-Phase Flow of Casson Rheological Fluid: Theoretical Approach. *Chaos, Solitons & Fractals*, 150:111198.

Nguimatsia J.D., 2019. Determining Parameters Of Rheological Models By The Method Of Least Squares. Istanbul Technical University, M.Sc. Thesis, İstanbul, 115 s.

Rahman K.M., 2018. Analysis of Drilling Fluid Rheology & Pressure Drop Modelling to Improve Drilling Efficiency. University of Calgary, M.Sc. Thesis, Calgary, 55 s.

Rao, M. A., 1999. Rheology of Fluid and Semisolid Foods. Aspen Publishers, Gaithersburg, Maryland.

Robertson R.E., and Stiff H.A., 1976. An Improved Mathematical Model for Relating Shear Stress to Shear Rate in Drilling Fluids and Cement Slurries. *Society of Petroleum Engineers Journal*, 31-36.

Sisko, A. W., 1958. The Flow Of Lubricating Greases. *Industrial & Engineering Chemistry*, 50(12): 1789-1792.

Steffe, J. F., 1996. Rheological Methods in Food Process Engineering. Freeman Press: East Lansing.

Tanveer, A., Hayat, T., Alsaedi, A., and Ahmad, B., 2017. On Modified Darcy's Law Utilization in Peristalsis Of Sisko Fluid. *Journal of Molecular Liquids*, 236: 290-297.

Thakur, P., Mittal, S., Tiwari, N., and Chhabra, R. P., 2016. The Motion of a Rotating Circular Cylinder in a Stream of Bingham Plastic Fluid. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 235: 29-46.

TPAO Araştırma Merkezi Daire Başkanlığı Sondaj Teknolojisi Müdürlüğü, 2007. Sondaj Akışkanları Teknolojisi (Lignosülfonat Çamuru). Ankara, 105 s.

Tschoegl, N. W., 2012. The Phenomenological Theory of Linear Viscoelastic Behavior: An Introduction. Springer Science & Business Media.

Vikan, H., Justnes, H., Winnefeld, F., and Figi, R., 2007. Correlating Cement Characteristics With Rheology Of Paste. *Cement and Concrete Research*, 37(11):1502-1511.

Wanneng, S., Jianping, C., and Zhenxue, L. 1986. Comparison of Rheological Models in High Shear Rate Range and Experimental Relationship Between Penetration Rate and High Shear Viscosities. Beijing: Society of Petroleum Engineers.

Willingham, J. D., and Shah, S. N., 2000. Friction Pressures of Newtonian and Non-Newtonian Fluids in Straight and Reeled Coiled Tubing. SPE/ICoTA Coiled Tubing Roundtable.

Yazar, G., Duvarci, O., Tavman, S., and Kokini, J. L., 2016. Non-Linear Rheological Properties Of Soft Wheat Flour Dough At Different Stages Of Farinograph Mixing. *Applied Rheology*, 26(5): 1–11.



## BÖLÜM VII

# GÜNEŞ PANELİ TEMİZLEME SİSTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI

### *Research of Solar Panel Cleaning Systems*

**Emrah ÜSTÜNDAĞ<sup>1</sup> & Fatih Onur HOCAOĞLU<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>(Araştırmacı) Afyon Kocatepe Üniversitesi,

E-mail: [ustundag\\_emrah@hotmail.com](mailto:ustundag_emrah@hotmail.com)

ORCID: 0000-0001-6183-6133

<sup>2</sup>(Prof. Dr.) Afyon Kocatepe Üniversitesi,

E-mail: [fohocaoglu@gmail.com](mailto:fohocaoglu@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-3640-7676

### 1. Giriş

Gittikçe artan enerji ihtiyacı ve tüketimi, fosil kaynaklardan elde edilen enerjinin hava kirliliği ve akabinde küresel ısınmayı tetiklemesi sonucu enerji arzının yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimini arttırmıştır. Temiz, sürdürülebilir enerji olarak ülkemizde ve dünyada güneşten elektrik enerjisi üreten fotovoltaik sistemler hızla çoğalmaktadır. Günümüz itibari ile ülkemizde güneşten üretilen elektriğin kurulu gücü 9 GW seviyelerine ulaşarak toplam kurulu gücün %9'una tekabül etmektedir. ([www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr)) Türkiye güneşlenme süresi 2741 saat/yıl ve yıllık ulaşan enerji 1527 kWh/m<sup>2</sup> olarak önemli güneş potansiyeline sahiptir. (Yolcan ve Köse, 2020)

Şebekeye bağlı veya bağımsız olarak kurulan güneş enerji santrallerinde kullanılan panellerin verimliliğini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. İmalat aşamasında oluşturulan fotovoltaik verimlilik koşullarının yanında, tesis ve işletme koşullarında da panellerden maksimum verim almak önemlidir. Tesis edilirken kullanılacak maksimum güç noktası izleyicileri, gölgeleme durumlarında bypass diyotları panellerden elde edilen elektrik enerjisini en yüksek seviyeye ulaştırmaktadır. Bunun yanında işletme durumunda bu

cihazların bakımı yanında panellerin çevresel koşullara karşı temizliği büyük önem arz etmektedir. Kırbıyık (2023) bir güneş enerji santralinde (GES) verimi etkileyen faktörleri çevresel faktörler, sistemsel faktörler, ışınım ve yansıma kayıpları, tozlanma ve karlanma kayıpları ve gölgelenme kayıpları (Şekil 1.) olarak özetlemektedir.



**Şekil 1.** Gölgeleme Kayıplarına Maruz Kalan Güneş Paneli (Kırbıyık, 2023)

Güneş paneli yüzeyine gelen güneş ışınımının panel yüzeyinin kirlenmesi sebebi ile fotovoltaik hücrelere nüfuz etmesi azalmaktadır. Atmosferde oluşan toz parçacıkları, kuş pislikleri, kar gibi dış etkenler panellerden elde edilen verimi düşürmektedir. (Xu vd., 2020) Bu sebepten panel yüzeylerinin periyodik olarak veya saydamlık azalması durumunda temizlenmesi gerekmektedir. Günümüzde güneş enerji santrallerinde bu işlem yılda 2 veya 4 sefer manuel veya yarı otomatik sistemler ile yapılmaktadır.

## 2. Kirliliğin Güneş Enerji Sistemlerine Etkisi

Geleceğin en büyük konuları başında gelen karbon emisyonunu azaltacak önlemlerin başında güneş enerjisinden maksimum fayda sağlamak gelmektedir. Arazi veya çatı uygulamaları olarak karşılaştığımız Fotovoltaik(FV) güç santrallerinden elektrik üretimi devletlerin teşvikleri ile hızla artmaktadır. Bu tesislerde kullanılan paneller kasa, solar hücreler ve hücrelere güneş ışınımının geçişini sağlayan temperli cam plakalardan oluşmaktadır. Panel yüzeyinde bulunan camın toz ile kaplanması sonucu arazi ve meteorolojik koşullara göre %40'lere varan kayıplar oluşmaktadır. Panel yüzeyinin bu tabakadan arındırılması süreci uzadığında kayıplar daha da artmaktadır.

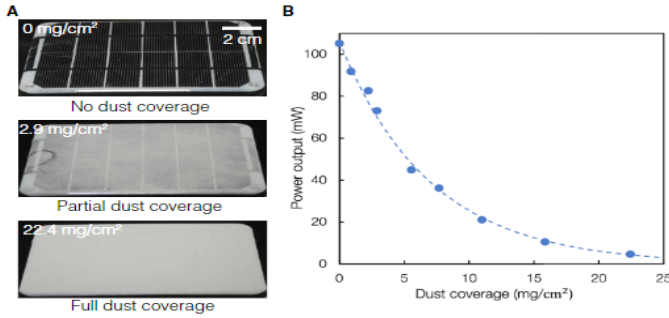
Panellerden alınan verimin zamana bağlı olarak kirlenen panel yüzeyinde zamanla düştüğü gözlemlenmiştir. Christian vd. (2015) Almanya Freiburg'da

kurulan güneş panellerinin 5 aylık bir süre içerisinde doğal olarak kirlenmesi sonucu %20 civarında kaybın oluştuğunu belirtmektedir. Benghanem vd. (2018) günlük temizlenen panel ile temizlenmeyen paneli çöl arazilerinde test etmişler 2 ay sonra temizlenmeyen panelde %28 verim kaybı gözlemlemişlerdir. Mostefaoui vd. (2019) Cezayir Sahara Çölü yakınlarında kurulan panellerde 6 ay içerisinde elektrik üretiminin %32 civarında düştüğünü gözlemlemiştir.



**Şekil 2.** Arazide Kurulu Güneş Enerji Santrali

MIT üniversitesinde yapılan araştırmada 2030 yılında dünyada enerji üretiminin %10'u güneş panellerinden sağlanacağı tahmin edilmektedir. (Panat ve Varanasi, 2022) Yapılan deneyde panel temizliğinin önemine değinerek laboratuvar koşullarında, yapay olarak tozlandırılan panelin üretim değerleri, toz miktarına göre karşılaştırılmıştır. (Şekil-3) Buna göre santimetrekarede 25 mg'lık toz kütlelerinin panel üretimini neredeyse durdurduğu sonucuna varılmıştır.



**Şekil 3.** Panel üzerinde biriken tozun panel çıkış gücüne etkisi. (Panat ve Varanasi, 2022)

### 3. Panel Temizleme Yöntemleri

Yenilenebilir enerji kaynaklarından özellikle güneş panellerinden enerji üretimi temiz ve sürdürülebilir dünya için gittikçe artan ilgiye sahiptir. Zamanla tozlanan güneş panellerinden maksimum fayda sağlanabilmesi için uygun temizleme yöntemleri ile temizlenmesi gerekmektedir. Çatıya kurulu santrallerde proje aşamasında temizleme işlemi için alan düşünülmemekte ya da düşünüldüğü durum çatıya daha az miktarda panel kurulmasına sebep olmaktadır. İnsan gücü ile yapılacak temizleme işlemi, zaman alıcı ve insan hayatını tehlikeye düşürebilecek bir yöntemdir. Piyasada çok sayıda panel temizleme sistemi mevcuttur ancak bu sistemlerin çoğunluğu manuel olarak sistem üzerine yerleştirilmekte ve çalıştırılmaktadır. Diğer taraftan özellikle çatı sistemlerinde yer kısıtı nedeniyle temizleme sistemlerinin kurulumu zorlaşmaktadır. Yerleştirilecek olan makineler ise vinç vb. yardımı ile çatılara yerleştirilmekte, dolayısı ile bir temizleme işleminin dahi maliyetini arttırmaktadır. Bu sebeplerden panel temizliği geri planda kalmakta, dolayısı ile sistemden alınan verim düşmektedir.

Panel temizliğinde uygun teknik ve malzemeler kullanımı önemli bir husustur. Ayrıca temizleme işlemi esnasında istenmeyen gerilimlere dikkat edilmelidir. İletkenliği az olan karbon fiber uzatma boruları ile iyonize olmayan saf su ile yapılan temizlemelerde kirliliğin arındırılması daha verimli olmaktadır. FV panellerin temizliği yapılırken cam üzerinde yürünmemelidir. Paneller üzerine yapılan baskılarda gözle görülmeyen kılcal çatlaklar oluşabilmektedir. Bu çatlaklarda toplanan yağmur, kar veya temizleme işlemi için kullanılan su, santralde verim kayıplarına yol açmaktadır. Abdolzadeh vd. (2009) biriken toz temizliğini sadece su pompası kullanarak yaparken aynı zamanda panellerin aşırı sıcaklık artışı da önleyerek %3.25 civarında verim artışı sağlamışlardır. Patil vd. (2017) yaptığı çalışmada fırça içeren susuz ya da çok az suyla çalışan temizleme sistemlerinin daha verimli olduğunu belirtmişlerdir.

Günümüzde panel temizleme araçları incelendiğinde insan gücüne ihtiyaç duyan, yarı otomatik veya tam otomatik sistemler ve su kullanılmadan yapılan temizlemeler olarak karşımıza çıkmaktadır. Paneller bu sistemlerdeki gibi fırça veya basınçlı hava yardımı ile mekanik olarak, elektrostatik olarak temizlendiği gibi doğal yollarla (rüzgâr, yağmur) da temizlenebilmektedir.

#### 3.1. İnsan Gücü ile Temizleme

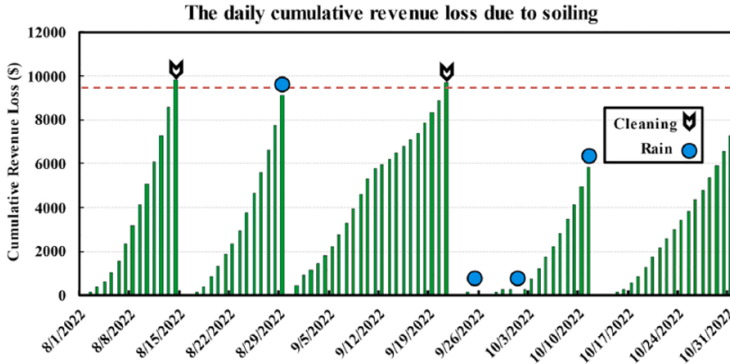
Güneş enerji santrallerinde veya yapılan deneysel çalışmalarda panellerin insan gücü ile manuel olarak temizlenmesi karşımıza en çok çıkan temizleme yöntemidir. Temizleyici cihazların maliyetlerinden dolayı tercih edilse de büyük ölçekli santraller düşünüldüğünde insan gücünün yetersizliği söz konusu

olmakta hatalar sistemde büyük kayıplara yol açabilmektedir. Christian vd. (2015), Benghanem vd. (2018), Mostefaoui vd. (2019), Shenawy ve Ghetany (2021), Bunyan vd. (2016) yaptığı çalışmalarda panellerin temizliğini manuel olarak yapmışlardır. Çalışmalarda araştırılan konu, panellerin kirliliğinin sistem verimine etkisi olduğu için küçük ölçekli test düzeneklerinde bu yöntem kullanılmıştır. Üretim yapan şebekeye bağlı santrallerin insan gücü ile temizlenmesine örnekler Şekil 4. 'de gösterilmiştir.



**Şekil 4. İnsan Gücü ile Temizleme Örneği (Sadece su ile temizleme (solda) - temizlik materyalinin insan yardımı ile kullanılması (sağda))**

Abraim vd. (2023), referans sistem kullanılarak güneş panellerinden oluşan sistemde temizleme zamanı belirlenmeye çalışılmıştır. Sürekli temiz olması sağlanan olan referans sistem ve doğal kirlenmeye bırakılmış sistem üzerinden alınan ölçümlerle panellerin üretim kayıpları analiz edilmiş ve panellerin temizlik zamanı hazırlanan yazılım üzerinde belirlenerek temizlik görevlerine bildirimleri yapılmıştır. Panel çalışma zamanı belirlenirken hesaplanan kayıplar zaman serisi şeklinde kaydedilmiş belirlenen kritik değere ulaşıldığı zaman temizlik zamanı olarak seçilmiştir. Üretim kaybı grafiğinde yağmurun panel temizliğindeki etkisi de açıkça gösterilmiştir. (Şekil 5.) Tasarlanan sistemde temizlik işlemi insan gücü ile yapılmıştır.



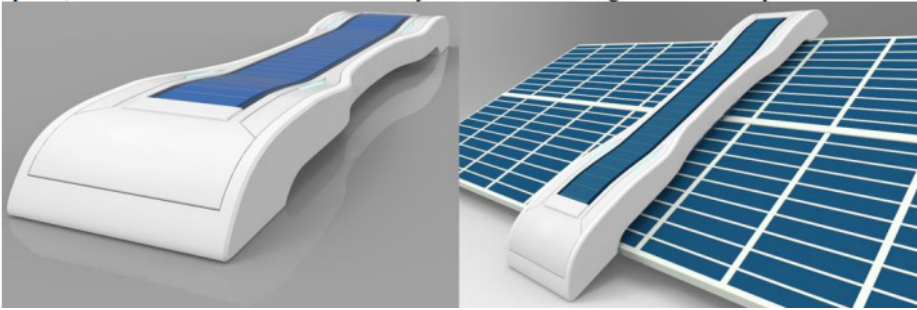
**Şekil 5. Kirlenmeye Bağlı Günlük Kayıp Grafiği (Abraim vd., 2023)**



### 3.2. Yarı-Otomatik Temizleme

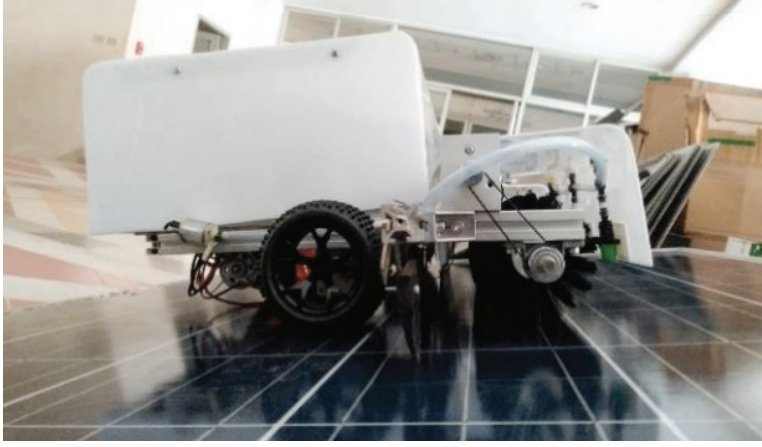
Panellerin temizliğinin otomasyon sistemleri ile yapılması zamandan ve sarfiyattan tasarruf sağlamaktadır. Aynı zamanda insan gücü ve emeği gerektirmediğinden işçi sağlığı ve güvenliği açısından tercih edilecek yöntemlerdir. Günümüzde birçok panel temizleme cihazı yarı-otomatik olarak düşünülmüştür. Bu sistemlerde temizleyici veya robotların panel dizileri üzerinde otomasyon yardımı ile gezebilmesi ve içerdiği fırça veya su sistemleri ile etkili temizlik yaptırılması amaçlanmıştır. Bu mekanizmaların temizlenecek alanlara yerleştirilmesi ve çalıştırılma zamanları yine insan yardımı ile yapılması gerekmektedir.

Yan vd. (2020) rüzgâr şiddetinden etkilenmeden hareket edebilen hafif plastik malzeme ile yapılmış bir temizlik robotu tasarımı yapmışlardır. Bu çalışmada panellerin robotun ağırlığından etkilenmemesi amacı ile hafif malzeme tercihi ön plana çıkarılmış, rüzgâr akımını kesici mekanik tasarım yapılmıştır. Yapılan tasarım balık iskeletine benzemektedir. Rüzgâr (hava) sensörlerinden gelen bilgiyi kullanarak mekanik sistemin robotu ters dönmeye karşı koruması sağlanmıştır. Cihaz önce bataryalı olarak test edilmiş daha sonra bataryanın da ağırlığından kurtulmak amacı ile esnek güneş paneli montajı yapılarak makinenin enerjisi de güneşten sağlanmıştır. (Şekil 6.)



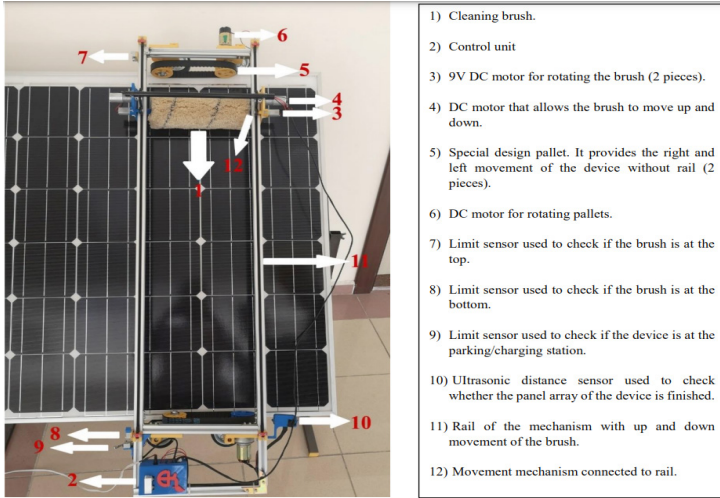
**Şekil 6.** Tasarlanan Güneş Paneli Temizleme Robotu (Yan vd., 2020)

Ronnaronglit ve Maneerat (2019) 20° eğime tırmanabilen panel üzerinde serbestçe hareket edebilen robot temizleme aleti tasarlamışlardır. 4 adet ultrasonik sensör ve kontrol sistemi sayesinde panel yüzeyini tamamı ile gezebilmektedir. (Şekil 7.)



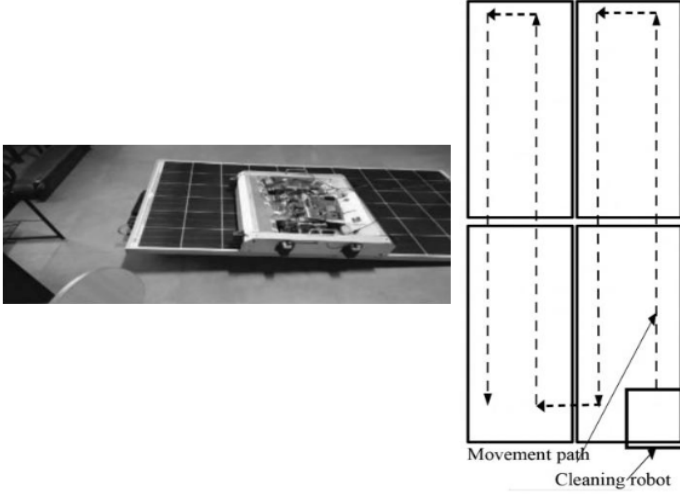
**Şekil 7.** Güneş Paneli Temizleme Robotunun Yandan Görünüşü (Ronnaronglit ve Maneerat, 2019)

Akyazı vd. (2019) yaptığı çalışmada çift motor içeren paletli robot tasarımı yapmışlardır. Robot yatay düzlemde hareket ederken temizleme fırçası ise dikey ekseninde hareket etmekte, konum algılayıcı anahtarlar ile robotun temizlenecek yüzey alanı dışına çıkması önlenmektedir. Sistemin kontrolü Arduino Nano geliştirme kartı ile yapılmıştır. Fırça ve Fırça taşıyıcı sistem dikey ekseninde panel sonuna geldiğinde sensörler tarafından algılanıp yatay eksen hareketini sağlayan DC motorlar sürülerek temizleyici 25cm kaydırılmaktadır. (Şekil 8.) Bu işlem temizleyicinin şarj alanına gelene kadar devam etmektedir.



**Şekil 8.** Çift Ekseninde Hareket Edebilen Robot ve Parça Açıklamaları (Akyazı vd., 2019)

Sundaram vd. (2019) güneş tarlaları için taşınabilir robot temizleyici üzerinde çalışma yapmışlardır. Yapılan tasarımda panel dizisi üzerine yerleştirilen robotun belirlenen yolda tüm sistemi gezebilmesi sağlanmıştır.(Şekil 9.) Yapılan deneylerde robotun sistemi temizlemesi sonucunda ile üretimde %30 civarında artış sağlandığı gözlemlenmiştir.



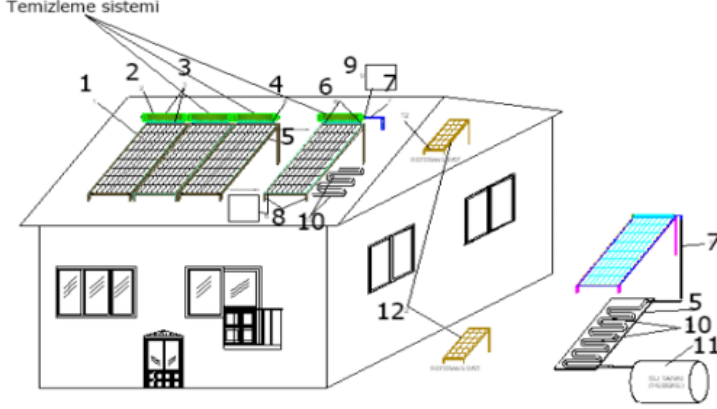
Şekil 9. Robotun Panel Dizisinde Hareket Yolu (Sundaram vd., 2019)

### 3.3. Otomatik Temizleme Sistemleri

Otomatik temizleme sistemleri temizleyicinin belirli bir otomasyona bağlı olmasının yanında yarı-otomatik sistemlere göre temizleme zamanlarının karar verici mekanizmalar ile zenginleştirilmiş versiyonlarıdır. Tam otomatik sistemlerde temizleyicinin ne zaman çalışacağına karar verilmesi önemli bir unsurdur. Bu şekilde insan gücünün kullanımını tamamen indirgenmiştir. Otomatik temizleme sistemlerinin en önemli avantajı ise temizleyicinin çalışma zamanının belirlenmesi ile çalıştırılmasının takip edilmesine gerek duyulmamasıdır. Bu şekilde sistemden minimum sarfiyat ile maksimum verim alınabilmektedir.

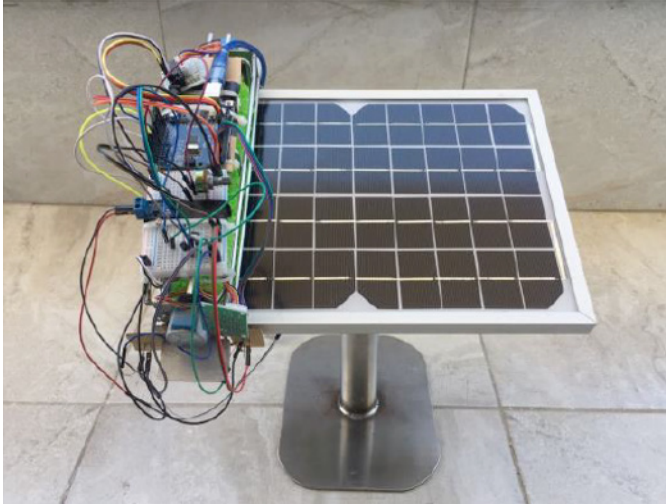
Li vd. (2016) otomatik güneş paneli temizleme sistemleri için kamera kullanmışlardır. Kamera olarak Kinect V2 sensörü kullanılarak panel üzerinde karşılaşılabilecek farklı kirlilikler üç boyutlu olarak haritalanmıştır. Kargacıoğlu (2018) LDR sensörü geri beslemesi ile panel temizleme robotunu kontrol etmiştir. Temizleyici panel üzerine yerleştirilen hareket yolunda sabit hareket ederek panel yüzeyini temizlemektedir. Panel yüzeyine yerleştiği LDR'den aldığı bilgi ile robotun çalışıp çalışmayacağına karar verilmektedir. Bu şekilde kendi

kendine çalışabilen bir sistem amaçlanmıştır. Ayrıca panel arkasına yerleştirilen su tankından su taşınması için kullanılan su boruları yardımı ile panelin soğuması sağlanmaktadır. Suyun ısınması ile de panele yapışan kirlenmelerin daha efektif temizlenmesi amaçlanmıştır. Mekanik sistemin kontrolü Arduino Uno geliştirme kartı ile yapılmıştır.



Şekil 10. Temizleme Sisteminin Genel Görünümü (Kargacıoğlu, 2018)

Hashim vd. (2019) yaptığı çalışmada otomatik olarak çalışabilen bir robot için IP kamera kullanımını önermişlerdir. IP kamera ile temizleme işlemi esnasında panel yüzeyindeki değişimler incelenmiştir. Mekanik sistemin kontrolü için bir işlemci ve LDR sensörleri kullanılmıştır. Sistemdeki üretim değerleri de işlemciye gönderilerek veri farkı ile robotun çalıştırılması önerilmiştir.

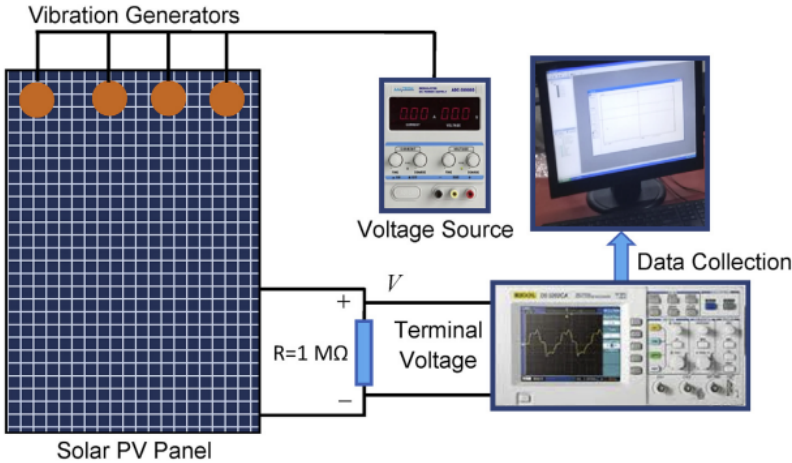


Şekil 11. Tasarlanan Temizleyici ve Kartı (Mutluer ve Erat, 2019)

Mutluer ve Erat (2019), bir paneli tek yönde temizleme özelliğine sahip otomatik panel temizleme robotu tasarlanmıştır. Robotun çalışması bulanık mantık tabanlı olarak belirlenmiştir. Bulanık mantık algoritma girdileri sıcaklık, panel üretim değerleri, kirlilik ve gölgelenme faktörleri olarak seçilmiştir. Sistem çalışma durumuna bırakıldığında girdilere göre otomatik olarak çalışması sağlanmış panel üretim değerlerinde %17 artış sağlanmıştır. Tasarlanan temizleyici ve kartı Şekil 11.'de gösterilmiştir.

### 3.4. Susuz Temizleme Yöntemleri

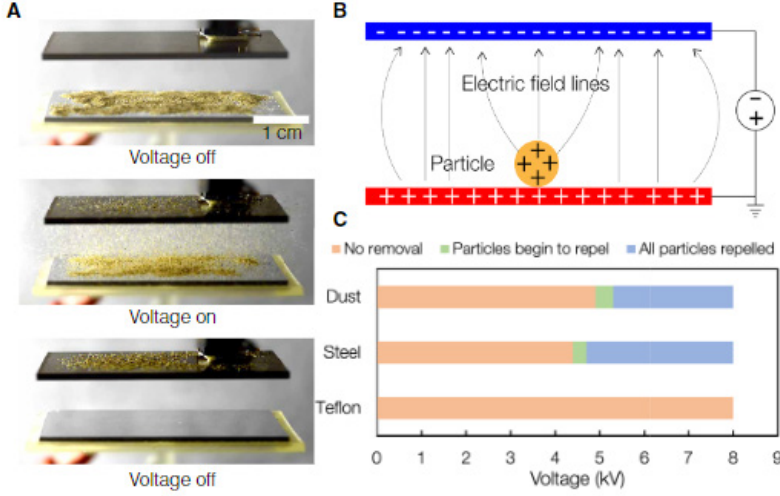
Su tasarrufunu önlemek amacı ile panel temizliği elektrostatik veya hava üfleme olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntemlerde amaç su kullanmadan panel yüzeyinde biriken tozun bir kuvvet yardımı ile panel üzerinden uzaklaştırılmasıdır. Alagoz vd. (2020), yüzeyde akustik dalga yöntemi ile panel yüzeyini tozlardan arındırmayı önermişlerdir. Panel yüzeyinde biriken 0.1-2mm arasında değişen toz parçacıklarının etkileşimleri gösterilmiştir. Bu çalışmada büyük toz parçacıklarının küçük olanlara nazaran daha kolay temizlendiği belirtilmiştir. Küçük toz parçacıklarının temizlenmesi için daha büyük ölçüde akustik dalga üretimi gerekmektedir. Diğer taraftan toz parçacıklarının büyümesi yerçekimi etkisi ile zorlaşmaktadır. Bu durumda da panelin yerleşim açısı büyük rol oynamaktadır.



Şekil 12. Akustik Dalga Yöntemi (Alagoz vd., 2020)

Panat ve Varanasi (2022), panellerin temizliğinde su sarfiyatını önlemek için elektrostatik itme kuvveti ile toz parçacıklarının ayrılarak sıçraması ile temizlik işleminin yapılması önerilmektedir. Önerilen sistemde bir elektrot

panel yüzeyi üzerinde yeterli uzaklıkta konumlandırılarak itme kuvveti ile tozları panel yüzeyinden ulaştırmaktadır.



**Şekil 13.** Elektrostatik Şarj İndüksiyonu ile Tozun İtilmesi (Panat ve Varanasi, 2022)

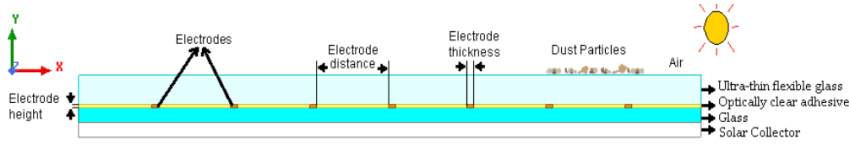
Erişgin vd. (2022) yaptığı çalışmada mekanik ve temassız kendi kendini temizleme yöntemlerinin panel performanslarına etkilerini araştırmıştır. İlk olarak levha üzerine yerleştirilen ultrasonik dönüştürücü tarafından üretilen titreşim, ultrasonik dönüştürücünün yerleştirildiği levha ile panelin dört köşesine yerleştirilen yaylar ile panele aktararak, oluşan titreşimin panel temizliğine etkileri incelenmiştir. Tamamen tozlu neredeyse üretimi olmayan panel üzerinde denenen yöntemde panel güç çıkışının %53'e çıkarıldığı tespit edilmiştir. Sonraki yöntemde panel üst kısımlarına yerleştirilen piezoelektrik dört adet aktuatör tarafından üretilen yüzey akustik ses dalgalarının panel performansına etkileri incelenmiştir. Bu yöntemin başarısı ise %55.48 olarak kaydedilmiştir. Son olarak iki yöntemin bir arada hibrit kullanımı denenmiş olup güç çıkışının %68.6 değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Panel eğim açısının yöntemlerin başarısı ile pozitif korelasyona sahip olduğu belirtilmektedir.

Habib vd. (2021) tasarlamış oldukları susuz temizleme robotu sayesinde farklı toz ve kum parçacıklarının panel yüzeyinden uzaklaştırılmasında %87-96'lık miktarlarda başarı elde edilmiştir. İki aşamalı mekanizmada bir egzoz fanını hava üfleyici olarak, bir fırçayı da panel yüzeyini silmek için kullanmışlardır. Bu sayede susuz çalışan sistem sayesinde su sarfiyatının önüne geçilmek istenmiş, çöl arazilerinde kullanılabilecek bir robot tasarımı yapmışlardır. Sistemin kontrolü Arduino kartı ile yapılmıştır.



Şekil 13. Hava Üfleyci Sisteme Sahip Susuz Temizleme Robotu (Habib vd., 2021)

Altıntaş (2021) panel yüzeyinde toz birikmesinin önlenmesi amacı ile yüksek gerilim temelli elektrostatik yöntem geliştirmiştir. Panel yüzeyinde oluşan toz parçacıkları laboratuvar ortamında incelendikten sonra panellere monte edilen elektrotlarla bu parçacıkların panellerden uzaklaştırılması incelenmiştir. (Şekil 14.) Küresel, elipsoid ve açılı olmak üzere karmaşık şekilli tespit edilen paritküllerin 50  $\mu\text{m}$  ile 450  $\mu\text{m}$  aralığında çaplara sahip olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 14. Elektrotların Panel Üzerine Yerleştirilmesi (Altıntaş., 2021)

#### 4. Sonuç

Bu bölümde literatürde bulunan güneş paneli temizleme sistemleri incelenmiştir. Panellerde en çok kirlenme çeşidi olan tozluluk miktarı arttıkça panel verimi düşmektedir. Panel yüzeylerinde biriken tozlanma özellikle çöl arazilerinde kısa zamanda daha büyük oranda gerçekleşmektedir. Bu sebepten çöl arazilerinde kurulu panellerin kısa zaman aralıklarında ve otomatik sistemlerle temizlenmesi gerektiği sonucuna varılmaktadır. Geçmiş çalışmalarda insan gücü ile mekanik olarak su ile veya susuz, yarı-otomatik veya tamamı ile kontrol sisteminin yardımı ile otomatik olarak temizleyebilme özelliğine sahip

birçok temizleme modeli önerilmiştir. Suyun kullanıldığı sistemlerde su sarfiyatı önemli olmakta ancak daha efektif sonuçlar alınabilmektedir. Sulu temizleme sistemlerinde suyun panel üzerinde bıraktığı lekelenmelere dikkat edilmelidir. Susuz olarak önerilen sistemlerde de oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Amaca uygun bahsedilen yöntemlerin birlikte kullanıldığı sistemlerde daha verimli temizleme sonuçların elde edileceği de düşünülebilir. Susuz çalışma yöntemlerinin belirli otomasyonlar ile entegre edilmesi su sarfiyatını önlemek amacı ile önerilebilir. Çalışmalarda bölgesel, kirlenme süresi, temizleme yöntemindeki amaç, sistem verimi veya kirlilik miktarının azaltılması gibi kriterlerde değerlendirmeler yapılmıştır. Ancak tamamı ile ortamdan alınan verilerin analiz edilerek otomatik şekilde yapılacak bir modelde panellerden elde edilecek verim maksimum seviyede olacaktır.

### **Kaynakça**

Abdolzadeh M, Ameri M. (2009), Improving the effectiveness of a photovoltaic water pumping system by spraying water over the front of photovoltaic cells, *Renewable Energy* 2009, 34(1), 91–6.

Abraim, M., Ydrissi, M., Ghennioui, H., Ghennioui, A., Hanrieder, N., Wilbert, S., Alani, O., Boujoudar, M., Azouzoute, A. (2023), PVSMS: A system for quantifying soiling effects and optimizing cleaning schedule in PV solar plants, *Energy Conversion and Management*, 284, 116978.

Akyazı Ö., Şahin E., Özsoy T., Algül M. (2019), A Solar Panel Cleaning Robot Design and Application, *European Journal of Science and Technology*, 343-349.

Alagoz, S, Apak, Y. (2020), Removal of spoiling materials from solar panel surfaces by applying surface acoustic waves, *Journal of Cleaner Production*, 253, 119992.

Altıntaş, M., Arslan, S. (2021), The study of dust removal using electrostatic cleaning system for solar panels, *Sustainability*, 13, 9454.

Benghanem, M., Almohammed, A., Khan, M. T., Al-Mashraqi, A. A. (2018), The effect of Dust Accumulation on the Performance of Photovoltaic Panels in Desert Countries. A Case Study of Madinah, Saudi Arabia, *International Journal of Power Electronics and Drive System*, 9 (3), 1356–1366.

Bunyan, H., Ali, W., Alnaser, M. (2016) Enhancing the Performance of Photovoltaic Panel by Proper Washing Periods in Kuwait, *Smart Grid Renew. Energy*, 7, 190–196.



Christian, S., Stefan, B., Michael, K. (2015), Impact of soiling on iv-curves and efficiency of pv-modules. *Solar Energy*, 112, 259-262.

Erişgin, D., Kara, G., Özcan, H. (2022), Fotovoltaik Panel Temizliğinde Yüzey Akustik Dalgaları Kullanımının Fotovoltaik Panel Performansına Etkilerinin İncelenmesi, *OMÜ Mühendislik Bilimleri ve Teknolojisi Dergisi*, 2(2), 137-154.

Habib, R., Tanvir, S., Suhan, A.Y., Vadher, A., Alam, S., Shawmee T. T., Ahmed, K., Alrashed, A. (2021), Automatic Solar Panel Cleaning System Based on Arduino for Dust Removal, *International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS)*, 1555-1558.

Hashim N., Mohammed, M., Selvarajan, R. A., Al Zubaidi, S., Mohammed, S. (2019), Study on solar panel cleaning robot, *IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS)*, 56-61.

Kargacıoğlu, T. (2018), Sensor based automatic solar panel cleaning system prototype, Master Thesis.

Kırbyık, O. (2023), Design of photovoltaic Panel Anti-Buzz System in Erzurum Climate Conditions, Master Thesis.

Li, M., Zhang, M., Fu, Y., Guo, W., Zhong, X., Wang, X., and Chen, F. (2016), Fast and robust mapping with low-cost Kinect v2 for photovoltaic panel cleaning robot, *International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics (ICARM)*, 95-100.

Mostefaoui, M., Ziane, A., Bouraiou, A., and Khelifi, S. (2019), Effect of sand dust accumulation on photovoltaic performance in the Saharan environment: Southern Algeria(adrar), *Environmental Science and Pollution Research*, 26(1), 259-268.

Mutluer, M., Erat, A. (2019), A new intelligent system design for cleaning the photovoltaic solar panel surface, *International Journal of Energy Applications and Technologies*, 6(1), 8-16.

Panat, S., Varanasi, K. K. (2022), Electrostatic dust removal using adsorbed moisture-assisted charge induction for sustainable operation of solar panel, *Science Advances*, 8, 1-10.

Patil, P. A., Bagi, J. S., Wagh, M. M. (2017), A review on cleaning mechanism of solar photovoltaic panel, In *2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)*, 250-256.

Ronnaronglit, N., Maneerat, N. (2019), A cleaning robot for solar panels, 5th Internatioanal Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST), 1-4.

Shenawy, E. T., Ghetany, H. (2021), Effect of Dust Accumulation on the Performance of PV Modules under Cairo Climate Conditions, International Journal of Renewable Energy Research, 11, 1313-1321.

Sundaram, M., Prabhakaran, S., Jishnu, T., and Sharma, S. (2019), Design and analysis of an autonomous cleaning robot for large scale solar pv farms, Proc. Int. Conf. Autom. Control, Mechtron. Ind. Eng., 265.

Xu L, et al. (2020), The influence of dust deposition on the temperature of soiling photovoltaic glass under lighting and windy conditions, Solar Energy, 199, 491-496.

Yan, S. Z., Jian, Y., Xu, L.J. (2020), Research on design of intelligent cleaning robot for solar panel, In Proceedings of The 20th International Conference on Electronic Business, 313-320.

Yolcan, O. O., Köse, R. (2020), Türkiye'nin Güneş Enerjisi Durumu ve Güneş Enerjisi Santrali Kurlumunda Önemli Parametreler, Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2, 196-215.



## BÖLÜM VIII

# ÇOK SEVİYELİ EVİRİCİLERE GENEL BİR BAKIŞ

### *A Review on Multilevel Inverter Topologies*

**Mustafa Sacid ENDİZ**

*(Dr. Öğr. Üyesi), Necmettin Erbakan Üniversitesi*

*Elektrik ve Elektronik Mühendisliği*

*E-mail: msendiz@erbakan.edu.tr*

*ORCID: 0000-0003-3325-5109*

#### **1. Giriş**

**S**on yıllarda dünya genelindeki küresel enerji talebindeki büyük artış, fosil yakıtların büyük ölçüde tüketilmesine yol açmış, böylece atmosfere yüksek oranda sera gazı salınımı neticesinde çevremiz olumsuz etkilenmiştir (Soeder & Soeder, 2021). Yenilenebilir enerji kaynaklarının neredeyse sıfır emisyonla elektrik enerjisi üretmesiyle bu kaynakların elektrik şebekesine entegrasyonu ve kullanımı ciddi anlamda artmıştır (Olabi & Abdelkareem, 2022). Dünya üzerinde güneş, rüzgâr, jeotermal, hidro, biyokütle, gel-git ve dalga enerjisi de dâhil olmak üzere çok sayıda yenilenebilir kaynak mevcuttur. Güneş radyasyonunun enerji talebine küresel ölçekte katkıda bulunması ve güneş potansiyelinin sonsuz olması fotovoltaik (FV) sistemleri elektrik enerjisi üretiminde oldukça popüler bir kaynak yapmıştır (Pillai & Rajasekar, 2018). Günümüzde dünya üzerinde kurulu FV güç kapasitesi 650 gigawatt'ın (GW) üzerine çıkmış olup, bu rakam dünyadaki mevcut elektrik ihtiyacının %2'sini karşılamaktadır (Bughneda, Salem, Richelli, Ishak, & Alatai, 2021). Bu da göstermektedir ki dünya enerji talebinin yalnızca küçük bir yüzdesi güneş enerjisinden karşılanmaktadır. Son yirmi yılda enerji piyasasında FV sistemlerinin yaygınlaştırılmasında önemli gelişmeler kaydedilmiştir, fakat bu teknolojiler henüz enerji talebinin karşılanmasında fosil yakıtlar gibi diğer enerji

kaynaklarıyla olumlu bir şekilde rekabet edememektedir. FV sistemler, yüksek ilk yatırım maliyetleri, kesintili enerji üretimi ve düşük dönüşüm verimliliği gibi bir dizi dezavantajlara sahiptir (Shafiullah, Ahmed, & Al-Sulaiman, 2022).

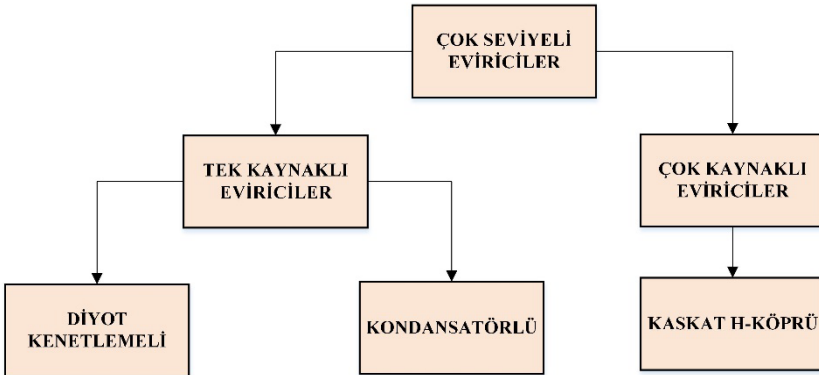
Güneş enerjisine dayalı teknolojilerin performansını ve enerji piyasasındaki rekabet gücünü artırmak amacıyla son yıllarda farklı çalışmalar yürütülmüştür. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen FV enerjiden elektrik enerjisi üretimi büyük ölçüde güç elektroniğine dayanır ve buna bağlı olarak verimli güç elektroniği dönüştürücülerine olan ihtiyaç giderek artmaktadır (Çolak & Kabalcı, 2008). Bir güneş enerjisi dönüşüm sisteminin temel bileşenleri FV hücreleri, güç dönüştürücüleri ve tüm sistemi denetlemekten sorumlu bir kontrol birimini kapsar. Son yıllarda farklı kontrol stratejileri, dönüştürücü topolojileri ve maksimum güç noktası takibi (MGNT) teknikleri geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar, yenilenebilir enerji kaynaklarından verimli bir şekilde güç elde edilmesini mümkün kılmaktadır (Arulkumar, Palanisamy, & Vijayakumar, 2016).

## 2. Çok Seviyeli Eviriciler

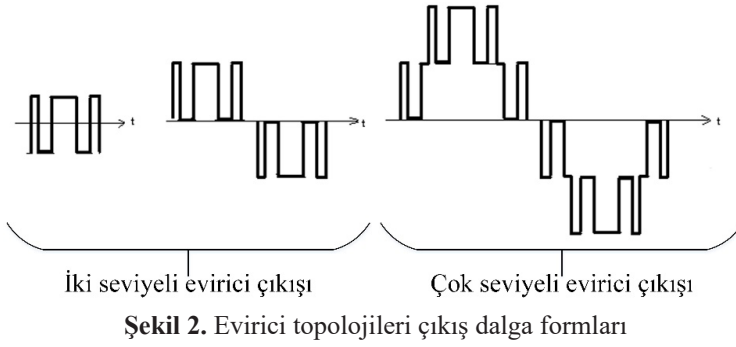
Şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız FV sistem tasarımında elektrik enerjisi üretiminde sistem verimi düşünüldüğünde uygun eviricilerin tasarlanmasının oldukça önemli olduğu görülmektedir. Endüstride asenkron motor sürücü devreleri, kesintisiz güç kaynakları, yüksek gerilimde doğru akım iletim sistemleri, endüksiyonla ısıtma sistemleri ve yenilenebilir enerji kaynakları gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılan eviriciler, yükü beslemek amacıyla girişindeki doğru akımı istenilen genlik ve frekansta alternatif akıma dönüştüren güç elektroniği devreleridir (Bodur, 2012). Temelde bir fazlı veya üç fazlı olarak tasarlanan eviricilerde besleme kaynağı olarak; batarya, güneş pili, yakıt hücreleri veya alternatif bir akımla beslenen doğrultucu devre çıkışı kullanılabilir. Kullanılan yükün özelliklerine göre eviriciler, gerilim ve akım kaynaklı olarak tasarlanabilir.

Güç elektroniğinde kullanılan eviriciler, çıkış geriliminin dalga biçiminde bulunan seviye sayısına göre iki seviyeli ve çok seviyeli eviriciler olarak sınıflandırılmaktadır. Çoğunlukla iki seviyeli eviriciler düşük güçlü uygulamalarda kullanılmakla birlikte, yüksek gerilim stresi üretmeleri, elektromanyetik gürültü (EMI) oluşturmaları ve çıkış dalga formunda önemli ölçüde yüksek dereceli harmonik bileşenler içermesi nedeniyle büyük güçlü uygulamalar tercih edilmemektedir (Kavya Santhoshi, Mohana Sundaram, Padmanaban, Holm-Nielsen, & KK, 2019).

İki seviyeli eviricilerin yüksek anahtarlama frekansında çalıştırılması çıkış gerilimlerinin harmonik bozulmalardan arınmış sinüs dalga formuna daha yakın olması sağlamakla birlikte, mevcut anahtarlama kayıplarının arttırır ve evirici devresinin verimini azaltır. Ayrıca büyük güçlü uygulamalarda transformatör kullanılması genel maliyetin artmasına ve devre boyutlarının büyümesine neden olacaktır. Çok seviyeli eviriciler, devre yapılarına bağlı olarak transformatör ihtiyacı olmadan düşük harmoniklerle yüksek gerilimlere ulaşabilme imkânı sağlamaktadır (Kazdaloğlu et al., 2011; Koshti & Rao, 2017). Günümüzde güç elektroniği uygulamalarında geniş bir kullanım alanına sahip olan çok seviyeli eviriciler, özgün yapısı gereği bir fazlı ve üç fazlı büyük güçlü uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir. Çok seviyeli eviriciler, girişlerindeki DA gerilimi kullanılan anahtarlama yöntemine bağlı olarak çıkışta en az bozulmaya sahip sinüzoidal formdaki bir basamak dalga şekli oluşturur. Tasarım aşamasında evirici modüllerinin seri şekilde bağlantı imkânı sağlaması, güç katında kullanılan anahtarlama elemanlarında oluşan yüksek gerilim streslerini önlemektedir. Bu, hem EMI'yi azaltmakta hem de eviricinin büyük güçlü uygulamalarda daha verimli çalışmasını sağlamaktadır. Geleneksel iki seviyeli evirici topolojilerine kıyasla çok seviyeli eviricilerin çıkış gerilimleri sinüs dalga formuna daha yakın olup düşük harmonik bileşenlerine sahiptir (El-Hosainy, Hamed, Azazi, & El-Kholy, 2017). Çok seviyeli evirici topolojileri; Şekil 1'de görüldüğü şekilde diyot kenetlemeli eviriciler, kondansatörlü eviriciler ve kaskat H-köprü eviriciler olmak üzere 3 grupta sınıflandırılmaktadır (Balal, Dinkhah, Shahabi, Herrera, & Chuang, 2022). Şekil 2'de ise geleneksel iki seviyeli ve çok seviyeli evirici topolojilerinin çıkış dalga formları görülmektedir. Geleneksel eviricilerde çıkış geriliminde iki farklı seviye elde edilirken, çok seviyeli eviricide seviye sayısına bağlı olarak çıkış gerilimi 3, 5, 7 veya daha fazla seviyeli olabilmektedir.



Şekil 1. Çok seviyeli eviricilerin sınıflandırılması

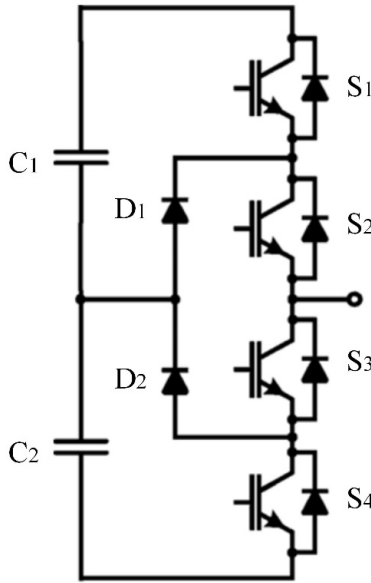


Şekil 2. Evirici topolojileri çıkış dalga formları

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde kontrol amacıyla her üç topoloji için farklı modülasyon teknikleri ve devre modelleri geliştirilmiştir. Çok seviyeli evirici devrelerinin kontrol edilmesinde yaygın olarak sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu (SDGM), seçmeli harmonik bastırma (SHB) ve uzay vektör darbe genişlik modülasyonu (UVDGM) teknikleri uygulanmaktadır (Poorfakhræi, Narimani, & Emadi, 2021).

### 2.1. Diyot Kenetlemeli Eviriciler

Şekil 3'te verilen devre şemasında görüldüğü üzere diyot kenetlemeli eviricilerde DA giriş gerilimi, istenilen seviye sayısına bağlı olarak basamak şeklinde sinüs formuna yakın bir çıkış gerilimi üretmek için kenetleme diyotlarını kullanır.

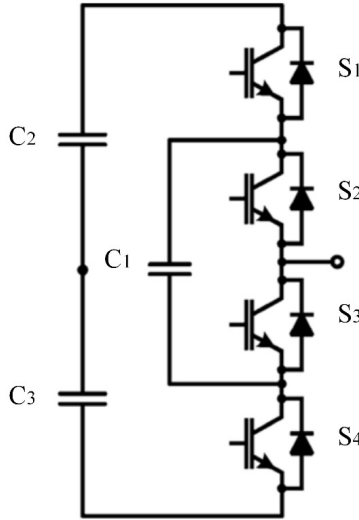


Şekil 3. Üç seviyeli diyot kenetlemeli evirici devre şeması

Diyot kenetlemeli evirici topolojisi; DA kaynak gerilimini tutan kenetleme diyotları eklenerek 1981 yılında geliştirilmiştir (Nabae, Takahashi, & Akagi, 1981). Eviricinin her faz ayağında seri olarak bağlanmış ikişer çift alt ve üst kol anahtarlama elemanı ve bunları birbirine bağlı diyotlar bulunmaktadır. Alt ve üst kollarda kullanılan anahtarlama elemanları sıralı olarak tetiklendiğinden eviricinin güç katında kısa devre durumu oluşmaz. Seviye sayısının artırılması çıkış geriliminin harmonik bozulmalardan arınmış sinüs dalga formuna daha yakın olmasını sağlamaktadır. N seviyeli çıkış gerilimi elde etmek için (N-1) adet seri bağlı kondansatöre ve her bir faz kolu için de (N-1)(N-2) adet kenetleme diyotuna gereksinim vardır. Ayrıca, N seviyeli bir diyot kenetlemeli eviricide seviye sayısı ile ilişkili olarak anahtarlama kombinasyonu sayısı  $N^3$  ile gösterilir. Bu yapıdaki evirici modeli genellikle temel anahtarlama frekansındaki uygulamalarda yüksek verimle çalışabilmektedir.

## 2.2. Kondansatörlü Eviriciler

1990'ların ortasında geliştirilen ve serbest kondansatörlü evirici olarak da adlandırılan bu topolojide bağımsız her bir kondansatör gerilimi, güç katındaki anahtarların mevcut anahtarlama kombinasyonuna bağlı olarak eviricinin çıkış gerilim seviyesini belirlemektedir (Meynard & Foch, 1992). Şekil 4'te devre şeması verilen bu yapıda, diyot kenetlemeli eviriciden farklı olarak çıkış gerilim seviyesinin artırılması amacıyla kenetleme diyotlarına gerek duyulmazken, N seviyeli çıkış gerilimi için (N-1) adet ana kondansatöre ve her bir faz kolun için de (N-1)(N-2)/2 adet yardımcı kondansatöre ihtiyaç duyulur.



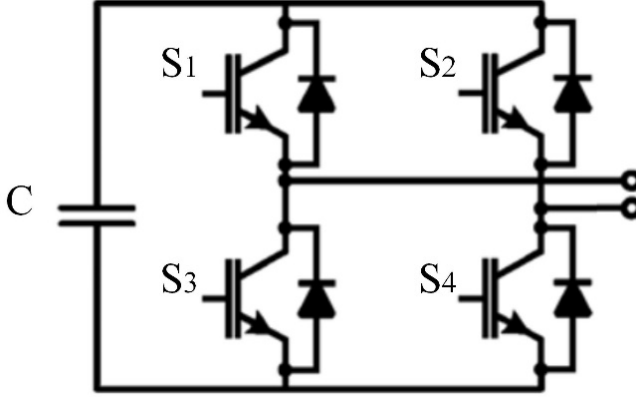
Şekil 4. Üç seviyeli kondansatörlü evirici devre şeması



İstenilen sayıda gerilim seviyeleri elde etmek için birçok anahtarlama kombinasyonu sunabilen kondansatörlü evirici topolojisi, sahip olduğu kondansatörler neticesinde filtre ihtiyacını ortadan kaldırarak devredeki aktif-reaktif güç akışını düzenlemektedir.

### 2.3. Kaskat H-köprü Eviriciler

İlk olarak 1975'te geliştirilen kaskat H-köprü evirici topolojisi, tek fazlı H-köprü olarak adlandırılan modüler tam köprü devrelerin seri bağlı şekilde birleştirilmesiyle oluşturulur (Wu & Narimani, 2017). Şekil 5'te devre şeması verilen bu topolojide, özellikle FV sistemlerdeki güneş panelleri gibi izole DA gerilim kaynakları kullanılarak güç katındaki anahtarların farklı kombinasyonlarına göre çıkışta istenilen seviyede gerilim sağlanır.



Şekil 5. Üç seviyeli kaskat H-köprü evirici devre şeması

Diğer çok seviyeli evirici topolojileri ile karşılaştırıldığında en az sayıda devre elemanı içeren kaskat H-köprü evirici devre yapısında kenetleme diyotu ve kondansatörleri kullanılmamaktadır. Tam köprü devre yapısında her bir faz kolu için dörder adet anahtarlama elemanı ve serbest geçiş diyotu bulunmaktadır. Anahtarlama esnasında aynı koldaki anahtarlama elemanları kısa devre oluşmaması amacıyla eş zamanlı olarak ilettime sokulmaz. Yenilenebilir enerji kaynakları gibi uygulamalarda sıklıkla tercih edilen bu yapının başlıca dezavantajı her bir tam köprü devresi için birden fazla izoleli ve ayrık DA gerilim kaynağına gereksinim duymasıdır. Kaskat H-köprü eviricilerde sinüzoidal formdaki basamak şeklinde dalga formu, tam köprü devrelerinin AC çıkışlarının seri bağlanması ve toplanması ile elde edilir. N girişteki DA kaynak sayısı olmak üzere çıkış gerilim seviyesi  $2N+1$  ile belirlenir.

### 3. Çok Seviyeli Eviricilerin Avantaj ve Dezavantajları

Geleneksel iki seviyeli evirici topolojileri, çok seviyeli evirici topolojileri ile karşılaştırıldığında birtakım avantajlarla öne çıkmaktadır. Geleneksel eviriciler çıkış geriliminde harmonik bozulmaları azaltmak ve güç kalitesini arttırmak amacıyla yüksek frekansta anahtarlama yapar ve bu nedenle anahtarlama kayıpları yüksektir. Çok seviyeli eviriciler ise temel anahtarlama frekansına yakın frekanslarda çalışabilme özellikleri nedeniyle anahtarlama kayıpları en aza indirgenir. Güç katında anahtarlama esnasındaki kayıpların azalması eviricinin daha verimli çalışmasını sağlar.

Çok seviyeli eviricilerde seviye sayısının artırılmasına bağlı olarak devre çıkışında sinüzoidal forma yakın bir gerilim elde edilir. Ayrıca çıkış sinyal kalitesinin iyileşmesi nedeniyle filtre devre kullanma ihtiyacı ortadan kalkar. Eviricinin esnek ve modüler yapısı nedeniyle kesime girme esnasında anahtarlar üzerine düşük DA gerilimi uygulanmasıyla anahtarlardaki gerilim stresi azalmakta ve daha az EMI oluşmaktadır. Sonuç olarak daha az maliyetli anahtarlama elemanları kullanılması mümkün olacaktır (Choudhury, Bajaj, Dash, Kamel, & Jurado, 2021).

Evirici topolojilerinin kendi arasındaki öne çıkan avantajları şu şekilde özetlenebilir. Çok fazlı bir diyot kenetlemeli eviricide tüm fazlar aynı DA baradan beslenir. Devre yapısı itibarıyla temel anahtarlama frekansında çalışmaya daha uygundur ve eviricinin güç katındaki anahtarların kontrolü daha basittir. Kondansatörlü evirici devresi seviye sayısının artmasına bağlı olarak kondansatörlerde uzun şarj-deşarj süresi gerektireceğinden daha fazla enerji depo edilir. Kaskat H-köprü evirici, yapısı itibarıyla modüler ve esneklik sağlamaktadır. Diğer iki topolojiye kıyasla daha az sayıda pasif devre elemanına ihtiyaç duymaktadır.

Çok seviyeli eviricilerin başlıca dezavantajları, seviye sayısının artırılmasına bağlı olarak kullanılması gereken aktif-pasif devre eleman sayısı ve girişteki DA gerilim kaynağı sayısının artmasıdır. Buna ilaveten güç katında çok sayıda anahtarlama elemanı kullanılması da kontrolü zorlaştıracaktır. Ayrıca mevcut anahtarlama kayıplarını en aza indirmek amacıyla geliştirilen yumuşak anahtarlama metodlarına ihtiyaç duyulur. Günümüzde alternatif akım (AA) motor sürücüleri, kesintisiz güç kaynakları, statik var kompanzatorler, esnek AA iletim sistemleri ve yenilenebilir enerji kaynakları olmak üzere birçok uygulamada tercih edilen çok seviyeli evirici devreler, sürekli yapılan iyileştirme ve modifikasyonlarla geliştirilmektedir (Choudhury et al., 2021; Nyamathulla, Chittathuru, & Muyeen, 2023; Salem et al., 2022).

Tablo 1’de üç fazlı çok seviyeli evirici topolojilerinin karşılaştırılması verilmiştir. N seviye sayısını göstermek üzere; kondansatörlü ve kaskat H-köprü evirici devresi diyot ihtiyacı duymazken, diyot kenetlemeli yapıda  $(N-1)(N-2)$  adet diyot kullanılır. Ana ve yardımcı kondansatör sayısı bakımından diyot kenetlemeli ve kondansatörlü evirici devresi kaskat H-köprü yapısına kıyasla daha fazla elemana gereksinim duymaktadır. Anahtar ihtiyacı her üç topolojide de aynı miktardadır. Tablo 1’de görüldüğü gibi kaskat H-köprü evirici devresi toplamda en az sayıda aktif-pasif devre elemanına ihtiyaç duymaktadır. Başlıca uygulama alanları bakımından diyot kenetlemeli ve kondansatörlü evirici devresi benzer uygulamalarda kullanılırken, kaskat H-köprü evirici daha çok güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji sistemlerinde tercih edilmektedir.

**Tablo 1.** Çok seviyeli evirici topolojilerinin karşılaştırılması

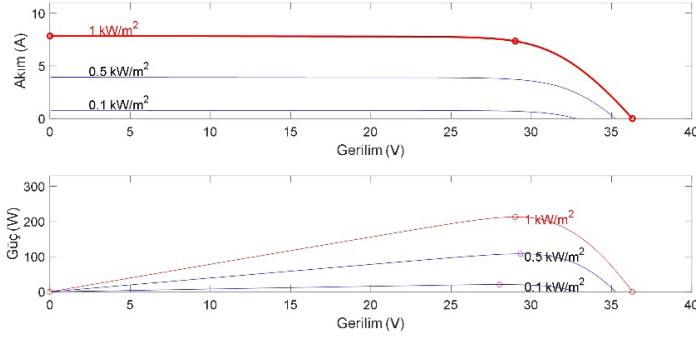
ÜÇ FAZLI ÇOK SEVİYELİ EVİRİCİ TOPOLOJİLERİ			
Bir Fazdaki Eleman Sayısı	Diyot Kenetlemeli	Kondansatörlü	Kaskat H-Köprü
Diyot	$(N-1)(N-2)$	0	0
Kondansatör	N-1	N-1	$(N-1)/2$
Yardımcı Kondansatör	0	$(N-1)(N-2)/2$	0
Anahtar	$2(N-1)$	$2(N-1)$	$2(N-1)$
Uygulama Alanları	AA Sürücüler	AA Sürücüler	AA Sürücüler, FV, Rüzgâr

#### 4. Çok Seviyeli Eviricilerde MGNT Algoritmaları

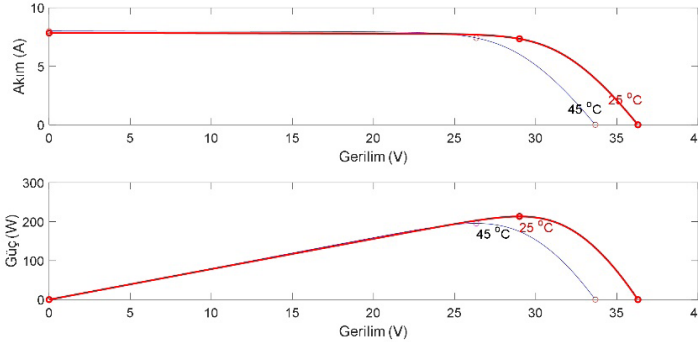
Günümüzde enerji sektörü, yüksek verimli ve sürdürülebilir enerji dönüşüm sistemleri konularında sürekli bir arayış içindedir. Bu kapsamda, güç elektroniği teknolojilerindeki gelişmeler, özellikle çok seviyeli eviricilerin geliştirilmesi, enerji dönüşümündeki önemli adımlardan birini temsil etmektedir. Çok seviyeli eviricilerde enerji dönüşümündeki önemli unsurlardan birisi de güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji uygulamalarında evirici girişindeki gücü maksimum seviyede sağlamaktır. Bu kapsamda, özellikle eviricilerin çok sık kullanıldığı FV sistemlerde panellerden maksimum güç sağlamak amacıyla Maksimum Güç Noktası Takibi (MGNT) algoritmaları kullanılmaktadır. Devredeki yüke veya evirici girişine aktarılan gücün maksimum olduğu noktaya ise maksimum güç noktası (MGN) adı verilir. FV panellerde çıkış gücünün sürekli olarak en yüksek seviyede tutulması MGNT algoritmaları ile gerçekleştirilir. MGNT

algoritmaları, FV panel tarafından belirli aralıklarla üretilen gücün maksimum değerine ulaştığı noktayı takip ederler (Karami, Moubayed, & Outbib, 2017; Motahhir, El Hammoui, & El Ghzizal, 2020; Sarvi & Azadian, 2022).

Güneş enerjisinden elektrik üretimi; düşük maliyeti, kullanım kolaylığı ve çevre dostu gibi özelliklerinden dolayı önemli bir alternatif enerji kaynağı haline gelmiştir. FV paneller güneş enerjisini DA elektrik enerjisine dönüştüren sistemler olup çıkış güçleri güneş ışınım şiddetine ve ortam sıcaklığına göre değişkenlik göstermektedir. Şekil 6 ve Şekil 7’de 300W gücündeki bir FV panele ait, sabit sıcaklık ( $25^{\circ}\text{C}$ ) ve farklı güneş ışınım ( $1000\text{W}/\text{m}^2$ ,  $500\text{W}/\text{m}^2$ ,  $100\text{W}/\text{m}^2$ ) ile sabit ışınım ( $1000\text{W}/\text{m}^2$ ) ve farklı sıcaklık ( $25^{\circ}\text{C}$ ,  $45^{\circ}\text{C}$ ) değerlerinde elde edilen akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) karakteristik eğrileri görülmektedir. Güneş ışınım şiddetinin artışı ile panel akımı orantılı olarak değişmekte ve bunun sonucunda panelden elde edilen çıkış gücü artmaktadır. Ortam sıcaklığının artması ise panel akım değerini artırırken panel gerilim değerini azaltmaktadır. FV panel gerilim değerindeki değişim daha büyük olduğu için panelden elde edilen çıkış gücü azalmaktadır.

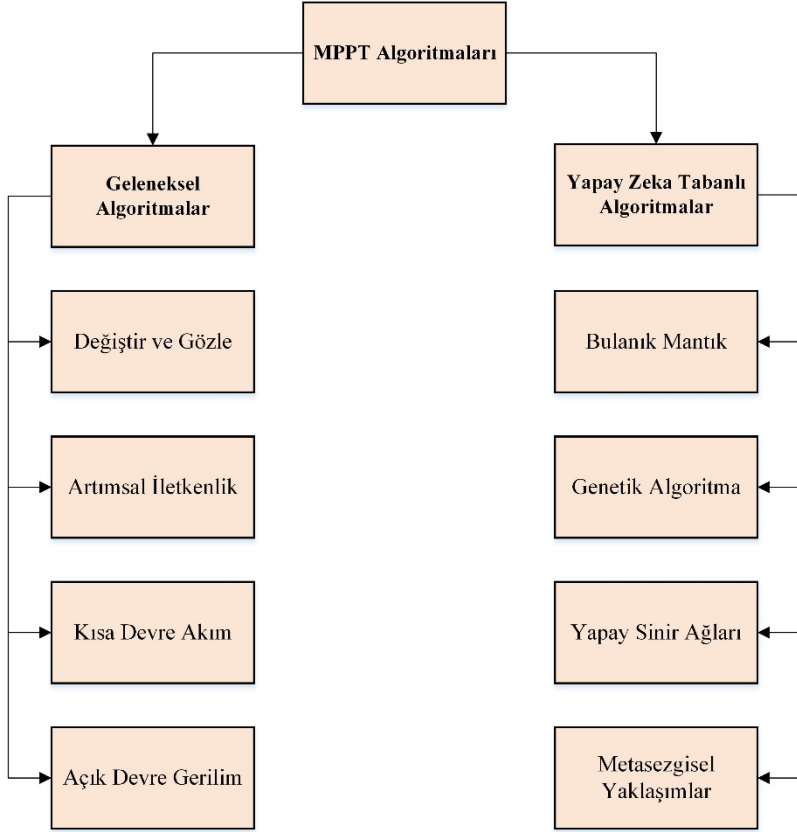


Şekil 6. Sabit sıcaklık ve farklı ışınımında I-V ve P-V karakteristik eğrileri



Şekil 7. Sabit ışınım ve farklı sıcaklıkta I-V ve P-V karakteristik eğrileri

Özellikle FV sistemlerde kullanılmak amacıyla son yıllarda birçok MGNT algoritması geliştirilmiştir. Literatür çalışmalarında birçok farklı MGNT kullanılmakla birlikte bu algoritmalar; verimlilik, yakınsama hızı, maliyet ve kullanım kolaylığı bakımından ayrılmaktadır (Bollipo, Mikkili, & Bonthagorla, 2020; Mohapatra, Nayak, Das, & Mohanty, 2017). Şekil 8’de görüldüğü üzere MGNT algoritmaları geleneksel ve yapay zekâ tabanlı olmak üzere iki farklı şekilde sınıflandırılabilirler.



Şekil 8. MGNT algoritmalarının sınıflandırılması

#### 4.1. Geleneksel MGNT Algoritmaları

FV panelin çevresel şartlara bağlı olarak anlık ürettiği akım ve gerilim değerlerindeki değişimlerin ilgili sensörler kullanılarak maksimum güç noktasına ulaşılmasına geleneksel MGNT araştırma yöntemleri adı verilir (Mao et al., 2020). Geleneksel algoritmalar basit, uygulaması kolay ve düşük maliyetli olmaları avantajıyla birlikte, değişken ortam koşullarına hızlı bir şekilde uyum

sağlama bakımından bazı kısıtlamalara sahiptir. Bu durum, bu algoritmaların verimliliklerini olumsuz açıdan etkileyebilir. Özellikle parçalı gölgeli durumlar altında yanlış güç izleme sonuçları üretebilirler. Uygulamalarda en yaygın değiştir ve gözle (P&O) ve artımsal iletkenlik (IC) algoritmaları kullanılmaktadır. Her iki yöntem de çevresel şartlara bağlı olarak FV panel çıkış gücündeki değişimi anlık akım ve gerilim ölçümleriyle hesaplar ve maksimum gücü takip eder. Geleneksel algoritmalar; kendi içerisinde avantaj ve dezavantajlara sahip olmakla birlikte, ilerleyen yıllar içerisinde daha karmaşık ve etkin MGNT algoritmaları önerilmiştir.

#### ***4.2. Yapay Zekâ Tabanlı MGNT Algoritmaları***

Panel açık devre gerilimi ve kısa devre akımı, güneş ışınım şiddeti, panel sıcaklığı ile belirli matematiksel ifadeler ve yaklaşımlar kullanılarak maksimum güç noktasına ulaşılmasına yapay zekâ tabanlı araştırma yöntemleri adı verilir (Mao et al., 2020). En yaygın kullanılan yapay zekâ tabanlı MGNT algoritmaları; bulanık mantık, genetik algoritma, yapay sinir ağları ile günümüzde çok sık kullanılan sürü davranışı veya diğer biyolojik temellere dayalı olarak geliştirilen metasezgisel yöntemlerdir. Genellikle karmaşık ve çok boyutlu olan yapay zekâ tabanlı MGNT algoritmaları, hem değişken ortam koşullarında hem de parçalı gölgeli durumlarında maksimum gücü daha etkin şekilde takip edebilmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, çok seviyeli evirici devreleri için en sık kullanılan MGNT algoritmaları; P&O, IC ve yapay sinir ağları ile birden fazla algoritmanın beraberce kullanıldığı hibrit yaklaşımlardır (Bughneda et al., 2021).

### **5. Çok Seviyeli Eviricilerin Gelecek Beklentileri**

Çok seviyeli evirici devreleri düşük anahtarlama frekansında yüksek kaliteli çıkış dalga sinyali üretebilmeleri nedeniyle, orta ve yüksek güçlerdeki uygulamalarda geniş ölçüde uygulanmaktadır. Günümüzde geliştirilen hibrit yapılı çok seviyeli eviriciler, geleneksel içten yanmalı motorların yerini almaya başlayan yakıt hücreli ve elektrikli araçlarda batarya yönetim sistemlerinde kullanılmaktadır. Özellikle rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji sistemlerinde güç dönüşümlerinde kaskat H-köprü evirici devresi esnek ve modüler yapısı gereği oldukça fazla tercih edilmektedir. Çok seviyeli eviriciler için bazı karşılaşılan zorluklar ve gelecekteki potansiyel çalışma alanları temel olarak şu şekilde özetlenebilir.

Çok seviyeli eviricilerde belirli uygulamalar için en uygun topolojiyi bulmak, verimliliği artırmak, bileşen sayısını azaltmak ve güvenilirliği artırmak amacıyla yeni devre tasarımları ortaya koyulmalıdır. Çok seviyeli eviriciler için modülasyon tekniklerinin geliştirilmesi, kaliteli çıkış dalga formları elde etmek için gereklidir. Bu kapsamda anahtarlama kayıpları, harmonik bozulma ve karmaşıklık arasındaki dengeyi sağlayan yeni modülasyon teknikleri araştırılmalıdır. Güç katında kullanılan anahtarlama elemanları ile diyot ve kondansatör gibi pasif devre elemanlarının kararlı ve güvenilir şekilde çalışmasına odaklanılması eviricinin genel ömrünü uzatmak için gereklidir. Çok seviyeli eviricilerde anahtarlarda oluşan güç kayıplarının en aza indirilmesi, genel verimliliğin artırılması bakımından kritik bir konudur. Bu kapsamda, iletim ve anahtarlama kayıplarını azaltmak için geliştirilmiş Silisyum Karbür (SiC) MOSFET'ler gibi yeni teknolojik yarı iletken anahtarlar kullanılmalıdır. Çok seviyeli eviricilerin hata toleransının iyileştirilmesi, eviricinin güvenilir çalışmasını sağlamak ve sağlamlığını artırmak için üzerinde durulması gereken başka bir husustur. Çok seviyeli eviricilerde maliyet hesabı, özellikle orta ve yüksek güçlerdeki uygulamalarda sınırlayıcı bir faktör olabilir. Gelecekteki çalışmalar, çok seviyeli eviricilerde toplam maliyeti azaltmak amacıyla uygun üretim teknikleriyle geliştirilen devre elemanlarının araştırılmasını içerebilir. Bu bağlamda belirtilen zorlukların giderilmesi amacıyla yapılacak sürekli iyileştirmeler, çok seviyeli eviricilerin farklı uygulamalarda etkin olarak kullanılmasına katkıda bulunacaktır.

## 6. Sonuç

Bu çalışmada, güç elektroniği alanında orta ve büyük güçlerdeki uygulamalarda son yıllarda yaygın olarak kullanılan çok seviyeli eviricilerin temel çalışma prensipleri, avantaj ve dezavantajları ile gelecek beklentileri anlatılmıştır. Diyot kenetlemeli, kondansatörlü ve kaskat H-köprü eviricileri kendi arasında karşılaştırmalı olarak incelenmiş, enerji dönüşümünü sağlaması bakımından her bir topolojinin öne çıkan yönleri ve kısıtlamaları vurgulanmıştır. Ayrıca çok seviyeli eviriciler için FV ve rüzgâr enerji sistemlerinde kullanılan geleneksel ve yapay zekâ tabanlı MGNT algoritmalarından karşılaştırmalı olarak bahsedilmiştir. Geleneksel eviricilerle karşılaştırıldığında; düşük gerilim stresi ve EMI üretmeleri, temel anahtarlama frekansına yakın frekanslarda çalışabilme özellikleri ve toplam harmonik bozulunun az olması nedeniyle çıkış dalga formu şeklini ve kalitesini iyileştirmeleri çok seviyeli eviricilerin başlıca avantajlarıdır. Çok seviyeli eviricilerin devre tasarım aşamalarında ve üretim süreçlerinde

yapılacak geliştirmeler neticesinde; eviricinin boyut, maliyet, güç kalitesi ve verimlilik gibi performans parametrelerinde iyileştirmeler sağlanabilir.

### Kaynakça

Arulkumar, K., Palanisamy, K., & Vijayakumar, D. (2016). Recent advances and control techniques in grid connected PV system—A review. *International Journal of Renewable Energy Research*, 6(3), 1037-1049.

Balal, A., Dinkhah, S., Shahabi, F., Herrera, M., & Chuang, Y. L. (2022). A review on multilevel inverter topologies. *Emerging Science Journal*, 6(1), 185-200.

Bodur, H. (2012). *Güç elektroniği*: Birsen Yayınevi.

Bollipo, R. B., Mikkili, S., & Bonthagorla, P. K. (2020). Critical review on PV MPPT techniques: classical, intelligent and optimisation. *IET Renewable Power Generation*, 14(9), 1433-1452.

Bughneda, A., Salem, M., Richelli, A., Ishak, D., & Alatai, S. (2021). Review of multilevel inverters for PV energy system applications. *Energies*, 14(6), 1585.

Choudhury, S., Bajaj, M., Dash, T., Kamel, S., & Jurado, F. (2021). Multilevel inverter: A survey on classical and advanced topologies, control schemes, applications to power system and future prospects. *Energies*, 14(18), 5773.

Çolak, İ., & Kabalcı, E. (2008). Evirici Topolojileri ve Gelişimleri Üzerine Bir İnceleme A Review on Inverter Topologies and Developments.

El-Hosainy, A., Hamed, H. A., Azazi, H. Z., & El-Kholy, E. (2017). *A review of multilevel inverter topologies, control techniques, and applications*. Paper presented at the 2017 Nineteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON).

Karami, N., Moubayed, N., & Outbib, R. (2017). General review and classification of different MPPT Techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 1-18.

Kavya Santhoshi, B., Mohana Sundaram, K., Padmanaban, S., Holm-Nielsen, J. B., & KK, P. (2019). Critical review of PV grid-tied inverters. *Energies*, 12(10), 1921.

Kazdaloğlu, A., Çakır, B., Demir, M., Güneroğlu, A., Özdemir, E., & Uçar, M. (2011). Fotovoltaik Elektrik Üretim Sistemlerinde Kullanılan Çok Seviyeli Eviricilerin İncelenmesi. *EVK2011*, 4, 12-13.



Koshti, A. K., & Rao, M. (2017). *A brief review on multilevel inverter topologies*. Paper presented at the 2017 International Conference on Data Management, Analytics and Innovation (ICDMAI).

Mao, M., Cui, L., Zhang, Q., Guo, K., Zhou, L., & Huang, H. (2020). Classification and summarization of solar photovoltaic MPPT techniques: A review based on traditional and intelligent control strategies. *Energy Reports*, 6, 1312-1327.

Meynard, T. A., & Foch, H. (1992). *Multi-level conversion: high voltage choppers and voltage-source inverters*. Paper presented at the PESC'92 Record. 23rd Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference.

Mohapatra, A., Nayak, B., Das, P., & Mohanty, K. B. (2017). A review on MPPT techniques of PV system under partial shading condition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 854-867.

Motahhir, S., El Hammoumi, A., & El Ghzizal, A. (2020). The most used MPPT algorithms: Review and the suitable low-cost embedded board for each algorithm. *Journal of cleaner production*, 246, 118983.

Nabae, A., Takahashi, I., & Akagi, H. (1981). A new neutral-point-clamped PWM inverter. *IEEE Transactions on industry applications*(5), 518-523.

Nyamathulla, S., Chittathuru, D., & Muyeen, S. (2023). An Overview of Multilevel Inverters Lifetime Assessment for Grid-Connected Solar Photovoltaic Applications. *Electronics*, 12(8), 1944.

Olabi, A., & Abdelkareem, M. A. (2022). Renewable energy and climate change. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, 112111.

Pillai, D. S., & Rajasekar, N. (2018). A comprehensive review on protection challenges and fault diagnosis in PV systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 18-40.

Poorfakhraei, A., Narimani, M., & Emadi, A. (2021). A review of modulation and control techniques for multilevel inverters in traction applications. *IEEE Access*, 9, 24187-24204.

Salem, M., Richelli, A., Yahya, K., Hamidi, M. N., Ang, T.-Z., & Alhamrouni, I. (2022). A comprehensive review on multilevel inverters for grid-tied system applications. *Energies*, 15(17), 6315.

Sarvi, M., & Azadian, A. (2022). A comprehensive review and classified comparison of MPPT algorithms in PV systems. *Energy Systems*, 13(2), 281-320.

Shafiullah, M., Ahmed, S. D., & Al-Sulaiman, F. A. (2022). Grid integration challenges and solution strategies for solar pv systems: A review. *IEEE Access*, *10*, 52233-52257.

Soeder, D. J., & Soeder, D. J. (2021). Fossil fuels and climate change. *Fracking and the Environment: A scientific assessment of the environmental risks from hydraulic fracturing and fossil fuels*, 155-185.

Wu, B., & Narimani, M. (2017). Cascaded H-bridge multilevel inverters.



## BÖLÜM IX

# İÇMEKAN DONATILARI DEVRİLME TEST DÜZENEGİ

### *Indoor Fittings Overturning Test Mechanism*

Süleyman ÖZCAN<sup>1</sup> & Cemal ÖZCAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Dr. Öğr Üyesi), Karabük Üniversite,  
Safranbolu Fethi Toker Güzel Sanatlar ve Tasarım  
Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Bölümü, Karabük, Türkiye  
E-mail: süleymanozcan@karabuk.edu.tr  
ORCID: 0000-0003-3583-7911

<sup>2</sup>(Dr. Öğr Üyesi), Karabük Üniversite,  
Safranbolu Fethi Toker Güzel Sanatlar ve Tasarım  
Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Bölümü, Karabük, Türkiye  
E-mail: cemalozcan@karabuk.edu.tr  
ORCID: 0000-0001-6583-4143

### 1. Giriş

İnsanlar yaşam alanlarını kullanışlı ve fonksiyonel hale getirmek için yıllar boyu farklı mobilyalar kullanmış ve kullanmaya devam etmektedir. Mobilyalar insanların yaşam alanlarının ayrılmaz bir parçasıdır. İnsanlar günün büyük bölümünü konutlarda mobilyaların arasında geçirmektedir. Mobilyalar insanların yaşam konforlarını ve güvenliğini doğrudan etkilemektedir.

Mobilyalar, kullanıldıkları yerlerde konforu ve yaşam kalitesini arttırılabilseler de, üretim sürecinde hem tasarımcılar hem de üreticiler tarafından kusurlu, ihmalkâr veya etkilenmiş olabilmeleri nedeniyle ciddi güvenlik riskleri de oluşturabilir ve kullanıcıların sağlık ve güvenliğini tehlikeye atabilir. İç

\* Bu çalışma Dr. Öğr. Üyesi Cemal ÖZCAN danışmanlığındaki “İçmekan donatılarında güvenliğin artırılması ve devrilmenin önlenmesi amaçlı ürün tasarımı ve örnek uygulamaları” başlıklı doktora tez çalışması kapsamında üretilmiştir (Doktora. Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2023).

mekanlarda mobilyaların devrilmesiyle ilişkili olarak kazalar, yaralanmalar ve hatta ölüm dahil olmak üzere bir dizi potansiyel risk vardır. Çocukların yatak odaları, okul öncesi eğitim kurumları, yurtlar vb. yaşam alanlarında bilinçsizce hareket etmeleri nedeniyle mobilyaların devrilmesi, özellikle yatak odaları, okul öncesi eğitim kurumları, yurtlar söz konusu olduğunda ciddi bir sorundur.

Mobilya güvenliği ve güvenli mobilya kullanımı, tasarımdan üretime ve kullanıma kadar çok çeşitli konuları kapsar. Bir tasarımcı, bir ürünün görsel yönlerini dikkate almadan önce, güvenlik yönlerini göz önünde bulundurmalıdır. Üretim kolaylığı, maliyet azaltma ve insan güvenliği gibi diğer faktörleri göz önünde bulundurmadan önce, bir üretici, malzemelerini, boyutlarını ve biçimlerini belirlemeden önce ürünün güvenli olmasını sağlamaya dikkat etmelidir. Kullanıcı talimatları, ürünlerin paket üzerinde belirtilen hüküm ve koşullara göre kullanılmasını tavsiye eder.

Ülkemiz coğrafyası, içinden geçen aktif fay hatları boyunca farklı büyüklüklerde birçok yıkıcı depremin varlığıyla karakterize edilir. Bir deprem meydana geldiğinde, bir binanın sallanması, binanın yapısının bir parçası olmayan elemanları ve mobilyaları devirebilir. Bu gibi durumlarda mobilyalar insanların ölümüne veya ciddi şekilde yaralanmasına neden olabilir. Bu nedenle, yaralanma riskini en aza indirmek için mobilya kullanırken uygun güvenlik önlemlerinin alındığından emin olmak hayati önem taşımaktadır. (Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, 2011)

İç mekânlarda meydana gelen kaza ve yaralanmalarda kullanılan mobilyaların özellikle kitaplık, malzeme dolapları, şifonyer vb. gibi büyük bir kısmının devrilmeye karşı önlem alınmadan kullanıldığı ve bunun sonucunda devrilerek ölüm ve yaralanmalara neden olduğu literatürde yer alan çalışmalarda görülmektedir.

Bu çalışma da iç mekânlarda ve yaşam alanlarında devrilmelerden kaynaklı oluşabilecek ölüm ve yaralanmalara neden olabilen kazalara karşı güvenli bir şekilde kullanılmasına katkı sağlamak ve yapılacak deneylerde kullanılmak amacıyla mobilya devrilme test düzeneği oluşturulmuştur.

## 2. Genel Bilgiler

### 2.1. İç Mekân Donatıları

Bir binanın iç mekanı, yüzeyleri tarafından sınırlanan yaşam alanıdır. Buna karşılık, iç mekan donanımları, kullanıcı ihtiyaçlarını karşılamak üzere iç mekanı şekillendirmek için kullanılan ürünlerdir. Mobilya bu ihtiyaçları karşılar.

İç mekan tasarımında, iç mekan donatıları insanların her zaman hayatta kalmak için zorunlu ihtiyaçlarını karşılayan gerekli bileşenlerdir (Eakin ve Kurtich, 1993); (Kaptan, 2001)

Ev donatıları ve yardımcı elemanlar, konut alanlarını işlevsel ve yaşanabilir kılmak ve konforu artırmak için çok önemlidir. Aynı zamanda bir mekânı işlevsel hale getirirler. Sabit ve hareketli olmak üzere iki tür iç donatı vardır. (Yıldırım, Ergun ve Üner, 2019); (Özkan, 2017)

Sabit donatılar, mekânların işlev kazanması ve ihtiyaçlara cevap verebilmesi için kullanılan ürün, mobilya veya yapı elemanlarının yapı ile bütünleşik hale getirilmesi ile oluşur. Bu donatıların genellikle mekânlara yerleştirildikten sonra hareket etme veya yerlerinin değiştirilme ihtimali olmadığından sabit donatılar olarak tanımlanmaktadır. Bölücü paneller, gömme dolap, mutfak dolabı vb. bileşenler bu grupta yer almaktadır (Yıldırım, Başkaya ve Hidayetoğlu, 2005); (Üst, 2015)

Hareketli donatılar konut ya da diğer binalara ait mekânlarda, kullanıcıların çeşitli gereksinimlerine uygun olarak konfor koşullarını sağlamak üzere tasarlanıp üretilmiş masa, sandalye, yatak, şifonyer, konsol, tuvalet masası ve elbise dolabı gibi hareket ettirilebilen mobilyaları kapsamaktadır (Dikel, 2019); (Ümütlü, 2020)

## **2.2. İç Mekânda Güvenlik**

İç mekân tasarımı kullanıcıların mekân içinde güvenli, konforlu ve işlevsel olarak eylemlerini, beklentileri doğrultusunda gerçekleştirmelerini amaçlamaktadır. İç mekân tasarımının temel noktası insandır ve mekanlar insanların gereksinimlerini karşılayacak şekilde düzenlenmelidir. İnsanların fiziksel ihtiyaçlarının yanında güvenlik ihtiyaçları ve yaşadıkları alanlarda kendilerini güvende hissetme gereksinimleri bulunmaktadır (Ünlü, 2020).

Yaşam alanlarımızı çevreleyen iç mekân donatılarında kullanılan malzemelerin boyutları ve biçimleri gibi her türlü bileşenin, güvenliği tehdit edebilecek herhangi bir özellik taşımaması oldukça önemlidir. İç mekân donatılarının yaşam alanları içerisinde istek ve ihtiyaçları karşılaması için kullanılması yanında, kullanıcılar için herhangi bir tehlike ve risk oluşturmaması gerekir (Olkowicz ve Waclaw, 2012).

## **2.3. İç Mekânda Kaza ve Riskler**

Kazalar, genellikle kazanın gerçekleştiği yere göre adlandırılır ve toplumlarda sağlık sorunları içinde önemli bir yer tutar. Ev kazaları; bir evin

içerisinde veya eve ait yakın bir çevrede meydana gelen kazalardır. Kazalar ülkeler ve yaş gruplarına göre farklılıklar göstermekle birlikte tüm kazaların yaklaşık %25'ini ev kazaları oluşturmaktadır (Bertan ve Çakır, 1995); (Sütuluk, Savaş, Özden ve Akbaba, 2007); (Köse ve Bakırcı, 2007).

Son yıllarda yapılan farklı araştırmalar, özellikle salgın döneminde ev kazalarının görülme oranlarında artış olduğunu göstermektedir. Yetişkinlerin ve çocukların yaşam tarzlarındaki hızlı değişimlerin ev içi kaza ve yaralanmalarında etkili olduğu görülmüştür. Kaza ve yaralanmalardaki bu artış hastanelere yapılan kaza ve yaralanma kaynaklı vakalara yansımıştır. Bu kaza ve yaralanmaların nedenleri içerisinde iç mekân mobilyalarında önemli yer tutmaktadır (Balcı, Sezer ve Durmuş, 2020); (Bressan, Gallo, Tirelli, Gregori ve Da Dalt, 2021); (Wong, Hung ve Leung, 2021) .

Risk; olay olmadan önce oluşabilecek olumsuz sonuçların tahmin edilmesi veya belirlenmesi işlemidir. Daha genel bir ifadeyle risk; bir doğal olay veya tehlikenin insan veya insanın etkileşimde olduğu bileşenler üzerinde, sosyal, fiziksel, çevresel, ekonomik, kültürel ve politik süreçlere bağlı bir şekilde neden olabileceği kayıplar olarak da tanımlanabilir. İç mekânlarda karşılaşılabilecek riskler yapısal riskler ve yapısal olmayan riskler olarak iki ana grupta toplanabilir (Ergünay, 2009).

Yapısal riskler genel olarak bir yapıyı oluşturan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan unsurlar ile ilgili riskler olarak tanımlanabilir. Yapısal unsurlar kolon, giriş, taşıyıcı duvar vb. binanın statik yükünü taşıyan bölümleri olarak tanımlanabilirken, taşıyıcı olmayan yapı elemanları bunların dışındaki bölücü duvarlar vb. yapı bileşenleridir. Binalar ile ilgili bu yapısal birleşenler, yapı denetim kurumları, ilgili kanun, yönetmelikler vb. şekilde denetim altında tutulmaktadır. Yapısal riskler ile ilgili farkındalık ve denetim yapısal olmayan risklerde aynı derecede önemli görülmemektedir (İlki, Gürbüz ve Demir, 2008); (Bayraktar, Sahtiyancı ve Kuru, 2019); (Küçükcan, 2020).

Yapısal olmayan elemanlar, bir binanın taşıyıcı sistemi olan kolon, giriş, taşıyıcı duvar, çatı ve temel gibi kısımlar haricindeki bütün bileşenlerden oluşmaktadır. Diğer bir ifade ile yapısal olmayan elemanlar taşıyıcı özelliği olmayan, yatay ve düşey yük taşımayan yapı içindeki mimari, mekanik ve elektrikten oluşan elemanlar olarak sınıflandırmıştır. Bu bağlamda; Tüm mobilya ve eşyalar (sandalye, koltuk, yatak odası, masa, şifonyer, komidin, dolap, portmanto, çekmece ve normal ve endüstriyel raflar, kitaplar, bilgisayar ve aparatları, duvar ve tavana monte TV, beyaz eşya ve tezgahlar yapısal olmayan

risk faktörleri olarak gruplandırılabilir ve yaşam alanlarının güvenliği açısından oldukça önemlidir (Durukal, Erdik, Sunday, Türkmen ve Harmandar, 2008); (ipek, 2015); (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırmaları Enstitüsü, 2005).

İç mekânlarda yapısal olmayan elemanlar; can ve mal kaybına neden olması, yaralanmalara yol açması, devam eden faaliyetleri durdurması, yangın tehlikesi oluşturması gibi nedenlerden dolayı risk açısından mekânın en önemli parçalarını oluşturmaktadır. Gerek insan faktöründen kaynaklı gerekse dış faktörlerden kaynaklı oluşabilecek zararlarda yapısal olmayan iç mekân donatıları önemli bir yer tutmaktadır. Yapılan bazı araştırmalarda deprem sonrası oluşabilecek zararın Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Japonya'da %85 oranında yapısal olmayan elemanlardan kaynaklandığı tespit edilmiştir (Federal Acil Durum Yönetim Ajansı, 2011); (Takashi ve Shiohara, 2004); (Miranda ve Taghavi, 2003)

Yapılan çalışmalar ve literatür taramaları göstermektedir ki; İç mekânlarda ve yaşam alanlarında kullanılan mobilyalar kullanıcılardan kaynaklı hatalar, depremler, tasarım ve üretimden kaynaklı hatalardan dolayı devrilebilmekte, ölüm ve yaralanmalara neden olan ciddi sorunlara yol açmaktadır. Kullanıcılar mobilyalarını uygulama zorluğu, iç mekânlardaki eşyaların yerlerini değiştirme istekleri ve mekânlarındaki duvarlara zarar vermek istememeleri gibi çeşitli sebeplerden sabitlememektedir.

Her yıl mobilyaların devrilmesi sonucu ülkemizde ve dünyada birçok çocuk ve kullanıcı yaralanmakta veya ölmektedir. Bu durum yapılan araştırmalarda ve güncel haberlerde her geçen gün karşımıza çıkmaktadır. İnsanların ölümüne ve yaralanmasına neden olan bu durumun çözülmesi veya en aza indirilmesi gerektiği vurgulanmakta fakat uygulanabilir, kolay ve fonksiyonel bir çözüm sunulmamaktadır.

Literatürde sadece sorun olarak yer alan mobilya devrilmesine alternatif çözüm oluşturabilecek tasarımlar ve çözüm önerileri sunulmadığı, bu alanda ciddi bir eksiklik olduğu görülmektedir. Geliştirilen bu devrilme testi düzeneği ile yapılacak çalışmaları test etme imkanı sağlayacaktır.

### 3. Deney Düzeneğinin Oluşturulması

Devrilme testlerin yapılması için hazırlanan deney düzeneği (TS 9215, 1991) Ahşap Mobilya- Mukavemet ve Denge Deneyle ve (TS EN 14073-2, 2008) Büro mobilyası - muhafaza mobilyası iskeletin mukavemet ve dengesinin tayini için deney metotları standartları göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır.



Düzenegin hazırlanmasında kullanılan test cihazı ve hazırlanan düzenekler şu şekildedir.

### **3.1. Universal Test Cihazı**

Mobilya ayaklarının ve tasarlanan prototiplerin devrilmeye olan etkilerini ölçmek amacı ile Safranbolu Şefik Yılmaz Dizdar Meslek Yüksekokulu İç Mekân Tasarımı Programı test laboratuvarı ve buradaki 5 KN (Kilo Newton) yük kapasiteli universal test cihazı kullanılmıştır (Şekil 1).

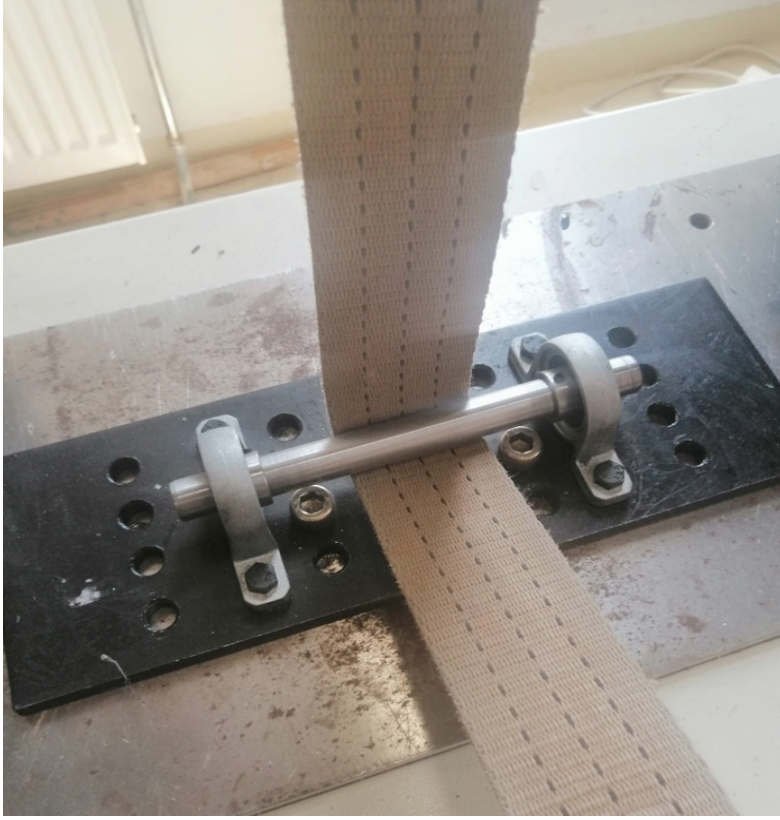


Şekil 1. Universal test cihazı

### **3.2. Güç Aktarım Aparatı ve Yükseklik Ayarlı Makara Sistemi**

Test cihazındaki yük sensörlerinin dolaba uygulanan kuvveti hassas bir şekilde ölçebilmesi için universal test cihazı üzerine Şekil 3.6'da görünen güç aktarım aparatı tasarlanarak üretilmiştir. Aparat 5mm kalınlığında metal plaka üzerine yerleştirilen rulmanlar ve arasında konumlandırılan metal pimden oluşturularak test cihazının üzerine loadcell aparatına doksan derece olacak şekilde monte edilmiştir. Bu yeni güç aktarım sistemi sayesinde dolaba

uygulanan kuvvetin hassas bir şekilde ölçülmesi sağlanmıştır. Yapılan aparat Şekil 2’de görülmektedir.



**Şekil 2.** Universal test cihazı için geliştirilen güç aktarım aparatı

Test cihazı için hazırlanan şekildeki güç atarım aparatı ile loadcell sensörlerin çok hassas bir şekilde ölçüm yapmaları sağlanmıştır. Deney düzeneği oluşturma çalışmalarında ikinci olarak dolaba uygulanacak kuvvet yükseklikleri ile aynı doğrultuda olacak şekilde yeni bir kuvvet aktarım makara sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemde ise iki adet destek ayağı üzerine eşit aralıklar ile delikler açılarak üzerine rulman ve pimden oluşan makara sistemi yerleştirilmiştir.

Bu sistem sayesinde yükseklik ayarlı kuvvet uygulama imkânı sağlanarak test düzeneğinin hassas ve doğru sonuçlar vermesi sağlanmıştır. Makara sistemi ile test cihazından alınan çekme kuvvetinin yönü devrilmeyi sağlayacak şekilde yatay olarak uygulanmıştır. Geliştirilen kademeli güç aktarım sistemi Şekil 3’te verilmiştir.

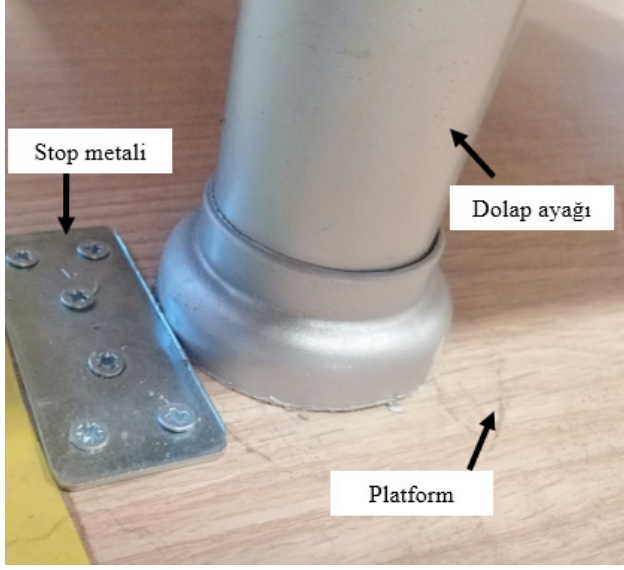


Şekil 3. Yükseklik ayarlı güç aktarım sistemi

Test düzeneği için geliştirilen ve uygulanan bu iki güç aktarım düzeneği sayesinde hassas bir şekilde ölçümlerin yapılması sağlanmıştır. Kuvvetler sürtünmesiz makara sistemi ile yükleme yastığı aynı doğrultuda olacak şekilde uygulanmıştır.

### ***3.3. Platform ve Stop Takozlarının Oluşturulması***

Test edilecek ürünler yere sabitlenmiş olan sert ve düzgün yüzeyli platform üzerine yerleştirilmiştir. Platform üzerine dolabın kaymasını önlemek amacı ile 3 mm yüksekliğinde metal stop takozları monte edilmiştir (Şekil 4). Platformun yere düzgün olarak sabitlenmesi ve dengesi su terazisi ile ölçülmüştür.



Şekil 4. Platform ve stop metali

### 3.4. Yükleme Yastıkları

Dolaba uygulanan kuvvetler ilgili standart gereği yükleme yastığı ile yapılmıştır. Yükleme yastığı olarak 100 mm çapında ve ön kenarı 12 mm yarıçapla yuvarlatılmış standartlara uygun ahşap yükleme yastığı hazırlanmıştır (Şekil 5). Sistemin ve dolapların dengesi her ölçüm öncesi su terazisi ile kontrol edilmiştir.



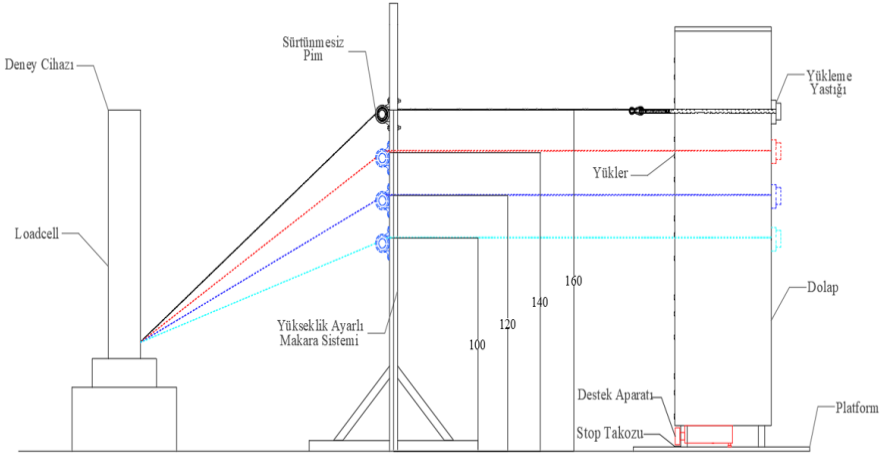
Şekil 5. Yükleme Yastığı

### 3.5. Düzenğin Ölçüme Hazır Hale Getirilmesi

Deney düzeni TS 9215 (28) Ahşap Mobilya - Mukavemet ve Denge Deneyleri ve TS EN 14073-2 (29) Büro mobilyası- muhafaza mobilyası iskeletin mukavemet ve dengesinin tayini için deney metotları standartları göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır. Düzenek şeması Şekil 6'da verilmiştir. Düzenekte yükleme yastığı ve sürtünmesiz makara düzeni aynı doğrultuda olmasına dikkat edilmiştir. Dolapların dengesi her ölçümden önce su terazisi yardımıyla kontrol edilmiştir. Uygulanan kuvvet deney cihazına bağlı bilgisayar ile hassas olarak ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

### 4. Deney Düzeninin Çalışması

İlgili standartlara göre hazırlanan deney düzeni şeması aşağıda verilmiştir. (Şekil 6)



Şekil 6. Deney düzeni şeması

Testlerde devrilmeye tabii tutulacak deney örneği platform üzerine yerleştirilir. Ayaklar stop takozuna yaslanarak hizalanır ve kayması önlenmiş olur. Dolaba uygulanacak kuvvet yüksekliğine göre yükleme yastığı deney örneğine sabitlenir. Yükleme yastığı ile güç aktarım sistemi aynı doğrultuda olacak şekilde kademeli güç aktarım sistemi ayarlanır. Devrilme için uygulanan kuvvet deney cihazı üzerindeki güç aktarım sistemi ve kademeli yükseklik ayarlı güç aktarım sistemi üzerinden geçerek yükleme takozuna ulaşmaktadır. Deney cihazına bağlı bilgisayar üzerinden istenilen çekme hızı ve limit değerler arasında çekme kuvveti uygulanarak devrilme sağlanır ve değerler kaydedilir.

## 5. Sonuç

Geliştirilen devrilme testi düzeneğinin kullanıcılara sunduğu avantajlar; Günümüze kadar yapılan ve devam eden devrilme deneylerinde standartlarda belirtilen sabit kuvvet değeri numuneye uygulanarak devrilmenin gerçekleşip gerçekleşmediği ölçülmektedir. Geçti kaldı sistemi olarak bilinen bu yöntemde maksimum devrilme değerlerine ulaşılammaktadır. Bu sistem ile ürünlerin devrilmesi için gereken maksimum devrilme kuvvetine ulaşarak devrilme dayanımı, ortam ve tasarım güvenliği hakkında net veriler elde edilebilmektedir.

Düzenek ile numunelere uygulanacak kuvvetin yüksekliği, hızı ve kuvvet uygulama açısı değiştirilerek farklı senaryolar gerçekleştirilebilir.

Düzenekte bulunan hassas yük sensörleri sayesinde uygulanan kuvvet değerleri hatasız olarak sayısal veriler ve grafikler ile kaydedilmektedir.

## Kaynakça

AFAD, (2011). “Depreme Karşı Yapısal Olmayan Risklerin Azaltılması” Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, İstanbul, 2-8.

Eakin, G., and Kurtich, J., (1993).”The Interior Architecture”, Ed. Van Nostrand Reinhold, New York, 179.

Kaptan, B. Burak., (2001). «İç mekânın niteliğini belirleyen öğelerin görsellik kazanmasını sağlayan oluşumlar», *Anadolu Sanat*, 11: 113-130.

Yıldırım, K., Ergun, B., Üner, S., (2019). “The effects of innovative demountable furniture on user preferences”, *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, 6 (4): 75-80.

Özkan, A., (2017).”Günümüz Türk İç Mekan Tasarımcıları ve Tasarım Anlayışları. İç Mekan Tasarımı Kuram ve Yöntemleri Işığında Bir Yaklaşım”, *LAP Lambert Academic Publishing*, 160.

Yıldırım, K., Başkaya, A. ve Hidayetoğlu, M., (2005). “Farklı Sosyo-Ekonomik Düzeye Sahip Blok-Konut Kullanıcılarının Sabit İç Donatım Elemanlarından Memnuniyeti”, *Politeknik Dergisi* 8 (2): 189-196.

Üst, S., (2015). “Konutlarda İç Mekân İle Mobilya Etkileşimi Bağlamında Mobilyaya Dair Özelliklerin İncelenmesi”, *Standart Dergisi*, İstanbul, 103-118.

Dikel, Y. Z., (2019). “Evrensel tasarım kapsamında kullanıcıların iç mekân donatılarına erişebilirliğinin incelenmesi”, MS thesis, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 61-77.

Ümütlü, Ş. B., (2020).”Kentsel Donatı Bağlamında Akıllı Malzeme ve Sistemler; Tasarımcı ve Kullanıcı Deneyim Örneği.” MS thesis, *Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü*, Ankara, 6-25.

Ünlü, F., (1998).”İç mekân oluşum ve biçimlenişinde mekân-insan davranışı etkileşimine bir yaklaşım.” Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Ankara, 20-41.

Olkowicz, M. and Waclaw S., (2012). “The newproduct development models in the furniture industry-a literature review.” *Intercathedra* 1-28.

Bertan, M., ve Çakır B., (1995). “Halk Sağlığı Yönünden Kazalar.” Halk Sağlığı Temel Bilgiler, *Güneş Kitabevi*. Ankara, 62-72.

Sütuluk, Z., Savaş, N., Demirhindi, H., Özden, N., Akbaba, M., (2007). “Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Büyük Acil Servisi’ne Ev Kazaları Nedeniyle Başvuranların Etiyolojik ve Demografik Özellikleri.”, *Toplum Hekimliği Bülteni*, Cilt: 26, Sayı:2: 29-34.

Köse, O. Ö. ve Bakırcı N., (2007). “Çocuklarda Ev Kazaları.”, *STED*,16 (3): 31-35.

Balcı, E., Sezer, L. ve Durmuş, H., (2020). “Korona Günlerinde çocuklarda ev kazaları artışı.” *Türkiye Çocuk Hastalıkları Dergisi*, 14, 458-459.

Bressan, S., Gallo, E., Tirelli, F., Gregori, D. and Da Dalt, L., (2021). “Lockdown: more domestic accidents than COVID-19 in children.” *Arch Dis Child.*, 106, 2.

Wong, T. W. K., Hung, J. W. S and Leung, M. W. Y., (2021). “Pediatric domestic accidents during COVID-19 pandemic in Hong Kong.” *Surg Pract*, 25, 32–37.,

Ergünay, O., (2009). “Doğal Afetler ve Sürdürülebilir Kalkınma.” *Deprem sempozyumu*, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Abant, 2-10.

İlki, A., Gürbüz, T. ve Demir, C., (2008).”Yapısal Riskler ve Risklerin Azaltılması, Afet Zararlarının Azaltılması Temel İlkeleri, Yapısal Olmayan Deprem Risklerinin Azaltılması, Afet Zararlarını Azaltmanın Temel İlkeleri.”, *JICA Türkiye Ofisi Yayınları*, (2), Ankara, 91-107.

Bayraktar, H., Sahtiyancı, E. ve Kuru, A., (2019). “Risk Değerlendirme Matris Yöntemi Kullanarak Okullarda Deprem Kaynaklı Yapısal Olmayan Risklerin Olası Etkilerinin Belirlenmesi.” *Afet ve Risk Dergisi.*, 2 (2):128-152.

Küçükcan, B., (2020). “Afete Dayanıklı Kütüphane Binası Tasarım İlkeleri ve Yapısal Riskler.” *Bilgi Merkezlerinde Risk ve Kriz Yönetimi*, 134-167.

Durukal, E., Erdik, M., Sunday, B., Türkmen, Z. ve Harmandar, E., (2008) “Yapısal Olmayan Deprem Risklerinin Azaltılması, Afet Zararlarını Azaltmanın

Temel İlkeleri.”, (editörler) Kadioğlu, M., Özdamar, E., JICA Türkiye Ofisi Yayınları, (2), Ankara, 157-175.

İpek, C., (2015). “Deprem Etkisi Altındaki Yapısal Olmayan Sistemlerin İncelenmesi.” Kocaeli Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 187-1999.

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırmaları Enstitüsü. (2005). “Yapısal olmayan tehlikelerin azaltılması.”, (YOTA) el kitabı, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırmaları Enstitüsü, İstanbul.

FEMA, (2011). “Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage - A Practical Guide”, Federal Emergency Management Agency, Washington.

Takahashi N. and Shiohara H., (2004). “Life cycle Economic Loss due Seismic Damage of Nonstructural Elements.” *Proceeding of 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, BC, Canada, 203-204.

Miranda, E. and Taghavi, S., (2003). “Estimation of seismic demands on acceleration-sensitive nonstructural components in critical facilities.” *Proceedings of the Seminar on Seismic Design, Performance and Retrofit of Nonstructural Components in Critical Facilities*, ATC 29-2, Newport Beach, CA, 347-360.

TS 9215, (1991). “Ahşap Mobilya–Mukavemet ve Denge Deneyleri”, T.S.E., Ankara.

TS EN 14073-2 (2008). “Büro mobilyası- muhafaza mobilyası iskeletin mukavemet ve dengesinin tayini için deney metotları standartları.”, T.S.E., Ankara.





## BÖLÜM X

# TARIMSAL ÇALIŞMALARDA İŞ GÜVENLİĞİ VE İŞ VERİMLİLİĞİ

### *Work Safety and Work Efficiency in Agricultural Work*

Adem ÖZKAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(Öğr. Gör.), Karamanoğlu Mehmetbey

Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu,

Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Karaman, Türkiye

E-mail: adozkan70@gmail.com

ORCID: 0000-0003-3043-0338

### 1. Giriş

**T**arımın amacı, insan beslenmesi ve sanayi sektörlerin ihtiyaçlarını karşılamak için yapılan önemli bir sektördür. Üretimin yapılması, tarımsal üretimin devamlılığı ve insanların yaşamlarını sürdürebilmek için tarım alet ve makineleri yanında diğer girdilere de ihtiyaç duyulmaktadır. Tarım sektöründe çalışanlar ürünün yetiştirilmesinden hasada kadar, hatta ambalajlama ve pazarlanmasına kadar her aşamada rol oynamaktadır. Diğer sektörlerde olduğu gibi, tarımsal faaliyetler içinde yer alan çalışanlar birçoğu önlenemez iş kazaları ile meslek hastalıklarına maruz kalabilmektedir. Bu durum, üretimi hazırlıkları ile başlayıp, üretimin son faaliyetine kadar, hatta satış aşaması sürecinde bile olumsuzlukları kapsayacağı, pek çok değişkeni etkileyebilmektedir. İnsanı olumsuz yönde etkileyen tüm unsurlar ve öğeler güvensiz çalışma ortamı olarak nitelendirilir. Çalışılan bu sektörde kullanılan üretim desenine bağlı olarak makine çeşitliliği ve kimyasal ürünlerin kullanımının geniş alanlarda yapılması insanı olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Güvensiz çalışma şartlarında ki bu durum, beraberinde tarım iş kazalarını ile meslek hastalıklarının oluşmasına neden olmaktadır. İş kazasına uğrayan insanların sayısının dünyada ve ülkemizde ciddi anlamda üst seviyelerde olduğu söylenebilir.

Farklı ülke veya bölgelerin ekonomik gelişimindeki eşitsizlikler, ülkelerde iki ana grup tarım sektörünün bir arada bulunmasına neden olmuştur. İlk olarak kırsal nüfusun büyük bir kısmının düşük vasıflı işlerdeki çalışma istekleri ve bunun getirdiği geçimini temin edecek kadar tarımla uğraşma isteğidir. İkincisi vasıflı pazar odaklı çiftçileri ve yüksek derecede gelir getiren sürekli üretim süreçlerini kullanan ücretli tarım işçileridir. Sonuç olarak nispeten az sayıda işçiyle yüksek verimlilik elde edinme arzusudur.

Tarımsal faaliyetler hem günlük hem de birçok işlemin bir arada yapılması gereken işleri içerir. Tarım sektöründe yüksek bedensel işgücüne ihtiyaç duyulması yanında, uzun süreli çalışma saatlerine ihtiyaç vardır. Sektörel açıdan incelendiğinde, ücretlendirme şekli, sağlık harcamaları, ulaşım durumu, barınma şekli, eğitim ve sosyal alandaki sıkıntılar ciddi anlamda kendini göstermektedir. Tarımsal işin çalışmayı belirleyen bazı spesifik özellikleri vardır. Çalışanların gerçekleştirdiği işlerin çoğunun açık havada gerçekleştirilmesi ve çalışanların tehlikelere maruz kalması özelliklerden bir tanesidir.

Diğer taraftan iklim koşulları;

- İşin mevsimsel niteliği ve belirli dönemlerde belirli görev ve işlerin zorunluluğu;
- Aynı kişi tarafından gerçekleştirilecek görevlerin çeşitliliği;
- Çalışma duruşlarının türü ve gerçekleştirilen görevlerin uzunluğu ve süreleri;
- Çalışanların hayvanlar ve bitkilerle teması, iç içe olması dolayısıyla ısırıklara, zehirlenmelere, enfeksiyonlara, parazitler hastalıklar, alerjiler ve diğer sağlık sorunları maruz bırakılması;
- Üretim için kullanılan kimyasalların ve biyolojik ürünlerin etkisi;
- Çalışanların yaşam alanları ile üretimi yapılan ürünlerin yetiştirildiği alan arasındaki uzaklıklar etkili olmaktadır.

Kazalar insan, makine ve çevre şartlarının etkisi altında gerçekleşmektedir. Burada temel faktör üretimden ziyade, insan olduğu için, tüm işlerin gerçekleştirilmesi sırasında uygun fiziksel, fizyolojik ve psikolojik özelliklerin de dikkate alınması gerekir. Üretim için yoğun iş gücüne ihtiyaç olmakla birlikte, çalışma alanlarının geniş bir yelpazede olması nedeniyle, tarım sektöründeki işlemlerin kontrolünü zorlaştırmaktadır. İş gücünün karşılaştığı temel unsurların başında iş sağlığı ve güvenliği gelmektedir. Her işlem riskleri beraberinde getirdiği için, iş sağlığı ve güvenliği önlemlerine ihtiyaç vardır. Kanun, tüzük ve birtakım yönetmelikler ile hukuki açıdan tedbirler alınmaktadır. Yasal yollarla

uygulanan yaptırımlarla kontrol altına alınmaya çalışılmaktadır. Ancak bu iş alanında yapılan düzenlemeler geri dönüşü bazen kısa zamanda alınabileceği gibi, bezende uzun zaman içerisinde olabilmektedir. Ülkemizde tarım sektörü ile iş sağlığı ve güvenliği alanında mevcut yasalar bazen ihtiyacı tam olarak karşılamamaktadır. Tarımda kullanılan makine parkı ve kimyasal kaynaklı tehlikeler ortaya çıkarılmalı, risk değerlendirme analizleri yapılmalı ve sürekli bu makine operatörleri ile kimyasal maddelerden kaynaklı olumsuzluklar çıkarılmalıdır. Yetersiz görülen noktalar eğitim ve çeşitli uygulamalar yolu ile giderilmeye çalışılmalıdır.

## 2. İş Güvenliği

İş güvenliği, herhangi bir iş kolunda veya ev ortamında çalışan insanların can ve mal güvenliğini sağlamak, ortaya çıkabilen olumsuzluklardan en az seviyede etkilenmek için alınan önlemleri ve kuralları kapsar. Güvenli olmayan durumları ve davranışları belirtmek için kaza, tehlike ve risk şeklinde kullanılır.

Çalışma şartlarında meydana gelen olaylar kaza olarak nitelendirilir. Kazaların en önemli özellikleri, yaralanma veya ölüme neden olabilecek potansiyel risk taşımasıdır.

Kazalarda can kayıpları yanında maddi kayıplar da meydana gelebilmektedir. Kazalar ile üretimi yapılan ürünün maliyeti artar. Kazalarla birlikte oluşan yaralanma, organ kaybı vb. neden olan olumsuzlar sebebiyle insanın, sağlıklı durumda iken yaptığı faaliyetleri eskisi gibi yerine getirmesi mümkün değildir. Yaralanan insanların ihtiyacı olan sağlık hizmetleri için yapmış oldukları maddi harcamalar gerek bireysel gerekse işletmeler açısından iş verimliliğini doğrudan etkileyen bir unsurdur. (Dilay ve Özkan, 2021).

Tarım kesiminde meydana gelen her kaza çiftçi ve ailesinin az veya çok zaman kaybetmesinin yanında üretimin aksamasına da neden olur. Tamir ve bakım giderleri ile diğer masrafların da artması ile işletme giderleri artmaktadır.

Tehlike; çalışanı ve işyerini olumsuz etkileyen, içerden ve dışarıdan kaynaklı zarar ve hasara neden olma durumudur. Sağlık problemlerinin oluşması, yaralanma durumu, çalışma ortamındaki aksaklıkları ortaya çıkarabilen durumlar tehlikeyi işaret eder. İnsan bulunduğu çevre içerisinde tehlike ve tehdit oluşturan unsurlar ile iç içedir.

Olay; Bir kazanın neden olabilecek potansiyel durum veya kazaya neden olan durumları ifade eder.

Risk; bir tehlikeli durumunun olma durumu ve olasılıklarının tamamı şeklinde ifade edilir. Risk büyüklüğünün tahmin edilmesi ve risklerin karşılanıp

karşılanamadığı konusunda karar vermeye yönelik daha detaylı bir süreç kapsamı risk değerlendirilmesi olarak ifade edilir.

### 3. Risklerin Belirlenmesinde İnsan Faktörleri

Tarımı yapılan ürünlerin kontrolü ve denetimi insan tarafından yapıldığı için temel unsur insandır. Bitki deseni ve türlerin gelişmesi ve hızla değişen teknoloji ile birlikte bu sektördeki mekanizasyon da gitgide artmaktadır. İnsan faktörü etkisi yine de azımsanmayacak seviyede olduğu görülmektedir. Ürün yetiştirilmesi aşamasında çalışan insanların fiziksel, fizyolojik ve psikolojik özellikleri önemli bir süreci oluşturmaktadır. Çalışma esnasında bunlardan bir veya birkaçının etkisiyle kazalar meydana gelebilmektedir. Kazaların sonucunda maddi ve manevi kayıplar olabilmektedir. Kayıp ve zarara neden olacak potansiyele sahip her ayrıntının tanınması ve önceden algılanması gerekir.

Her insanın farklı yetenek sınırlarına sahip olduğu bir gerçektir. İnsan özellikleri; fiziksel, fizyolojik ve psikolojik olmak üzere üç grupta incelenebilir (Özkan, 2022).

Dünya genelinde birçok ülkede kırsal kesimdeki sağlık hizmetleri kent merkezlerine göre daha düşüktür. Gelişmekte olan ülkelerde nüfusun şehirlere göç etmesi nedeniyle meydana gelen yoğunluktan dolayı, sağlık hizmetlerinin dağılımında dengesizlikler yaşanmaktadır. Mevcut kaynakların yoğun kullanımı riskleri beraberinde getirmektedir. Bu riskler kırsal kesimde yaşayanların sağlık durumlarının bozulmasına da yol açmaktadır.

Az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere tarım kesiminde çalışanlar son derece ilkel koşullarda hayat sürmektedir. Ulaşımın yetersiz ve zor şartlarda sağlandığı yerler çoğunlukla kırsal kesimlerdir. Bu durum buralarda yaşayan insanları; fiziksel, fizyolojik ve psikolojik yönden olumsuz etkilemektedir. (Dilay ve Özkan, 2022). Dolayısıyla çalışanlar bunun etkisi ile kendini tam anlamıyla işine verememektedir (Özkan, 2022). Böylece iş verimi düşerken istenmeyen kazalar da oluşmaktadır. Hatta sosyal hayatlarında bile zorluklara neden olmaktadır. Kazaların sonucunda işlerde yavaşlama, ürün ve verim kayıpları, sigorta maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır (Başer ve Aybek, 2007). Yetersiz olan ulaşım koşullarında çalışanlar işine zamanında gidebilmesi için daha erken evinden ayrılması, iş sonunda ise daha geç evine ulaşması da sosyal hayatını kısıtlamaktadır.

### 4. Tarım Sektöründe Riskler

Sektördeki meydana gelen iş kazaları incelendiğinde, traktör ve tarım makinelerinden kaynaklı kazalar ön sıralarda yer almaktadır. Tarımda önemli güç

kaynağı olan traktör ile birlikte çalışan tarım makineleriyle çalışma durumunda önemli riskler görülmektedir. Makine çevresinde güvenli olmayan alanlar, makineden inerken ve binerken kayma ya da takılmaya bağlı yaralanmalar sonucu uzuv kayıpları görülmektedir. Dahası ölümle sonuçlanabilen kazalar yaşanabilmektedir. Dünya Çalışma Örgütü (ILO)'nün 2019 yılı verilerine göre, dünyada iş kazaları nedeniyle günde 5000, yılda yaklaşık 2 milyon kişi hayatını kaybetmektedir (ILO, 2023). Bunların 12 bini ise çocuk yaştaki çocuk grubunu oluşturan işçilerdir (Özkan ve Dilay, 2022), Öz, E. (2005) tarım kesiminde yaşanan kazaların çoğunlukla ölümle sonuçlandığını, kazalarda en çok çocuk yaştaki işçilerin etkilendiği ya da yaralandığını, Aybek ve Sabancı (2001) ise, Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Güvenlik Konseyi'nin araştırmasında, tarım, madencilik ve inşaat sektörü ile birlikte üç riskli meslek grubunda yer aldığı bildirilmiştir (Aybek ve Sabancı, 2001). Yıldırım ve Altuntaş (2015) ise 2000-2014 yılları arasında meydana gelmiş kazalarla ilgili çalışmalarında kazaya uğrayanların %82'sinin erkek, kazadan etkilenen nüfusun %2,61'inin hiç eğitim içerisinde olmadığını ve yine %2,20'sinin okur-yazar, %77,31'inin ilkokul mezunu, %11,04'ünün ortaokul mezunu, %6,43'sinin lise mezunu, %0,40'nın ise üniversite mezunu olduğu belirlemiştir.

Sektördeki riskleri ve sorunları oluşturan faktörleri aşağıdaki belirtilen başlıklarla inceleyebiliriz.

#### ***4.1. Açık Havada Çalışma Kaynaklı Riskler***

Tarımsal faaliyetlerin hemen hemen tümü açık havada ve genelde sıcak koşullarda çalışmayı gerekli kılmaktadır. Tarım çalışanları üretimi yapılan bölgenin hava şartlarından olumsuz bir şekilde etkilenmekte, yüksek sıcaklık, nem, rüzgâr etkisi ve soğuktan etkilenmektedir. Bu etkilerle birlikte sıcak çarpması, baygınlık, aşırı terleme, vücutta kramplar, işe odaklanama, dikkat yetersizliği, zihinsel yorgunluk gibi geçici sorunlarla karşılaşabilmektedir. Bu da çalışanların iş verimini düşürme ile birlikte dikkatsizliğe yönlendirmektedir. Üreticiler teknolojik gelişmelerin etkisi ile birlikte işin doğası gereği mevsimsel şartların fiziksel ve kimyasal etkilerin getirdiği tehlikelerle karşı karşıyadır. İşin açık arazilerde ve şehir merkezi dışında gerçekleşmesi, çalışanların iş sağlığı ve güvenliğini de daha da artırmaktadır (Günaydın ve ark., 2018). Acil ilk müdahalede sağlık personelin ulaşmasını zorlaştırmaktadır. Mevsimlere göre farklılık gösteren optimum hava sıcaklığı 18°C ile 24°C, optimum hava nemi ise %30-70 arasındadır. Vücut sıcaklığındaki bu değişimlerin etkisi ile birlikte çalışanlarda, fiziksel, bedensel ve zihinsel açıdan etkilenmesini sağlar. Çalışacak

kişilerin sıcak soğuk havalarda çalışmak için herhangi bir sağlık engelinin bulunmaması gerekir. Çalışan bireyler hava şartlarına göre giyinmelidirler (Kanvermez ve Korkut Sümer, 2021).

Diğer taraftan güneşin doğuşu ve batışı esnasında güneş ışınlarının sürücü operatörünün gözünü engel teşkil ederek kaza ve riskleri oluşturabilmektedir. Güneş ışınlarının üretmiş olduğu morötesi ışımaya maruziyet ile deri ve göz hasarlarına yol açmaktadır.

Çalışanların bulunduğu mekânlarda bol miktarda su bulundurulmalıdır. Sıcak havalarda bol bol su içilmelidir. Çalışanların dengeli beslenebilmesi açısından karbonhidrat, yağ ve protein bakımından zengin gıdalar ile beslenilmesi gerekmektedir. Dinlenme için ayrılan alanlar çalışma alanlarına yakın mekânlar oluşturulmalıdır. Güvenlik için yangın söndürme araç ve gereçleri yanında mümkünse sağlık hizmetlerini veya ilk yardım için sağlık personeli görevlendirilmesi sağlanabilir. Tarım kesiminde çalışanlar için dinlenme, uyuma, yemekhane, banyo yapma vb. temel ihtiyaçların karşılanması geçici alanlar hazırlanabilir.

#### **4.2. Mekanik Riskler**

2023 yılı TUIK verilerine göre ülkemizde 2022 yılında mevcut 1.526.769 traktörün (TUIK, 2022) yarısından fazlasının 2000 yılı ve öncesi üretimi olduğu dikkate alınırsa güvenlik önlemlerinin yetersizliğinden söz edilebilir. Bu traktörlerin büyük kısmı yüksek risk yaratmakla birlikte, teknolojinin değişimi ile son yıllarda üretilen traktörler, daha donanımlı ve risklerin azaltıldığı bir tasarım şeklinde imalatı yapılmaktadır. Kaza sebepleri arasında insan kaynaklı olabileceği gibi makineden kaynaklı olabilmektedir. İnsan kaynaklı kaza sebepleri arasında makine kullanan operatörün dikkatsizliği, emniyet kurallarını ihmal etme veya uymama, bilgi, deneyim ve tecrübe eksikliği olmaktadır. Makine kaynaklı kazalarda ise sebeplerin başında en yaygın bakımsızlık, teknik arızalar, donanım yetersizliği ve güvenlik için muhafazaların sökülmüş olması ya da işlevini kaybetmesi şeklinde olabilmektedir. Kazaların genelde tarım makinesinin kullanılması gereken hız limitlerini zorlanması, devrilmesi, yuvarlanması, çalışanın araç üzerinden düşmesi, makinenin altında kalması, virajlı alma durumunda hızın düşürülmemesi şeklinde görülmektedir (Dilay ve Özkan, 2020; Özkan ve Dilay, 2019). Çalışanın ya da giymiş olduğu kıyafetlerinin döner parçalarla teması ve dolanması gibi önlenmesi mümkün sebeplerden kaynaklanmaktadır. (Çamurcu ve Seyhan, 2015). Çalışanların uzun ceket, bol elbiseler, gömlekler

gibi kıyafetler giyim durumuna dikkat edilmesi aynı zamanda uzun saç bırakılması da sakıncalı durumu göstermektedir.

Bununla birlikte traktör devrilmesine bağlı olarak, traktörün yangına maruz kalması, yol veya tarla içinde bulunan enerji iletim ve dağıtım yapıları çarpma şeklinde meydana gelen kazalardır. Traktörün bakım-onarımı sırasında meydana gelen yaralanmalar, traktör kabininin eksikliği ve emniyet kemerinin takılmaması kazaların şiddetini artırıcı özelliklerdir. Kabin: iklim şartları, çevreden kaynaklı toz ve zehirli maddeler sürücüyü şekilde yeterli değildir. Ancak meydana gelen titreşim ve gürültüyü azaltma etkisi azdır (Akyüz ve Güner, 2017). Kabin içerisinde emniyet kemeri bulunması ayrıca iklimlendirme sistemleri bulunması güvenlik için önem arz etmektedir. Kabin içerisindeki gürültü önlenemeyen bir durumda ise kulaklık kullanılması uygun olacaktır. Tarım makinelerinin üretiliş amacına uygun şekilde kullanılması, makine elemanlarının koruyucularının bulunması, zamanında gerçekleştirilen bakım ve onarım sürecinin gerçekleştirilmesi, ciddi anlamda kazaların önlenmesi açısından önemlidir. Dairesel testereler ve traktör kuyruk milinden (PTO) hareketli, şaft gibi transmisyon sistemleri çevredeki canlılara, ciddi anlamda yaralanmalara ve ölümle sonuçlanan durumlara sebebiyet vermektedir.

#### ***4.3. Elektriksel Riskler***

Tarım sektöründe elektrik enerjisi ile birçok işlem yapılmaktadır. İç ve dış tesisatları ile yüksek gerilim nakli esnasında, uzatma kablolarının kullanımı kaynaklı birçok kaza ve yangına sebep olabilmektedir. Ürün yetiştirme sırasında, süt sağım makinelerinde, kümes ve ahırlarda aydınlatma ve yem hazırlama esnasında elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tip kazaların başlıca sebebi gerekli iletim için kullanılan kabloların yalıtımın yetersiz olması ve tahrip olması şeklinde olabilmektedir. Makinelerin kullanım kılavuzlarında belirtilen hususlar ve önerilen durumlar dikkate alınması, çalışma prensipleri ve tesisat konusunda bilgi sahibi olmak sistemin güvenilirliği açısından önemlidir. Standart dışı kalitesiz ürünlerin ve malzemelerin kullanılması risk teşkil etmektedir. TSE belgeli malzeme ve ürünlerin bu alanlarda kullanımı iş güvenliğini artıracaktır.

#### ***4.4. Ergonomik Riskler***

Tarım, yapısı gereği insana en fazla ihtiyaç duyulan bir alandır. İnsan özellikleri ile doğa şartlarının iç içe geçtiği, emek isteyen her iş kolunda olduğu gibi tarım sektöründe de kendini göstermektedir. Ergonomik açıdan yapılan



her detay ve tasarımlar her yönüyle dikkatlice izlenmelidir. Tarım sektöründe çalışanlar uzun süreli ve vücut durumuna uygun olmayan pozisyonlarda çalışmaktadır. Çalışanların kişisel özellikleri cinsiyet, yaş, eğitim düzeyi, bedensel özellikler, huy, tutum ve davranışları oluşturmaktadır. Eğilme, oturma, çökelme, kalkma, uzanma, sabit pozisyonda çalışma, sürekli tekrar eden hareketlerden oluşan işler, bedeni zorlayan hareket için uygun tarım alet makineleri kullanmak ve ortamı düzenlemek çalışanların sağlığı açısından önemlidir. Çalışma araçları omuz seviyesinin altında olmalı, kullanılan el aletlerine ergonomik açıdan uygun tutacaklar ilave edilmelidir. Elle yapılan işlerde aşırı derecede titreşim durumuna maruz kalmak kan dolaşımının bozulmasına sinir, kemik ve eklemlerde rahatsızlar, bunun neticesinde çalışanlar kas-iskelet-dolaşım sistemleri ile ilgili sağlık sorunları yaşamaktadırlar. Kas iskelet sistemi rahatsızlıkları ve hastalıklarının ortaya çıkma şekilleri;

- Sürekli tekrarlanan hareketler,
- Kolların omuz hizasının üst bölgesindeki çalışmalar,
- İşin yetiştirme kaygısı ve hızlı çalışma,
- Titreşimli alet ve makinelerin kullanımı,
- Elle ağır yük taşıma ve uygun olmayan vücut pozisyonu,
- Uzun zaman öne eğilerek yapılan çalışmalar neticesinde olmaktadır.

Tarım işçileri çoğu zaman uygun olmayan ergonomik koşullarda çalışırlar. Ağır kaldırma, taşıma, uzun süre ayakta durma, tekrarlayan ve uygunsuz pozisyonda uzun süre çalışma gibi birçok fiziksel zorlanma bel ağrısı, gibi birçok kas iskelet sistemi bozukluğuna neden olabilir (Myers, 1998). Ağır yüklerin getirdiği, alet ve makinelerin oluşturduğu gürültü ve titreşimler uzun vadede çalışanların sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Bunların yanı sıra oluşabilecek sağlık problemlere ait hızlı ve etkin müdahale etme şekli bulunmamaktadır. Gerekli önlemlerin alınması çalışanların eğitimi uygulamalı bir şekilde olursa, ergonomik riskleri ortadan kaldırmak mümkündür.

### **5.5. Kimyasal Riskler**

Tarım sektöründe ilaçlama ve gübreleme işlemleri bitki ve üretim şekline göre farklılık göstermektedir. Üretim gerçekleşmesi yoğun bir şekilde emek, işgücü, bilgi ve becerinin ihtiyaç olduğu bir süreci kapsar. İnsanların yaşantısında kimyasal maddelerden etkilenmemesi pek mümkün görülmemektedir. Pestisitlerin yani böcekler, yabancı ot kontrolü, mantar ve küf yok edici, kemirgenler ile mücadele dünyada ve ülkemizde kullanımı

artmaktadır. Özellikle bitki korumalarının kullanımı sırasında belli kurallara uymak gerekmektedir. Sağlığın ve çevrenin en az bir şekilde etkilenmesi başarılı bir mücadele ve ekonomik açıdan önemlidir. Başarılı bir tarımsal mücadele için kullanımı önem arz etmektedir. Bunlar;

Süspansiyonlar, emülsiyonlar, solüsyonlar ve bir takım zehir içerikli ürünler gıda veya yem maddelerinin bulunduğu mutfak gibi alanlarda hazırlanmaması gerekir.

Tarımsal ürünlerin yetiştirilmesi amacıyla kullanılan kimyasallar bazen zehirlenme durumlarını bazen kanser gelişimini sağlayacak ortamları beraberinde getirecektir. Veteriner ilaçları, egzoz dumanları, ahır ve kümeslerde açığa çıkan veya biriken metan, amonyak gazlarının canlılar üzerindeki etkileri bilinmesi gerekir. İşletme içerisinde yer alan konuta yakın yerlerdeki hayvanlardan yayılan atık maddelerin oluşturduğu amonyak ve metan gibi gazlar insan üzerinde solunum yollarında enfeksiyonlara ve göz hastalıklarına neden olabilmektedir. Tarımda çalışma ile kanser oluşumu arasında bir ilişkiyi ortaya koyacak kesin kanıtlar üretilmemiştir. Bununla birlikte, özellikle bazı pestisit türlerine maruz kalma ile, lösemi, dil ve prostat (Blair ve Freeman, 2009), yumuşak doku rahatsızlıkları, pankreas, meme ve testis kanseri ile ilişkilendirilmiştir (McCauley ve ark., 2006). Üretimde kullanılan tarım alet ve makinelerinin çalıştırılması esnasında ortaya çıkan egzoz gazları solunum yetmezliğine sebep olmaktadır. Yeterli havalandırma sistemleri devreye alınmalıdır. Bu işlemler esnasında hava şartları, uygulayıcının mesleki bilgi ve becerileri, bir takım koruyucu önlemlerin alınmasına bağlı olarak değişen oranlarda zehirlenmeler, vücutta alerjiler, kanser vakalarını etkileyecek durumlar görülmektedir. Kimyasalların tarımda kullanımı ile birlikte zamanla ölümle sonuçlanan durumlarla karşılaşmaktadır. Bu kullanımların olumsuz etkileri bazen yıllar sonra insan vücutta insan vücudunda hasar ve tahrişlere neden olmaktadır. İnsan üzerindeki etkileri;

- Kan basıncındaki değişimler,
- Sinir sistemindeki bozukluklar, depresyon
- Davranışsal bozukluklar ve dengesizlikler,
- Kaslarda zayıflık, refleks ve tepki süresi,
- İş başarısının düşmesi,
- Göz, cilt ve solunum yolu olumsuzlukları,

Tamamen olumsuz etkilerden sakınmak için uygun mühendislik önlemleri ile işveren ve idari önlemlerin alınması önemlidir. Çalışanlara eğitim yanında, acil yardım planlaması yapılmalıdır. Kimyasal içerikli maddelerin etiketlenmesi

yapılarak sürekli çalışanların gözlenmesi, sağlık kontrolleri takip edilerek raporlanması şeklinde takip edilmesi sağlanabilir.

#### **4.6. Biyolojik Riskler**

Tarım sektöründe bitki ve hayvan kaynaklı olumsuz durumlar olabilmektedir. Hayvan kaynaklı yaralanmalar, çiftçinin hayvana yakın olma zorunluğu hallerinde ortaya çıkmaktadır. Bunlar tepme, ısırma, sert bir cisme çarpma, hatalı davranış ile tetikleyici hareketler sergilemektir. Hayvanlardan insanlara bulaşan zoonoz, virüs, bakteri ve parazit içerikli diğer hastalıklardır. Bu etken maddeleri dışkı, idrar, kan, süt, solunum, hayvansal besinler ile temas yolu şeklinde gelişebilmektedir. Brusella, şarbon, kuş gribi, kuduz, tüberküloz, kist hidatik vb. insanı rahatsızlık verecek hastalık türleridir. Viral orjinli hastalıklar, alerjik vakalar, ısırılmalar tarım sektöründe görülmektedir. Bunlara ilaveten hayvan kaynaklı yaralanmalar, çarpmalar, düşmeler de zaman zaman bu ağıl, ahır, kümes vb. alanlarda karşılaşılmaktadır. Sıcaklıkların artması ile birlikte artışa neden olan sivrisinekler, karasinek, pire, kene, virüs ve parazitler gibi mikroorganizmalara geçmesini sağlayan ve taşıyan böceklerdir.

#### **4.7. Barınma ve Beslenme Kaynaklı Riskler**

Tarım sektöründe çalışanların karşılaşacağı en büyük problemlerin başında barınma ve beslenme gelmektedir. Temiz içme suyuna ulaşamama, kullanma amaçlı suyun teminindeki zorluklar, kişisel bakım ve temizlik için yeterli şartların oluşmaması, hijyen şartların yerine getirilmesi oldukça zordur. Düzenli ve yeterli beslenme bu alanlarda pek mümkün görülmemektedir. Gıdaya ulaşmak için yeterli zamanın bulunmaması, hijyen içerisinde sağlanması gereken maddelerin bulunmaması çalışanlar açısından riskleri beraberinde getirirken hastalık ve gıdaların bozulması durumları gerçekleşecektir. Arazi şartlarının getirdiği birtakım zorluklar barınma ve beslenmeye engel teşkil edecektir. Yerleşim yeri ile ürünün yetiştirildiği alan mesafesi bazen uzak noktalarda gerçekleşmesi durumu olabilmektedir. Yakın mesafelerde bu süreç mümkün görülse de arazi de barınma durumu da risklerin ortaya çıkmasına neden olacaktır.

### **5. Sonuç ve Tartışma**

Tarım kesimindeki optimum çalışma şartlarını yerine getirmek için, güvenlik, sağlık ve sosyal anlamda katkılar sağlayacak, belirli standartları gerçekleştirmek önemli hale gelmiştir. Tarımda, gerek işletme içi gerekse

işletme dışında çalışan ailelerin ve bireylerin temel ihtiyaçlarının karşılanması, kendileri ve ailelerine uygun yaşam şartlarının iyileştirilmesi, sağlıklı ve sosyal hayat açısından oldukça önemlidir (Sert ve Nazlıoğlu, 2016). Tarım alanında çalışanların iş sağlığı ve güvenliği konusunda sorunlar araştırılmalı, risklerin ve oluşabilecek olumsuzluklar paydaşların ortak katılımı sağlanarak çalışma verimini ve sosyal refahı artıracaktır.

Tarım sektörü iş ve ev hayatının beraber yürütüldüğü sektördür. Kayıt dışılığının ve denetimin yetersiz kalması yasal düzenlemelerin aktif bir şekilde hayata geçirilememesi sonucunu doğurmuştur. Neticede tarım sektöründe çalışma şartlarını ve yaşam standartlarını etkileme yavaş bir şekilde gerçekleşmiştir. Yaşam şekline dönüşen bu durum, istihdamın kendi içinde sağlanması, düşük ürün kazancı, uzun çalışma saatleri gibi nedenler sosyal güvence eksikliğine yol açmıştır. Bu eksikliğe bağlı olarak meydana gelebilecek iş kazalarına karşı alınacak tedbirleri ve güven kültürünün oluşmasını engelleyen sorunlar olarak görülmeye devam edecektir.

### **Kaynaklar**

Akyüz, A. Ş., & Güner, M. (2017). Koruyucu yapı tipinin traktör gürültü ve titreşim karakteristikleri üzerine etkisinin belirlenmesi. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 34(2), 43-53.

Aybek, A., Sabancı A., 2001. Tarım Makineleri ile Çalışmada Oluşan İş Kazaları, Kaza Giderleri, Kazaların Önlenmesi ve Önemli Güvenlik Kuralları. 8. Ergonomi Kongresi. Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, S 152- 158, İzmir.

Blair A, Freeman LB. Epidemiologic studies in agricultural populations: observations and future directions. *J Agromedicine*. 2009;14 (2):125-131

Çamurcu, S., & Seyhan, T. G. (2015). Tarım sektöründe iş sağlığı ve güvenliği. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 3(3), 549-552.

Dilay ve Özkan (2020) Karaman İlinde Meydana Gelen Tarım Makinelerinden Kaynaklı Kazalarının Değerlendirilmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*. Volume: 16 Issue: 1, 32-39, 27.04.2020.

Dilay Y., Özkan A., (2021). Karaman'da 2016-2020 Yılları Arasında Tarım Kesiminde Meydana Gelen İş Kazalarının İş Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi. 3. Uluslararası Çukurova Tarım ve Veteriner Kongresi, 879-891.

Günaydın, D., Vatansever, Ç., & Aktuna, A. (2018). Tarım sektöründe çalışanların iş sağlığı ve güvenliğine yönelik tutumları. *Is, Guç: The Journal of Industrial Relations & Human Resources*, 20.

ILO,2023. Uluslararası Çalışma Örgütü. <https://www.ilo.org/ankara/lang-tr/index.htm>

Kanvermez, Ç. & Korkut Sümer, S. (2021). Türkiye’de Tarım Sektöründe Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliğinin Kanun ve İş Hukuku Kapsamında Değerlendirilmesi. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 76 (2), 575-596. DOI: 10.33630/ausbf.821707 *Kaynakları Dergisi*, 20(3), 47-74 s

McCauley LA, Anger WK, Keifer M, Langley R, Robson MG, Rohlman D. Studying health outcomes in farmworker populations exposed to pesticides. *Environ Health Perspect*. 2006;114 (6):953-60

Myers, M. (1998). Health problems and disease patterns in agriculture. *ILO Encycl Occup Health Saf*, 3(64), 60-65.

Öz, E. (2005) “Ege Bölgesi’nde Meydana Gelen Traktör Kazalarının Tarımsal İş Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi”, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 42(2):191-202, 192.

Özkan A., Dilay Y., (2019). Karaman İlinde Meydana Gelen Tarım Makinelerinden Kaynaklı Kazalarının Değerlendirilmesi. 32. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi 04-06 Eylül 2019 Çanakkale, 18-19.

Özkan, A. & Dilay, Y. (2022). The Human Factor in Agricultural Studies in Terms of Work Efficiency and Physiological Properties. B. Kılıç (Ed.), *Pragmatic Approaches to Science and Engineering Studies* (s. 31-42). Klaipeda: SRA Academic Publishing.

Özkan, A. (2022). Tarımsal Çalışmalarda İş Verimliliği ve Psikolojik Özellikleri Yönünden İnsan Faktörü. *Ziraat Orman ve Su Ürünleri Alanında Uluslararası Araştırmalar V. Eğitim yayınevi*. ISBN:978-625-6382-12-1. Sayfa.139-150.

Sert, Ö., & Nazlıoğlu, A. (2016). *Tarımda İş Sağlığı ve Güvenliği Rehberi. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı Genel Yayını. Erişim Adresi: <https://www.ailevecalisma.gov.tr/medias/4604/rehber27.pdf>*

TUIK,2023. Türkiye İstatistik Kurumu. Tarım İstatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1>

Yıldırım, C. ve Altuntaş, E., (2015), “Tokat İlindeki Traktör ve Tarım Makinaları Kullanımından Kaynaklanan İş Kazalarının İş Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi”, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(1): 77-90.

## BÖLÜM XI

# YENİLEBİLİR YABANI MEYVELERİN KİMYASAL BİLEŞİMİ VE BİYOAKTİF ÖZELLİKLERİ

### *Chemical Composition and Bioactive Properties of Edible Wild Fruits*

Nesibe ARSLAN BURNAZ<sup>1</sup> & Tuba Eda ARPA ZEMZEMOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Doç. Dr.), Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi  
Beslenme ve Diyetetik Bölümü  
E-mail: nsbburnaz@gmail.com  
ORCID: 0000-0003-1163-4829

<sup>2</sup>(Dr. Öğr. Üyesi), Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi  
Beslenme ve Diyetetik Bölümü  
E-mail: tubaedarpa@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-6836-4527

### 1. Giriş

**E**konomik koşulların yetersiz olduğu düşük gelir grubundaki ülkelerde, temel besin öğeleri alımının kısıtlı olması bireylerin yetersiz beslenmesine neden olmaktadır. Besin alımının azalması, çevresel (açlık, sosyoekonomik durum vb.) veya davranışsal faktörlerden kaynaklanan yetersiz beslenme, bir veya daha fazla olumsuz durumla ilişkili olabilir (Korkmaz vd., 2023).

Meyve ve sebzeler sağlıklı ve dengeli beslenmenin önemli bileşenleridir. Gelir düzeyinin düşük olduğu ülkelerde meyve ve sebze tüketiminin az olması, dengesiz ve sağlıksız beslenmeye neden olmakla birlikte ölümle sonuçlanan çeşitli hastalıklarla da ilişkilendirilebilir (Bvenura & Sivakumar, 2017).

Meyve ve sebzeler önemli bir besin grubu olmasının yanı sıra içerdikleri biyoaktif bileşikler ve doğal antioksidanlarla fitokimyasalların potansiyel

kaynaklarıdır. Meyve ve sebzelerde bulunan fitokimyasallar antioksidatif, antimutajenik, antikarsinojenik vb. etkilere sahiptir. Dolayısıyla insanlarda kardiyovasküler hastalıklar, kanser, diyabet, Alzheimer vd. hastalıkların tedavisinde faydalıdır (Yen vd., 2001; Wen vd., 2015).

Maddi imkanları kısıtlı olan düşük gelirli ülkelerde bireylerin ekonomik anlamda birçok sebze ve meyveye ulaşımı zordur. Bu bağlamda yeterince kullanılmayan yabani yenilebilir meyve türlerinin kullanılması sağlıklı beslenme açısından bir alternatif olarak önerilmiştir (Bhatt vd., 2017). Yabani meyvelerin toplanması, çiğ veya işlenerek tüketilmesi, düşük gelirli ve gelişmekte olan ülkelerde kırsal toplulukların uyguladıkları bir gelenektir. Bu besinlere ekonomik olarak erişilebilirlik, yoksulluk çeken toplulukların hayatta kalması için önemlidir (Salih & Yahia, 2015).

Yenilebilir yabani meyveler vitamin, mineral ve diyet lifi açısından besleyici olmalarının yanı sıra içerdiği polifenoller sayesinde antioksidan özellikleriyle de sağlık üzerine olumlu etkilere sahiptir (Ercisli & Sagbas, 2017).

Yenilebilen yabani meyvelerin tüketimi kırsal halkın karbonhidrat, protein, yağ, vitamin ve mineral ihtiyacını bir miktar karşılayabilmektedir (Badhani vd., 2011).

Bu kitap bölümünde; yenilebilir yabani meyvelerin kimyasal içeriği, besin değerleri ve biyoaktif özelliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla özellikle kırsal kesimlerde yerel halk tarafından toplanan, çiğ ya da işlenerek tüketilen yenilebilir bazı yabani meyveler üzerinde yapılmış çalışmalar derlenmiştir.

## 2. Yabani Meyveler ve Biyoaktif Özellikleri

Epidemiyolojik ve klinik araştırma verilerinden elde edilen çok sayıda kanıt, bitki bazlı beslenmenin biyolojik olarak aktif bitki bileşikleri ya da fitokimyasalların varlığı nedeniyle kronik hastalık riskini azaltabildiğini göstermektedir. Bitkilerin ağırlıklı olarak yer aldığı diyetlerde karotenoidler, fenolik bileşikler, fitosteroller ve fitostanoller, tokotrienoller, organosülfür bileşikleri ve sindirilmeyen karbonhidratlar gibi birçok fitokimyasal sınıf tanımlanmıştır. Günümüzde bu fitokimyasalların sağladığı biyoaktivitelere olan ilgi giderek artmaktadır. Polifenoller diyetle yer alan fitokimyasalların en çeşitli grubudur (Upadhyay & Dixit, 2015). Polifenoller hipolipidemik, antioksidatif, antiproliferatif vb. çeşitli koruyucu özelliklere sahip olup bu sayede hiperkolesterolemi, hiperglisemi, hiperlipidemi, kanser vd. hastalıkların önlenmesinde önemli bir rol oynamaktadırlar (Abbas vd., 2017). Dolayısıyla,

diyetle bol miktarda polifenol içeren sebze ve meyvelerin düzenli tüketimi, kardiyovasküler hastalıklar, kanser, obezite gibi kronik hastalıklara yakalanma riskini azaltır, çeşitli hücrel yolakları düzenleyerek inflamasyonun giderilmesinde, metabolik bozukluk, apoptoz vb.nin önlenmesinde yararlı etkiler gösterir (Lavefve vd., 2020; Upadhyay & Dixit, 2015).

Son yıllarda fonksiyonel gıda/besin kavramı konusunda bilinçlenen kırsal kesimlerde yaşayan düşük geliri bireyler, özellikle ekonomik ve kolay ulaşabilecekleri doğal, polifenol açısından zengin ve besleyici gıdalara yönelmişlerdir. Bu anlamda çiğ olarak tüketilen ve işlenerek çeşitli ürünlere dönüştürülebilen yenilebilir yabancı meyveler halkın odak noktası olmuştur. Amerika'da hazırlanan Beslenme Kılavuzları (2015–2020), bireylere vitamin, mineral, diyet lifi ve yararlı bileşenler açısından doğal olarak zengin olan meyve ve sebzelerin alımını artırmalarını tavsiye etmektedir. Bu kapsamda kullanılabilir diyet takviyeleri ve fonksiyonel gıdalardaki bileşenler için mükemmel doğal besin kaynaklarının keşfedilmesi önemlidir (Lou vd., 2020).

Genellikle ormanlık alanlarda doğal olarak yetişen yenilebilir yabancı meyveler besin içerikleri açısından önemli kaynaklardır. Günümüzde bireylerin doğal beslenmeye olan ilgisinin artması bu meyveler üzerinde yapılan çalışmaların sayısını da artırmıştır. Yapılan araştırmalar, yabancı meyvelerin yüksek besin değerinin yanı sıra biyoaktif bileşikler, özellikle de antioksidanlar açısından zengin olduğunu, dolayısıyla da sağlıklı ve dengeli bir beslenmede önemli ve olumlu bir rol oynayabileceğini göstermektedir (Yen vd., 2001). Bu meyvelerin içerdiği biyoaktif bileşenler olan polifenoller sayesinde anti-inflamatuar ve antioksidan aktivite dahil olmak üzere insan sağlığı açısından olumlu etkilerinin olduğu rapor edilmiştir (Pandey & Rizvi, 2009; Tzachristas vd., 2020).

Ülkemiz yabancı meyve çeşitliliği açısından oldukça zengindir. Yabancı meyveler biyolojik çeşitlilik, erozyon kontrolü, ilaç ve kozmetik, endüstriyel hammadde, peyzaj, insan besini vd. birçok alanda kullanılan önemli kaynaklardır (Bayar & Deligöz, 2016). Beslenme amaçlı olarak kırsal kesimlerde halk tarafından toplanarak taze ya da işlenerek tüketilen birçok yabancı meyve bulunmaktadır. Alıç, hünnap, kuşburnu, böğürtlen, yaban mersini, iğde, kızılıcık, çakal eriği, kuş kirazı, kurt üzümü bunlar arasındadır.

### 2.1. Alıç (*Crataegus spp.*)

Rosaceae (Gülgiller) familyasının bir üyesi olan alıç (*Crataegus spp.*), yaprak dökken küçük dikenli ağaç ve çalılardan oluşur. Asya, Avrupa ve Kuzey



Amerika'nın Kuzey Yarımküre'sindeki ılıman bölgelere özgü bir ağaçtır. Genellikle 2-5 m boyunda, 10 m yüksekliğe ulaşabilen, çok dallı, çalimsı ağaçlardır. Alıç ağacı orman kenarlarının alçak ve sıcak alanlarında yetişmektedir (Özcan vd., 2005; Wang vd., 2013). Alıçın dünya çapında yaklaşık 280 türü mevcuttur. Bunların arasında en yaygın olanları Asya, Avrupa, Kuzey Afrika ve Kuzey Amerika'da yetişen *C. monogyna*, *C. laevigata*, *C. mexicana* ve *C. douglasii*'dir (Nazhand vd., 2020). Çin, ABD, Meksika, Fransa dahil olmak üzere Kuzey Yarımküre'deki birçok ülkede yetiştirilmektedir (Cui vd., 2023).

Ülkemizde ise 6'sı melez olmak üzere 24 türü bulunmaktadır. En yaygın taksonları *C. monogyna* var. *monogyna* (kırmızı), *C. orientalis* var. *orientalis* (sarı) ve *C. azarolus* var. *minuta* (sarı)'dır. Alıç meyveleri etli, sert çekirdekli ve farklı renklerde olabilmektedir (Edwards vd., 2012; Çınar vd., 2020; Dirlik & Eser, 2021).

Ülkemizde *Crataegus* türleri "alıç, yemişen, akdiken, beyaz diken, edran, ekşi muşmula, enişen, geyikdiken, müzmüldek ve barutan" olarak adlandırılmakta, yabancı literatürde ise "hawthorn" olarak bilinmektedir. Türlerin çoğunun meyveleri sonbaharın başlarından ortalarına kadar olgunlaşır (Özcan vd., 2005; Çınar vd., 2020).

Alıç, içerdiği biyoaktif maddeler açısından zengin olması nedeniyle besleyici, tıbbi ve yenilebilir bitkilerden biri olarak dünya çapında yaygın olarak yetiştirilmektedir. Alıç, bazı yaygın meyvelerden daha yüksek diyet lifi, pektin, askorbik asit, mineral ve antioksidan kapasiteye sahiptir. Alıç türleri genel olarak amino asitler, protein, şekerler, mineraller (Ca, K, Mg, Na ve P), vitaminler (A, C, B1, B2) açısından zengindir ve bu nedenle besin değeri yüksektir (Zhang vd., 2022; Özcan vd., 2023). 100 g kuru alıç meyvesi (*C. monogyna*), 91,99 g karbonhidrat, 3,97 g protein, 0,83 g yağ, 391 kcal enerji, 7,24 g fruktoz, 33,39 g glukoz, 0,14 g sükroz, 0,25 g trehaloz, 119,99 mg tokoferol ( $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$ - $\delta$ -tokoferol), 220 mg askorbik asit ve 54,84 mg  $\beta$ -karoten içermektedir (Barros vd., 2011). Alıç özellikle C vitamini, klorojenik asit, epikatekol, kolin ve karoten açısından zengin olup, birçok meyveye kıyasla daha yüksek Ca içeriğine sahiptir. Bundan türetilen preparatlar, diyet takviyeleri, fonksiyonel gıdalar ve farmasötik ürünlerin formülasyonunda kullanılmaktadır (Zhang vd., 2022; Özcan vd., 2023).

Ülkemizde meyveleri taze olarak ya da işlenerek (sirke, marmelat vb.) tüketilmektedir (Çınar vd., 2020). Yaygın olarak yetiştigi Asya, Avrupa ve Kuzey Amerika'da alıçlardan yapılan ürünler arasında tentürler, tabletler ve çaylar vardır. Ayrıca yaprak, çiçek ve meyvelerinin sulu özütleri de

kullanılmaktadır (Edwards vd., 2012). Çin’de kurutulmuş meyveleri geleneksel olarak sindirime yardımcı etkileri nedeniyle kullanılmakta ve sıklıkla reçel, jöle, şeker vb. yapılarak tüketilmektedir (Wang vd., 2013). Çin’de yaygın olan alıç türlerinden *C. pinnati ida*’nın meyveleri taze olarak tüketilmekte veya yiyecek ve içecek endüstrilerinde konserve meyveler, reçeller, jöleler ve alkolsüz içeceklere dönüştürülmektedir (Wen vd., 2015). Son yıllarda alıç sadece reçel ve atıştırmalık yiyeceklerin işlenmesiyle sınırlı olmayıp, piyasada alıçtan elde edilen enzimler, fonksiyonel içecekler, gıda katkı maddeleri, flavonoid özütlüleri vb. ürünler yer almaktadır. Bu nedenle alıç büyük bir ekonomik değere sahiptir (Zhang vd., 2022).

Alıç meyvesinin biyoaktif özellikleri fitokimyasal bileşimiyle yakından ilişkilidir. Alıç içeren doğal sağlık ürünleri 1800’lü yıllardan beri Kuzey Amerika’da kalp yetmezliği, hipertansiyon, aritmi gibi kalp sorunlarının tedavisinde kullanılmaktadır (Edwards vd., 2012). Meksika’da *C. mexicana* ve *C. gracilior*’un meyveleri ve yapraklarının kaynatılmasıyla hazırlanan özütlü maddeleri solunum yolu hastalıklarının yanı sıra hipertansiyon, koroner kan akışı, taşikardi vb. bozuklukları tedavi etmek için kullanılmaktadır (Torres-Ortiz vd., 2020). Geleneksel olarak Kızılderili kabileleri tarafından, alıç (*Crataegus* spp.) mide-bağırsak rahatsızlıklarını ve kalp rahatsızlıklarını tedavi etmek için kullanılmış ve meyveleri yiyecek olarak tüketilmiştir (Edwards vd., 2012). Alıç ayrıca Avrupa ve Çin’de gıda ve geleneksel tıpta da uzun bir kullanım geçmişine sahiptir. Türkiye’de alıç meyveleri geleneksel olarak büzücü özelliğinden dolayı ağır adet kanamalarında ve ishalde kullanılmaktadır. Bunun yanında hem çiçekleri hem de meyveleri idrar söktürücü olarak ve böbrek problemlerini tedavi etmek için kullanılmaktadır (Özcan vd., 2005). İran’da alıçların meyve, yaprak, çiçek gibi çeşitli kısımları antikonvülsan, kardiyotonik, idrar söktürücü ve hipotansif ajan olarak tıbbi özellikleriyle bilinmektedir (Cui vd., 2023). İspanya’da alıç (*C. monogyna*) yaprakları ve çiçekleri eski çağlardan beri kan basıncını, çarpıntıyı, sinirliliği ve bitkinliği düzenleyerek nörojenik kalp fonksiyon bozukluğunu tedavi etmek için halk hekimliğinde kullanılmaktadır (Abuashwashi vd., 2016). *C. monogyna* yaprak ve çiçeklerinden elde edilen özütlülerin ise sedasyon, hipotansiyon, vazodilatasyon ve kalp güçlendirme gibi farmakolojik özellikler gösterdiği bildirilmiştir (Martino vd., 2008; Cui vd., 2023).

Tıbbi amaçlı kullanımı yaygın olmasa da birçok çalışma alıçın antioksidan, anti-inflamatuar, antikanser, anti-kardiyovasküler hastalıklar ve sindirimi artırıcı özelliklere sahip olduğunu göstermiştir (Zhang vd., 2022). Alıç’ın sağlığa olan

faydaları, fitokimyasal ve farmakolojik özelliklerine olan ilgiyi artırmıştır. Bu nedenle de alıç türleri üzerine yapılan araştırmalar, tipik olarak farmakolojik aktiviteye sahip olduğu gösterilen flavonoidlerin ve antosiyaninlerin tanımlanmasına ve miktarının belirlenmesine odaklanmıştır (Edwards vd., 2012).

Alıçın serbest radikal temizleme faaliyetinden sorumlu olan çiçek ve meyve bileşenleri arasında epikateşin, hiperozit ve klorojenik asit tespit edilmiştir. Halk arasında çiçek ve meyveleri idrar söktürücü olarak böbrek problemlerini ve su toplamayı tedavi etmek için kullanılmaktadır. Alıç meyvelerinin lezzetinin yanı sıra kalp sağlığı üzerinde olumlu etkisi olduğu da rapor edilmiştir. Yerli alıç meyveleri, özellikle yüksek tansiyonun eşlik ettiği zayıf kalp rahatsızlıklarının tedavisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Alıç, halk hekimliğinde ishal, safra kesesi hastalığı, uykusuzluk tedavisinde ve astım tedavisinde antispazmodik bir ajan olarak kullanılmaktadır. Çin’de ayrıca sindirim sorunları, hiperlipidemi, zayıf dolaşım ve nefes darlığı gibi çeşitli durumlar için de kullanılmaktadır (Özcan vd., 2005; Wang vd., 2013). Meksika’da *Crataegus* türleri geleneksel tıpta astım, bronşit vb. solunum yolu hastalıklarının tedavisinde kullanılmaktadır (Arrieta vd., 2010).

Alıç meyvesinin antioksidan özelliği içerdiği polifenolik bileşenlere atfedilir. Fenolik bileşikler alıç bitkisinin antioksidan aktivitesine katkıda bulunan başlıca biyoaktif bileşiklerdir. Bu fenolik bileşikler arasında flavonoidler (epikateşin, hiperosid, kuersetin, rutin, izokuersetin ve prosiyanidinler) ve triterpenoid asitler (ursolik asit, korosolik asit ve maslinik asit) alıçtaki temel biyoaktif bileşenlerdir (Li vd., 2020). Çin alıçı (*C. pinnatifida*) meyvelerinin de polifenoller açısından zengin olduğu rapor edilmiştir. Son araştırmalar, Çin’de alıç meyvesinin kan kolesterolünü ve kardiyovasküler hastalık riskini düşürmedeki etkinliğini göstermiştir. Meyveler ayrıca antioksidan, antienflamatuvar ve antitümör aktiviteler de göstermiştir (Jurikova vd., 2012).

## 2.2. Böğürtlen (*Rubus spp.*)

*Rubus* cinsi, Rosaceae familyasının en büyük cinsi olup birçok meyve türünü içerir. Bu cinsin türleri yabani meyvelerdir ve yüzyıllardır yetiştirilmektedir. Günümüzde yalnızca birkaç evcilleştirilmiş tür vardır (Schulz vd., 2019). *Rubus* cinsine ait olan böğürtlen, çok yıllık ve genellikle dikenli çalı formunda bir bitkidir. Çok sayıda küçük tanelerden oluşan toplu, üzüksü siyah renkli meyvelere sahiptir (Gong vd., 2022). Bu meyvenin genel Latince adı *Rubus fruticosus*’tur. Boyu 3 m’ye kadar ulaşabilen, çalı formunda ve çorak

topraklarda hızla gelişebilen dayanıklı bir bitki olup Asya, Avrupa, Amerika ve Afrika'da üretimi yapılmaktadır (Bayizit, 2022). Yabani böğürtlen olarak bilinen *R. ulmiolius Schott* ise Avrupa, Asya ve Kuzey Afrika'daki yabani ve ekili habitatlarda bulunur (Martins vd., 2014).

*Rubus* türleri ahududu ve böğürtlen türlerinin her ikisini de içerir. Bu bağlamda yabancı literatürde bazı böğürtlen türleri “siyah ahududu” anlamında “black raspberry” olarak da adlandırılmaktadır (Tomar vd., 2020).

Ülkemizden normorik, diken çileği, karamama, alik, tilki üzümü, gürüzüm, yabani üzüm, amahır, kedi dutu, diken dutu ve yabani dut” olarak da bilinen böğürtlen, yabancı literatürde “blackberry” olarak adlandırılır (Gürdal, 2010). *R. sanctus*, *R. fruticosus*, *R. ulmifolius* türleri Türkiye'nin çeşitli yerlerinde yetişmekte olup literatürde hepsi “böğürtlen” olarak adlandırılmaktadır (Bozyel vd., 2019; Tomar vd., 2020; Usta & Çakır, 2021; Akduman & Koç, 2022). Meyvenin tıbbi, kozmetik ve besleyici değeri vardır.

Böğürtlenler lezzetli, hoş bir tada, hoş bir görünüme ve mükemmel bir beslenme profiline sahiptir. Genellikle taze olarak tüketilmektedirler. Meyvelerden şurup, reçel ve diğer konserveler hazırlanabilir ve meyve suyu, konsantre, püre, dondurma, şekerlemeler, reçel, marmelat gibi yiyecek ve içeceklerle de işlenebilir (Gong vd., 2022; Bayizit, 2022). Kurutulmuş veya taze yaprakları çay olarak kullanılır. Ayrıca, çeşitli tatlılar, meyve konserveleri gibi işlenmiş ürünler olarak da tüketilmektedir (Schulz vd., 2019; Zia-Ul-Haq vd., 2014).

Böğürtlen (*R. fruticosus* L.) meyvelerinde bolca pektin, malik asit ve sitrik asit bulunur. Karbonhidratlar açısından zengin olup özellikle şeker, nişasta ve yüksek oranda diyet lifi içermektedir. Diyet lifi, tokluk hissi verir ve kan şekerini düzenler. Ayrıca, bağırsak metabolizmasını düzenler, sindirim sağlığını destekler ve kolon kanserine karşı koruyucudur. Her 100 g böğürtlende 4-6 g diyet lifi bulunur. Böğürtlen, diyet liflerinin yanı sıra fenolikler bileşikler (fenolik asitler, flavonoidler ve lignanlar), tanenler, karotenoidler, folik asit,  $\alpha$ -tokoferol, tokotrienol, C ve K vitaminleri; Fe, Ca, K, Mn, Mg gibi mineralleri içerir. İçerdiği antioksidan özellikteki fenolikler ve C vitamini sayesinde kalp hastalıkları, kanser ve göz dejenerasyonlarına karşı koruyucu olarak bağışıklık sistemini destekler (Yiğit & Yiğit, 2014; Doğan, 2023).

Diğer üzüksü meyvelerle karşılaştırıldığında, daha yüksek seviyede ve bol miktarda antioksidan özellikteki ellagitanninler ve flavonoidleri içermektedir (Četojević Simić, 2017). Geleneksel olarak, ilginç bir şifalı bitki olarak kabul edilen *R. ulmiolius*, antioksidan aktivite de dahil olmak üzere

tıbbi özellikleri nedeniyle ev yapımı ilaçlarda da kullanılır. Soğuk algınlığına karşı etkili, antiseptik, diüretik, anti-inflamatuar, antimikrobiyal, antioksidan ve antispazmodik olduğu düşünülmektedir. Meyve vermeden önce toplanıp kurutulan çiçek tomurcukları kaynatılarak elde edilen çay, ishal, adet ağrıları, menopoz bozuklukları, karaciğer hastalıkları, aft, diş eti iltihabı, hipertansiyon ve şeker hastalığına karşı kullanılmaktadır (Martins vd., 2014). Yaprakları Akdeniz ülkelerinde geleneksel fitoterapide yara, çizik, diş eti iltihabı, ülser ve boğaz ağrısı tedavisinde kullanılmaktadır (Četojević-Simin vd., 2017).

Böğürtlenler antosiyaninler, flavonoidler ve fenolik asitler gibi fonksiyonel bileşikler açısından zengindir. İçerdikleri yüksek miktardaki bu biyoaktif bileşikler sayesinde antioksidan, antikarsinojenik, vazodilatör ve antimikrobiyal aktivite gösterirler. Bu da onları sağlığın korunmasında etkili mükemmel bir kaynak haline getirmektedir (Četojević-Simin vd., 2017).

*R. fruticosus*'un tohum yağındaki vitaminler, steroidler ve lipitler; toprak üstü kısımlarındaki mineraller, flavonoidler, glikozitler, terpenler, fenolik asitler ve tanenler antioksidan, anti-karsinojenik, antienflamatuar, antimikrobiyal, anti-diyabetik, antiviral, anti-inflamatuar vb. çeşitli farmakolojik aktivitelere sahiptir (Zia-Ul-Haq vd., 2014).

Geçmişten günümüze böğürtlenin içerdiği biyoaktif bileşenler sayesinde oksidatif strese, kardiyovasküler hastalıklara, kansere, endotoksisiteye, yaşa bağlı nörodejeneratif hastalıklara ve obeziteye karşı koruyucu etkileri de dahil olmak üzere çeşitli çalışmalar mevcuttur (Gong vd., 2022).

### 2.3. Kuşburnu (*Rosa spp.*)

Rosaceae familyasının bir başka üyesi de Türkiye'de 27, dünyada ise 100'den fazla türü (*Rosa spp.*) bulunan "Kuşburnu"dur. Ülkemizde her bölgede doğal olarak yetişebilmektedir (Özdemir & Tor, 2021). Kuşburnu bitkisi, ortalama yüksekliği yaklaşık 2-3 m olan ve kayalık, eğimli alanlar, zayıf topraklar ve sınırlı suya erişim gibi zorlu çevre koşullarına karşı güçlü dirence sahip çok yıllık ve yaprak döken çalılardır. Bitkinin çiçekleri beyaz ve pembe renkte olup, bitki yol ve bahçe kenarlarında yaygın olarak kendiliğinden yetişmektedir. Meyveleri türlere göre renk ve büyüklük bakımından farklılık gösterir ve sonbaharda toplanır. Kuşburnu, besleyici özellikleriyle tanınır ve dünya çapında uzun bir mutfak ve tıbbi kullanım geleneğine sahiptir (Kizil vd., 2018; Marković vd., 2020; Peña vd., 2023).

*Rosa* cinsi Asya, Avrupa ve Amerika'da yaygın olarak yetişmektedir (Kizil vd., 2018). Ülkemizde de geniş bir yayılış gösteren kuşburnunun en yaygın türü

*R. canina* L.'dir. Bu meyvenin Latince adı gül meyvesi anlamına gelen "Fruktus Rosae"dir. Ülkemizde *Rosa* türleri "yabangülü, itburnu, şillan, gül elması, gül burnu, deligül" olarak bilinmekte, yabancı literatürde ise "rosehip ve dog rose" olarak adlandırılmaktadır (Marković vd., 2020; Özdemir & Tor, 2021; Akyürek & Zeybek, 2023).

Geleneksel tıpta yaygın olarak kullanılan *R. canina* L., ikincil metabolitler ve özellikle flavonoidler gibi polifenoller açısından zenginliğiyle tanınan aromatik bir şifalı bitki olup meyveleri potansiyel sağlıklı bileşik kaynakları olarak dünya çapında popülerdir (Fetni vd., 2020).

Ülkemizde *R. canina* L.'nin (Rosaceae) olgunlaştırılmış meyveleri taze olarak tüketilebildiği gibi işlenerek reçel, marmelat, pekmez, nektar, meyve suyu, pestil vb. yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca, kurutulmuş meyveleri bitki çayı olarak tüketilmektedir (Ilyasoğlu, 2014; Öz vd., 2018).

Kuşburnu (*Rosa* spp.) meyveleri sağlık ve kozmetik endüstrisindeki önemli rollerinden dolayı dikkat çekmektedir (Peña vd., 2023). Kuşburnunun halk hekimliğinde geleneksel kullanımları uzun bir geçmişe sahiptir. Sırbistan'da kuşburnu meyvesi terapötik olarak bitki çayı şeklinde kullanılmaktadır. Taze kuşburnu büyük miktarda C vitamini içerdiğinden halk tarafından soğuk algınlığı, grip vb. hastalıkları tedavi etmek için tüketilir. *R. canina* L. halk hekimliğinde, özellikle karaciğer bölgesinde mide ağrıları, ishale bağlı yorgunluk, yüksek sıcaklıktan kaynaklanan baş ağrıları gibi birçok rahatsızlığın tedavisinde ve aynı zamanda ateş düşürücü, antidiyabetik ve antiemetik amaçlı kullanılmaktadır (Marković vd., 2020). Ayrıca farklı geleneksel ilaçlarda, hipertansiyonu, böbrek taşlarını, mide-bağırsak rahatsızlıklarını, öksürük ve bronşit gibi solunum problemlerini tedavi etmek için de sıklıkla kullanılmaktadır. Avrupa'da geleneksel olarak idrar söktürücü, gut önleyici ve romatizma önleyici ilaç yapımında kullanılmaktadır (Ayati vd., 2018).

Kuşburnu, polifenol ve C vitamini kaynağı olarak bilinmektedir (Fan vd., 2014). Literatürde farklı kuşburnu türleri karşılaştırılmış ve benzer niteliksel profillere sahip olsalar da meyvelerindeki biyoaktif bileşikler bakımından önemli farklılıklar gösterdikleri rapor edilmiştir. En yüksek polifenol içeriği *R. canina* L. türü için rapor edilmiştir (Peña vd., 2023).

Meyvelerindeki C vitamini içeriği 1,80-10,9 mg/g arasında değişmekte olup portakal (0,44 mg/g), yaban mersini (0,73 mg/g) ve çilek (0,56 mg/g) gibi diğer meyvelerle karşılaştırıldığında daha yüksektir. Meyveler ayrıca önemli düzeyde A, B1, B2, B6, D, E ve K vitaminlerini; malik asit, sitrik asit, kinik

asit, tartarik, asit gibi organik asitleri; P, K, Ca, Mg, Fe, Z Cu ve Mn gibi çeşitli mineralleri de içermektedir (Kizil vd., 2018; Cunja vd., 2016; Murathan vd., 2016; Peña vd., 2023).

Meyvelerinde antosiyaninler, flavonoller, flavan-3-oller, fenolik asitler ve hidrolize edilebilir tanenler gibi flavonoidler dahil olmak üzere çeşitli galaktolipidler, likopen,  $\beta$ -kriptoksantin,  $\beta$ -karoten, rubiksantin, gazaniaksantin lutein, zeaksantin gibi karotenoidlerin de bulunduğu rapor edilmiştir (Fan vd., 2014; Peña vd., 2023). Kateşin ve prosiyanidin B2 ana fenolik bileşikleridir (Fetni vd., 2020). İçeriğindeki tüm bu değerli biyoaktif bileşikler nedeniyle fonksiyonel gıda özellikleri bakımından geniş çapta incelenmiştir. Bu biyoaktif bileşikler, meyvelerin sağlık yararlarından öncelikli olarak sorumludur ve antioksidan özellikleriyle ilişkilidir. Ayrıca antikanser, antimikrobiyal, anti-inflamatuvar, antiobezojenik vb. aktivitelere sahiptirler (Fan vd., 2014; Peña vd., 2023).

#### 2.4. Yaban Mersini (*Vaccinium spp.*)

Ericaceae (Fundagiller) familyasının bir üyesi olan yaban mersini (*Vaccinium spp.*) ülkemize doğal olarak yetişen çok yıllık, yenilebilir yabani ve üzüksü meyvelerden biridir (Çelik & Ayran, 2020). Ilıman iklim koşullarını seven, boyu 4 m'ye kadar ulaşabilen, kışın yapraklarını döken, çalı formunda, dünya çapında yetişen veya yetiştirilen popüler bir bitkidir. Kuzey Amerika'ya özgü bir bitki olan yaban mersini, Kanada, Japonya, Yeni Zelanda, Kuzey Avrupa, Avustralya, Çin ve 2000'li yıllardan sonra da ülkemizde yetiştirilmeye başlanmıştır. Ülkemizde özellikle Karadeniz Bölgesi'nde Trabzon ve Rize'de kendiliğinden yetişen yabani formları mevcuttur. Dünya genelinde yaklaşık 400 türü olan *Vaccinium*, ekonomik bir değere sahip olup üretimi her geçen yıl artmaktadır (Bayizit, 2022; Aydemir vd., 2022; Wu vd., 2023).

Ülkemizde *Vaccinium* türleri “yaban mersini, likapa, maviyemiş, ligarba, ayı üzümü, çalı çileği, Trabzon üzümü, çay üzümü” olarak adlandırılmakta, yabancı literatürde ise “blueberry” olarak bilinmektedir. Türkiye florasında doğal olarak yetişen dört farklı yaban mersini türü (“*V. vitis-idea* L., *V. myrtilus* L., *V. arctostaphylos* L., *V. uliginosum* L.”) bulunmaktadır. Yaygın olarak bilinenleri “*V. myrtilus* L. ve *V. arctostaphylos* L.” türleridir (Çelik & Ayran, 2020).

Yaban mersini bitkisinin yaprak, çiçek ve meyveleri terapötik olarak taze veya işlenmiş formlarda kullanılır. Sadece belirli mevsimlerde taze olarak elde edilen yaban mersini, yiyecek ve içecek endüstrisinde jöle, püre veya meyve suyuna dönüştürülerek tüketilebilmektedir (Tobar-Bolaños vd., 2021).

Türkiye’de ise meyveleri taze ya da kurutularak, meyve suyu sanayisinde, ekmek, çörek, kek ve pastalarda, reçel, marmelat, diyet ürünler, çay ve çeşitli içeceklerin yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca son yıllarda çeşitli ilaçlar, takviyeler ve kozmetik ürünlerde de kullanılmak üzere tüketiciye sunulmaktadır (Aydemir vd., 2022).

Yaban mersini, diyet liflerinin (meyve ağırlığının %3-3,5’i) yanında A, C, E ve B kompleks vitaminleri gibi antioksidanlar açısından zengin olduğundan besleyici bir meyvedir. Yaban mersini Ca, K, P, Se, Zn, Fe ve Mn minerallerini bakımından da zengindir. Sodyum içeriği ve kalorisi düşüktür (Miller vd., 2019; Çelik & Ayran, 2020). USDA verilerine göre 100 g çiğ yaban mersini meyvesi, 84,2 g su, 64 kcal enerji, 0,7 g protein, 0,31 g yağ, 3,6 g diyet lifi, 14,6 g karbonhidrat (9,36 g toplam şeker, <0,25 sukroz, 1,42 g glukoz, 4,94 g fruktoz, <0,25 g laktoz, 0,25 g maltoz, <0,1 g galaktoz, 8,1 mg C vitamini, 0,8 mg E vitamini, 28,6 µg K vitamini, <3,7µg biotin, 86 mg K, 12 mg Ca, 0,34 mg Fe, 6,2 mg Mg, 13 mg P ve eser miktarda Na, Zn, Cu ve Mn içermektedir. Bir fincan çiğ yaban mersini ise yaklaşık 84 kalori olup 21 g karbonhidrat ve 4 g diyet lifi içerir. (USDA, 2022). 100 g taze yaban mersini tüketimi, günlük önerilen C vitamini alımının 1/3’ünü karşılayabilir (Rashidinejad, 2020). Yaban mersini ayrıca, fonksiyonel karotenoid bileşiklerini (β-karoten, lutein ve zeaksantin) içerir ve biyoaktif bileşikler açısından da zengindir (Miller vd., 2019; Çelik & Ayran, 2020). Aynı zamanda zengin klorojenik asit kaynağı olup malvidin, petunidin, peonidin, siyanidin ve delphinidin gibi antosiyaninleri bol miktarda içermektedir (Rashidinejad, 2020). Yüksek miktarda prosiyanidin, kuersetin, kaempferol, mirisetin, (+) kateşin, (-) epikateşin, resveratrol, benzoik ve sinamik asitleri içerir. İçerdiği bu bileşikler (antosiyaninler, flavonoidler, flavonoller ve hidroksisinnamik/hidroksibenzoik asitler gibi fenolik asitler) sayesinde benzer meyvelerden çok daha güçlü antioksidan özellik gösterirler (Giovanelli & Buratti, 2009; Çağlar & Demirci, 2017; Çelik & Ayran, 2020). Özellikle meyvelerin kırmızı/mavi/mor renginden sorumlu olan antosiyaninler bakımından zengindir (Miller vd., 2019).

Yaban mersini, çekici tadı ve renginin yanı sıra sağlığa faydaları olan popüler bir üzümü meyvedir. Yenilebilir üzümü meyveler, kanser, kalp-damar hastalıkları, diş-diş eti hastalıkları, obezite, diyabet, yaşlanma, idrar yolu enfeksiyonları dahil birçok hastalığın oluşma riskini azaltmada etkili antosiyaninler vd. fenolik bileşikler bakımından zengindir (Yıldız vd., 2015). Bu nedenle yaban mersininin sağlık yararları, içerisinde bulunan ve antioksidan, antitümör, antimutajenik, antidiyabetik aktivitelere sahip önemli sayıdaki



biyoaktif bileşiklere atfedilir (Tobar-Bolaños vd., 2021). Biyoaktif bileşiklerin, hücrel antioksidan koruma sağlama, serbest radikalleri temizleme, inflamatuvar gen ekspresyonunu inhibe etme ve sonuç olarak oksidan kaynaklı ve inflamatuvar hücre hasarına ve sitotoksositeye karşı koruma sağlama yeteneğine sahip olduğu bilinmektedir. Çok sayıda çalışma, yaban mersininin ellagitanin içeriğine bağlı olarak kardiyovasküler hastalıklara karşı önleyici etkisini bildirmiştir (Lavefve vd., 2020). Ayrıca; kanı temizler, damar elastikiyetini artırır, kan şekerini düşürür, göz sağlığını korur ve lifli yapısından dolayı da bağırsak metabolizmasını düzenlemeye yardımcı olur (Çağlar & Demirci, 2017).

### 2.5. İğde (*Elaeagnus spp.*)

İğde (*Elaeagnus angustifolia* L.), Elaeagnaceae (Araliaceae) familyasının *Elaeagnus* cinsine ait çok yıllık bir bitkidir (Sahan vd., 2013). Dünyanın birçok bölgesinde yetişebilmesinin yanı sıra genellikle Asya, Avrupa ve Kuzey Amerika'nın subtropikal bölgelerinde yetişen 90'dan fazla *Elaeagnus* türü olduğu bilinmektedir (Saboonchian vd., 2014). Görünüm olarak küçük, eliptik şekilli, kırmızımsı-kahverengi renkte meyvelere sahiptir. Zeytin ağacına benzerliği nedeniyle yaygın olarak Rus zeytini veya yabani zeytin olarak da isimlendirilir. Büyük çalı formunda, yaprak dökken bir ağaçtır (Fonia vd., 2009). İğde, 10 m yüksekliğe ve 30 cm çapa kadar hızla büyüyebilir. 5 ila 6 yıl sonunda meyve vermeye başlayan yaklaşık 80-100 yıl yaşayabilen uzun ömürlü bir ağaçtır. Bu ağaç, taşlı, yüksek tuzlu, kumlu toprak yapısına, şiddetli kuraklık ve sel gibi zorlu çevre şartlarına dayanıklıdır. İğde tıpta, parfüm endüstrisinde, ağaç işlerinde ve müzik aletlerinin üretiminde kullanılmaktadır (Kiseleva & Chindyaeva, 2011). Meyvesi karbonhidrat, protein, önemli vitamin ve mineralleri içeren besleyici değeri yüksek bir bitkidir (Fonia vd., 2009; Taheri vd., 2010). Çiçekleri, küçük, hoş kokulu, sarımsı beyaz renktedir. İğde çiçekleri bal arıları için nektar kaynağı ve likör üretiminde tatlandırıcı olarak kullanılmaktadır (Fonia vd., 2009; Kiseleva & Chindyaeva, 2011). İğdenin, meyve, çiçek, yaprak ve kabuğunun kaynatılması ile elde edilen sıvı, geleneksel olarak çeşitli hastalıkları ve semptomlarını tedavi etmek için kullanılmıştır. Çiçekleri ayrıca geleneksel tıpta tetanozu tedavi etmek için de kullanılmıştır. Çiğ veya haşlanmış iğde, boğaz ağrısı, ateş, öksürük, grip, astım, soğuk algınlığı, bulantı, kusma, ishal vd. bazı hastalıkların tedavisinde kullanılmaktadır (Wang vd., 2013; Natanzi vd., 2012; Asadiar vd., 2013). İran halk hekimliğinde meyveler, romatoid artritli

hastalarda ağrı ve iltihaplanmayı gidermek ve yaralı bir bölgede yara iyileşme sürecini hızlandırmak için kullanılmıştır (Sahan vd., 2013). İğde meyvelerinden elde edilen preparatlar, bağırsaklarda yara iyileştirici doku oluşumunu arttırdığı için Avrupa ve Orta Asya'nın bazı bölgelerinde peptik ülser tedavisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Gürbüz vd., 2003) Son farmakolojik çalışmalar, iğdenin bir dizi rahatsızlığı tedavi etmek için kullanılabilir antienflamatuvar, antimikrobiyal, antioksidan ve diğer bazı sağlık yararlarına sahip bileşikler içerdiğini bildirmişlerdir (Wang vd., 2013).

İğde meyvesi genellikle taze veya kurutulmuş olarak tüketilmektedir. Tokoferol, karoten, C vitamini, Tiamin (B1) gibi vitaminlerin zengin bir kaynağıdır. Ca, K, Fe, Mg ve Mn minerallerini içermektedir (Boudraa vd., 2010). En fazla bulunan mineral potasyumdur (8504 mg/kg), ardından sodyum (1731 mg/kg) ve fosfor (635 mg/kg) içermektedir (Cansev vd., 2011). Meyve özütlerinde, flavonoid bileşikler, polisakkaritler, sitosteroller, kardiyak glikozitleri, terpenoidler, kumarinler, fenol karboksilik asitler, aminoasitler, vitaminler, karotenoidler, saponinler ve tanenleri içerdiği bildirilmiştir (Natanzi vd., 2012; Okmen & Turkcan, 2014). Fenolik bileşiklerden (+)-kateşin, (-)-epikateşin, (+)-gallokateşin, (-)-epigallokateşin, kaempferol, kuersetin, luteolin, isorhamnetin ve isorhamnetin-3-0-b-D-galaktopiranosid gibi bir grup flavonoidleri içermektedir (Okmen & Turkcan, 2014). İğde meyvesi yüksek miktarda kondanse tanen içermektedir. Kondense tanen içeriği bitkinin farklı kısımlarına göre değişiklik göstermektedir. Tanenlerin vücudumuzda anti-kolesterol, antienflamatuvar, anti-kanser, kardiyoprotektif ve kemopreventif etkilere sahip olduğu bilinmektedir. Ayrıca, yaralı cilt doku bölgesinde anjiyogenez aktivitelerini arttırarak iyileşme süresinin kısılmasına yardımcı olduğu bildirilmiştir (Ayaz & Bertoft, 2001; Hamidpour vd., 2016).

## 2.6. Kızılcık (*Cornus mas L.*)

Kızılcık (*Cornus mas L.*), Cornaceae familyasına ait, 3-8 m yüksekliğinde çalı veya küçük ağaç formunda olan üzüksü meyvelerden bir diğeridir. Çoğunlukla Avrupa'nın doğu ve güney bölgeleri ile Batı Asya'da, ılıman iklim koşullarında drenajlı topraklarda yetişmektedir (Rop vd., 2010; Ersoy vd., 2011). Meyveleri kırmızıdan mora kadar değişen renkte, oval veya armuta benzer şekildedir. Kızılcık meyvesinin ağırlığı, türüne ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak 2,09-9,17 g arasında değişmektedir (Yılmaz vd., 2009; Milenkovic-Andjelkovic vd., 2015). Kızılcık, C vitamini ve polifenoller açısından zengin bir başka yabancı meyvedir. Kızılcık meyve ve yapraklarında önemli miktarlarda

flavonoid, antosiyanin ve iridoid bileşikleri bulunmaktadır. Bu bileşikler yoğun radikal temizleme aktivitesi ve anti-tümör özelliklere sahiptirler (Sozański vd., 2016; De Biaggi vd., 2018). Kızılcık geleneksel olarak reçel, şekerleme ve diğer meyve bazlı ürünlere işlenerek tüketilmektedir (Rop vd., 2010). Özellikle Polonya, Çek Cumhuriyeti, Sırbistan, Romanya, Türkiye ve İran mutfağında kullanılmaktadır (Rop vd., 2010; Ersoy vd., 2011; Kucharska vd., 2011; Dokhanieh vd., 2013; Badalica-Petrescu vd., 2014; Moldovan vd., 2016).

Kızılcık meyvesi Zn, Cu ve Mn mikro besin elementleri bakımından zengindir. Taze meyvedeki bu minerallerin konsantrasyon değerleri sırasıyla 260-350, 110-170 ve 2400-2900 µg/100 g arasında değişmektedir (Dokoupil & Řezníček 2012). Aynı zamanda K açısından önemli bir kaynaktır. 100 g taze meyvede 3500 mg K bulunmaktadır. Bu miktar Dünya Sağlık Örgütü'nün günlük potasyum alım miktarının tamamını karşılayacak düzeydedir (Dokoupil & Řezníček 2012; WHO, 2012). İndirgen şeker içeriği 5 farklı Türk genotipi için %8,64 ile %15,24 arasında bildirilmiştir (Sengul vd., 2014). Kızılcık meyvesi bol miktarda poifenol bileşiği (antosiyanin, tanen, monoterpen, C vitamini, fenolik asit, flavonoid) içermektedir (Czerwińska & Melzig, 2018). Toplam polifenolik bileşik miktarı 100 g yaş meyve için 219,08 ile 976,51 mg arasında değişmektedir. Kızılcık meyvesinde en yaygın bulunan fitokimyasal kateşindir. Antosiyanin açısından zengin olan kızılcık meyvesinde delphinidin-3-O-galaktozit, siyanidin-3-O-galaktozit, pelargonidin 3-O glukozit bulunmaktadır (Moldovan vd., 2016; Czerwińska & Melzig, 2018).

Kızılcık meyvesi, yaprakları ve çiçekleri uzun yıllardır Kafkasya ve Orta Asya'da kanın pıhtılaşmasında, boğaz ağrısı, anemi, suçiçeği, raşitizm ve böbrek-karaciğer rahatsızlıklarının tedavisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Lewis & Elvin-Lewis, 2003; Dinda vd., 2016). Yüksek melatonin içerdiğinden dolayı melatonin açısından zengin ilaçlarda da içerik maddesi olarak kullanılmaktadır. Ateş düşürücü ve ishal önleyici özelliklere sahiptir. Aynı zamanda meyve suyu, şerbet veya komposto halinde tüketildiğinde idrardaki asit miktarını artırarak böbrek taşı hastalıklarını tedavi etmeye yardımcı olduğu bildirilmiştir. Böbrek ve karaciğer fonksiyonlarını iyileştirici, nöroprotektif ve yaşlanma karşıtı etkiler gösterir. Kızılcık meyvesinin cilt üzerinde de fonksiyonel etkileri vardır. Avrupa'da kozmetik sanayinde de kullanılmaktadır. Ayrıca kanamayı önleyici ajan olarak da kullanılmaktadır (Dinda vd., 2016; Polatoğlu vd., 2017).

Bu bölümde bahsi geçen yabancı yenilebilir meyvelerde (alıç, böğürtlen, kuşburnu, yaban mersini, iğde ve kızılcık) bulunan biyoaktif bileşikler üzerine yapılmış güncel literatür çalışmalarına Tablo 1'de yer verilmiştir.

**Tablo 1:** Yabani Meyvelerin İçerdiği Biyoaktif Bileşikler

Yabani Meyve	Latince Adı	Biyoaktife Bileşikler	Yer	Kaynak
Alıç	<i>Crataegus azarolus</i>	Kuersetin, gallik asit, kinik asit, kaempferol, p-kumarik asit.	Tunus	Sammarı vd., 2021
Alıç	<i>Crataegus oxyacantha</i>	Klorojenik asit, kuersetin, naringenin, kuersetin-3-glukozit, epikateşin, rutin, epikateşin gallat, miquelianin, kaftarik asit, orientin, kafeik asit, apigenin.	Cezayir	Mecheri vd., 2021
Böğürtlen	<i>Rubus fruticosus</i>	Gallik asit, rosmarinik asit, kateşin, rutin, kaempferol, kersetin, pirokatekol, siringik asit, p-kumarik asit, vanilik asit, kafeik asit.	Romanya	Metzner Ungureanu vd., 2020
Böğürtlen	<i>Rubus ulmifolius</i>	Ferulik asit, gallik asit, epikateşin, kateşin, p-kumarik asit, siringik asit, sinapik asit, sinapaldehit, konifer aldehit, krisin, siringaldehit, benzoik asit, salisilik asit, luteolin, kafeik asit, kuersetin, naringenin, pinobanksin, pinokembrin, kaempferol, apigenin, isorhamnetin, galangin.	Brezilya	Schulz vd., 2019
Kuşburnu	<i>Rosa canina</i> <i>Rosa rubiginosa</i>	Kuersetinheksosid, siyanidin 3-glukozit, kateşin, kuersetinrhamnosid, galloilkinik asit, kuersetinglukuronid.	Şili	Peña vd., 2023
Kuşburnu	<i>Rosa canina</i>	Ferulik asit, epikateşin, gallik asit, kateşin hidrat, vanilik asit, kafeik asit, şiringik asit, rutin, kumarik asit, sinapik asit, salisilik asit, elajik asit, klorojenik asit, mirisetin, kuersetin	Romanya	Cosmulescu vd., 2017
Yaban mersini	<i>Vaccinium myrtillus</i>	Kuersetin, kaempferol, gentisik asit, mirisetin, ferulik asit, ellagik asit, siyanidin, kateşin.	Türkiye	Sezer vd., 2019
Yaban mersini	<i>Vaccinium meridionale</i>	Malvidin, peonidin, siyanidin, delphinidin, petunidin, galaktosidler, siyanidin, delfinidin glikozidleri, kafeoilkinik asit, arabinosidler, kafeik asit türevleri, kuersetin heksosid, kuersetin pentosid, kuersetin rhamnosid.	Kolombiya	Garzón vd., 2010

İğde	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	Kafeik asit, kuersetin, gallik asit, kateşin, epikateşin, klorojenik asit, kamferol rosmarinik asit, mirisetin, luteolin.	Türkiye	Karkar & Şahin, 2022
İğde	<i>Elaeagnus latifolia</i>	Kateşin, gallik asit, p-kumarik asit, kafeik asit, m- kumarik asit, ferulik asit, klorojenik asit.	Hindistan	Dasila & Singh 2022
Kızılcık	<i>Cornus mas</i>	Gallik asit, vanilik asit, kateşinhidrat, klorojenik asit, rutin, kafeik asit, epikateşin, şiringik asit, kumarik asit, kuersetin, ferulik asit, sinapik asit, salisilik asit, elajik asit, mirisetin.	Romanya	Cosmulescu vd., 2017
Kızılcık	<i>Cornus mas</i>	Gallik asit, klorojenik asit, kuersetin, ferulic asit, p-kumarik asit, o-kumarik asit, ferulic asit, kafeik asit, ellajik asit.	Türkiye	Ozrenk vd., 2023

### 3. Sonuç

Yabani meyveler özellikle kırsal kesimlerde yaşayan düşük gelirli bireylerin ekonomik olarak kolay ulaşabilecekleri doğal besin kaynaklarıdır. Geleneksel kullanımları, kimyasal bileşimi ve antioksidatif özellikleri temel alındığında yenilebilir yabani meyveler, besin öğeleri ve fitokimyasallar açısından zengin olup çeşitli farmakolojik aktiviteleriyle tıbbi olarak da önemli bir potansiyele sahiptir. İçerdikleri yüksek lif, vitamin ve mineraller sayesinde sağlıklı beslenmeye katkıda bulunur. Besleyici özelliklerinin yanı sıra polifenoller, flavonoidler, fenolik asitler ve karotenoidler gibi antioksidan aktiviteye sahip biyolojik olarak aktif bileşikler içermektedir. Yabani meyvelerdeki diyet polifenollerinin tüketimi, diyabetin patogenezi ve kardiyometabolik bozuklukların ortaya çıkmasını önlemeye yardımcı olmaktadır. İçerdikleri bu biyoaktif bileşikler sayesinde antioksidan, antiseptik, diüretik, anti-inflamatuvar, antitümör, antimikrobiyal, antidiyabetik, antispazmodik, antihipertansif, antimitojenik vb. aktiviteler gösterirler. Böylelikle, yaşlanma, depresyon, kardiyovasküler hastalıklar, kanser, Alzheimer, diyabet vd. hastalıklara karşı koruyucudurlar. Bu nedenle sağlıklı ve dengeli bir beslenmede önemli rol oynarlar. Bu özelliklerinden dolayı yabani meyvelerin tüketiminin teşvik edilmesi, üretiminin artırılmasına yönelik çalışmaların yapılması, ürün formülasyonlarının geliştirilerek piyasa sunulması önerilmektedir.

### Kaynakça

Abbas, M., Saeed, F., Anjum, F. M., Afzaal, M., Tufail, T., Bashir, M. S., ... & Suleria, H. A. R. (2017). Natural polyphenols: An overview. *International Journal of Food Properties*, 20(8), 1689-1699.

Abuashwashi, M. A., Palomino, O. M., & Gómez-Serranillos, M. P. (2016). Geographic origin influences the phenolic composition and antioxidant potential of wild *Crataegus monogyna* from Spain. *Pharmaceutical Biology*, 54(11), 2708-2713.

Akduman, R. E., & Koç, D. E. (2022). Geyve Boğazı ve çevresinin bitki coğrafyası. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 5(1), 55-73.

Akyürek, S., & Zeybek, H. İ. (2023). Gümüşhane İlinde Gastronomik Bir Değer Olarak Kuşburnu Üzerine Bir Değerlendirme. *Çatalhöyük Uluslararası Turizm ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 8(10), 45-63.

Arrieta, J., Siles-Barrios, D., García-Sánchez, J., Reyes-Trejo, B., & Sánchez-Mendoza, M. E. (2010). Relaxant effect of the extracts of *Crataegus mexicana* on guinea pig tracheal smooth muscle. *Pharmacognosy Journal*, 2(17), 40-46.

Asadiar, L. S., Rahmani, F., & Siami, A. (2013). Assessment of genetic diversity in the Russian olive (*Elaeagnus angustifolia*) based on ISSR genetic markers. *Revista Ciência Agronômica*, 44, 310-316.

Ayati, Z., Amiri, M. S., Ramezani, M., Delshad, E., Sahebkar, A., & Emami, S. A. (2018). Phytochemistry, traditional uses and pharmacological profile of rose hip: A review. *Current pharmaceutical design*, 24(35), 4101-4124.

Ayaz, F. A., & Bertoft, E. (2001). Sugar and phenolic acid composition of stored commercial oleaster fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 14(5), 505-511.

Aydemir, E., Altan, M., & Tekşam, A. B. Blueberry'nin Yapısal Özellikleri ve Alternatif Kullanım Alanı Olarak Sağlık, 2nd International Congress of Engineering and Natural Sciences Studies (ICENSS-2022), May 07-09 2022, Ankara/Turkey, 153.

Badalica-Petrescu, M., Dragan, S., RANGA, F., Fetea, F., & Socaciu, C. (2014). Comparative HPLC-DAD-ESI (+) MS fingerprint and quantification of phenolic and flavonoid composition of aqueous leaf extracts of *Cornus mas* and *Crataegus monogyna*, in relation to their cardiotoxic potential. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 42(1), 9-18.

Badhani, A., Sakalani, S., & Mishra, A. (2011). Variation in biochemical's and antioxidant activity of some wild edible fruits of Uttarakhand. *Report and Opinion*, 3(3), 1-10.

Barros, L., Carvalho, A. M., & Ferreira, I. C. (2011). Comparing the composition and bioactivity of *Crataegus monogyna* flowers and fruits used in folk medicine. *Phytochemical analysis*, 22(2), 181-188.

Bayar, E., & Deligöz, A. (2016). Alıç (*Crataegus monogyna* Jacq.) fidanlarının morfolojisi ve kök gelişme potansiyeli üzerinde yetiştirme sıklığının etkisi. *Turkish Journal of Forestry*, 17(1), 7-11.

Bayizit, M. (2022). Bursa İlinde Yetiştirilen Önemli Üzümsü Meyvelerin (Ahududu, Böğürtlen, Yaban Mersini) Üretim ve Pazarlamasının Ekonomik Analizi (Doctoral dissertation, Bursa Uludag University (Turkey)).

Bhatt, I. D., Rawat, S., Badhani, A., & Rawal, R. S. (2017). Nutraceutical potential of selected wild edible fruits of the Indian Himalayan region. *Food chemistry*, 215, 84-91.

Boudraa, S., Hambaba, L., Zidani, S., & Boudraa, H. (2010). Mineral and vitamin composition of fruits of five underexploited species in Algeria: *Celtis australis* L., *Crataegus azarolus* L., *Crataegus monogyna* Jacq., *Elaeagnus angustifolia* L. and *Zizyphus lotus* L. *Fruits (Paris)*, 65(2), 75-84.

Bozyel, M., Merdamert Bozyel, E., Canlı, K., & Altuner, E. (2019). Anticancer uses of medicinal plants in Turkish traditional medicine. *KSU Tarım ve Doğa Dergisi-KSU Journal of Agriculture and Nature*, 22.

Bvenura, C., & Sivakumar, D. (2017). The role of wild fruits and vegetables in delivering a balanced and healthy diet. *Food Research International*, 99, 15-30.

Cansev, A. S. U. M. A. N., Sahan, Y. A. S. E. M. İ. N., Celik, G., Taskesen, S., & Ozbey, H. (2011). Chemical properties and antioxidant capacity of *Elaeagnus angustifolia* L. fruits. *Asian Journal of Chemistry*, 23(6), 2661-2665.

Četojević-Simin, D. D., Ranitović, A. S., Cvetković, D. D., Markov, S. L., Vinčić, M. N., & Đilas, S. M. (2017). Bioactivity of blackberry (*Rubus fruticosus* L.) pomace: Polyphenol content, radical scavenging, antimicrobial and antitumor activity. *Acta periodica technologica*, 2(48), 63-76.

Cosmulescu, S., Trandafir, I., & Nour, V. (2017). Phenolic acids and flavonoids profiles of extracts from edible wild fruits and their antioxidant properties. *International Journal of Food Properties*, 20(12), 3124-3134.

Cui, M., Cheng, L., Zhou, Z., Zhu, Z., Liu, Y., Li, C., ... & Duan, B. (2023). Traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and safety concerns of hawthorn

(*Crataegus* genus): A comprehensive review. *Journal of Ethnopharmacology*, 117229.

Cunja, V., Mikulic-Petkovsek, M., Weber, N., Jakopic, J., Zupan, A., Veberic, R., ... & Schmitzer, V. (2016). Fresh from the ornamental garden: Hips of selected rose cultivars rich in phytonutrients. *Journal of Food Science*, 81(2), C369-C379.

Czerwińska, M. E., & Melzig, M. F. (2018). *Cornus mas* and *Cornus officinalis*—Analogies and differences of two medicinal plants traditionally used. *Frontiers in pharmacology*, 9, 894.

Çağlar, M., & Demirci, M. (2017). Üzümsü meyvelerde bulunan fenolik bileşikler ve beslenmeadaki önemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(11), 18-26.

Çelik, S. A., & Ayran, İ. (2020). Antioksidan kaynağı olarak bazı tıbbi ve aromatik bitkiler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 13(2), 115-125.

Çınar, N., Bayer, F. U., Fırat, Ayas, Yeğin, A., & Mehmet, Öten. (2020). Batı Akdeniz Bölgesi *Crataegus* L. taksonlarının bazı morfolojik ve biyokimyasal özellikleri. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(1), 63-72.

Dasila, K., & Singh, M. (2022). Bioactive compounds and biological activities of *Elaeagnus latifolia* L.: An underutilized fruit of North-East Himalaya, India. *South African Journal of Botany*, 145, 177-185.

De Biaggi, M., Donno, D., Mellano, M. G., Riondato, I., Rakotoniaina, E. N., & Beccaro, G. L. (2018). *Cornus mas* (L.) fruit as a potential source of natural health-promoting compounds: Physico-chemical characterisation of bioactive components. *Plant Foods for Human Nutrition*, 73, 89-94.

Dinda, B., Kyriakopoulos, A. M., Dinda, S., Zoumpourlis, V., Thomaidis, N. S., Velegraki, A., ... & Dinda, M. (2016). *Cornus mas* L. (cornelian cherry), an important European and Asian traditional food and medicine: Ethnomedicine, phytochemistry and pharmacology for its commercial utilization in drug industry. *Journal of Ethnopharmacology*, 193, 670-690.

Dirlik, S., & Eser, Y. (2021). *Crataegus monogyna* ve *Crataegus azarolus* türlerinde morfolojik fidan özellikleri. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 22(1), 103-108.

Doğan, M. (2023). Fonksiyonel besin olarak böğürtlen (*Rubus fruticosus* L.): besinsel bileşimleri ve antioksidan özellikleri. *AS-Proceedings*, 1(2), 168-174.

Dokhanieh, A. Y., Aghdam, M. S., Fard, J. R., & Hassanpour, H. (2013). Postharvest salicylic acid treatment enhances antioxidant potential of cornelian cherry fruit. *Scientia Horticulturae*, 154, 31-36.



Dokoupil, L., & Řezníček, V. (2012). Production and use of the cornelian cherry—*Cornus mas* L. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 60(8), 49-58.

Edwards, J. E., Brown, P. N., Talent, N., Dickinson, T. A., & Shipley, P. R. (2012). A review of the chemistry of the genus *Crataegus*. *Phytochemistry*, 79, 5-26.

Ercisli, S., & Sagbas, H. I. (2017). Wild edible fruits: A rich source of biodiversity. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 27(2), 116-122.

Ersoy, N., Bağcı, Y., & Gök, V. (2011). Antioxidant properties of 12 cornelian cherry fruit types (*Cornus mas* L.) selected from Turkey. *Scientific Research and Essays*, 6(1), 98-102.

Fan, C., Pacier, C., & Martirosyan, D. M. (2014). Rose hip (*Rosa canina* L.): A functional food perspective. *Functional Foods in Health and Disease*, 4(12), 493-509.

Fetni, S., Bertella, N., & Ouahab, A. (2020). LC-DAD/ESI-MS/MS characterization of phenolic constituents in *Rosa canina* L. and its protective effect in cells. *Biomedical Chromatography*, 34(12), 1-17.

Fonia, A., White, I. R., & White, J. M. L. (2009). Allergic contact dermatitis to *Elaeagnus* plant (Oleaster). *Contact dermatitis*, 60(3), 178-179.

Garzón, G. A., Narváez, C. E., Riedl, K. M., & Schwartz, S. J. (2010). Chemical composition, anthocyanins, non-anthocyanin phenolics and antioxidant activity of wild bilberry (*Vaccinium meridionale* Swartz) from Colombia. *Food Chemistry*, 122(4), 980-986.

George, T. W., Niwat, C., Waroonphan, S., Gordon, M. H., & Lovegrove, J. A. (2009). Effects of chronic and acute consumption of fruit-and vegetable-puree-based drinks on vasodilation, risk factors for CVD and the response as a result of the eNOS G298T polymorphism: Conference on 'Multidisciplinary approaches to nutritional problems'. *Proceedings of the Nutrition Society*, 68(2), 148-161.

Giovanelli, G., Buratti, S. (2009): Comparison of polyphenolic composition and antioxidant activity of wild Italian blueberries and some cultivated varieties. *Food Chemistry*, 112: 903–908.

Gong, E. S., Li, B., Li, B., Podio, N. S., Chen, H., Li, T., ... & Liu, R. H. (2022). Identification of key phenolic compounds responsible for antioxidant activities of free and bound fractions of blackberry varieties' extracts by boosted regression trees. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(3), 984-994.

Gürbüz, I., Üstün, O., Yesilada, E., Sezik, E., & Kutsal, O. (2003). Anti-ulcerogenic activity of some plants used as folk remedy in Turkey. *Journal of ethnopharmacology*, 88(1), 93-97.

Gürdal, B. (2010). Marmaris (Muğla) ilçesinde etnobotanik bir araştırma (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul).

Hamidpour, R., Hamidpour, S., Hamidpour, M., Shahlari, M., Sohraby, M., Shahlari, N., & Hamidpour, R. (2017). Russian olive (*Elaeagnus angustifolia* L.): From a variety of traditional medicinal applications to its novel roles as active antioxidant, anti-inflammatory, anti-mutagenic and analgesic agent. *Journal of traditional and complementary medicine*, 7(1), 24-29.

Ilyasoğlu, H., 2014. Characterization of Rosehip (*Rosa canina* L.) seed and seed oil. *International Journal of Food Properties*, 17: 1591-1598.

Jurikova, T., Sochor, J., Rop, O., Mlcek, J., Balla, S., Szekeres, L., ... & Kizek, R. (2012). Polyphenolic profile and biological activity of Chinese hawthorn (*Crataegus pinnatifida* Bunge) fruits. *Molecules*, 17(12), 14490-14509.

Karkar, B., & Şahin, S. (2022). Determination of phenolic compounds profiles and antioxidant properties of oleaster (*Elaeagnus angustifolia* L.) grown in Turkey. *European Food Research and Technology*, 248(1), 219-241.

Kiseleva, T. I., & Chindyaeva, L. N. (2011). Biology of oleaster (*Elaeagnus angustifolia* L.) at the northeastern limit of its range. *Contemporary Problems of Ecology*, 4, 218-222.

Kizil, S., Toncer, O., & Sogut, T. (2018). Mineral contents and fatty acid compositions of wild and cultivated rosehip (*Rosa canina* L.). *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(2), 744-748.

Korkmaz, K., Şenol, O., & Akbulut, F. (2023). Düşük gelir grubundaki ülkelerin yetersiz beslenme durumunun panel veri analiz yöntemiyle incelenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(2), 430-443.

Kucharska, A. Z., Piórecki, N., Sokół-Łętowska, A., & Żarowska, B. (2011). Characteristics of chemical composition and antioxidant properties of cornelian cherry fruit fermented in brine. *Zesz Probl Postępów Nauk Rol*, 566, 125-133.

Lavefve, L., Howard, L. R., & Carbonero, F. (2020). Berry polyphenols metabolism and impact on human gut microbiota and health. *Food & function*, 11(1), 45-65.

Lewis, W. H., & Elvin-Lewis, M. P. (2003). *Medical botany: plants affecting human health*. John Wiley & Sons.

Li, M., Chen, X., Deng, J., Ouyang, D., Wang, D., Liang, Y., ... & Sun, Y. (2020). Effect of thermal processing on free and bound phenolic compounds and antioxidant activities of hawthorn. *Food chemistry*, 332, 127429.

Lou, X., Yuan, B., Wang, L., Xu, H., Hanna, M., & Yuan, L. (2020). Evaluation of physicochemical characteristics, nutritional composition and antioxidant capacity of Chinese organic hawthorn berry (*Crataegus pinnatifida*). *International Journal of Food Science & Technology*, 55(4), 1679-1688.

Marković, M., Pljevljakušić, D., Nikolić, B., & Rakonjac, L. (2020). Application of dog rose (*Rosa canina* L.) in ethnomedicine of the Pirot County. *Pirotski zbornik*, (45), 1-16.

Martino, E., Collina, S., Rossi, D., Bazzoni, D., Gaggeri, R., Bracco, F., & Azzolina, O. (2008). Influence of the extraction mode on the yield of hyperoside, vitexin and vitexin-2''-O-rhamnoside from *Crataegus monogyna* Jacq. (hawthorn). *Phytochemical analysis*, 19(6), 534-540.

Martins, A., Barros, L., Carvalho, A. M., Santos-Buelga, C., Fernandes, I. P., Barreiro, F., & Ferreira, I. C. (2014). Phenolic extracts of *Rubus ulmifolius* Schott flowers: Characterization, microencapsulation and incorporation into yogurts as nutraceutical sources. *Food & function*, 5(6), 1091-1100.

Mecheri, A., Amrani, A., Benabderahmane, W., Bensouici, C., Boubekri, N., Benaissa, O., ... & Benayache, S. (2021). In Vitro pharmacological screening of antioxidant, photoprotective, cholinesterase, and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activities of Algerian *Crataegus oxyacantha* fruits and leaves extracts. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 54(11), 1150-1156.

Metzner Ungureanu, C. R., Lupitu, A. I., Moisa, C., Ravis, A., Copolovici, L. O., & Poiana, M. A. (2020). Investigation on high-value bioactive compounds and antioxidant properties of blackberries and their fractions obtained by home-scale juice processing. *Sustainability*, 12(14), 5681.

Milenković-Anđelković, A. S., Anđelković, M. Z., Radovanović, A. N., Radovanović, B. C., & Nikolić, V. (2015). Phenol composition, DPPH radical scavenging and antimicrobial activity of Cornelian cherry (*Cornus mas*) fruit and leaf extracts. *Hemjska industrija*, 69(4), 331-337.

Miller, K., Feucht, W., & Schmid, M. (2019). Bioactive compounds of strawberry and blueberry and their potential health effects based on human intervention studies: A brief overview. *Nutrients*, 11(7), 1510.

Moldovan, B., Filip, A., Clichici, S., Suharoschi, R., Bolfa, P., & David, L. (2016). Antioxidant activity of Cornelian cherry (*Cornus mas* L.) fruits extract and the in vivo evaluation of its anti-inflammatory effects. *Journal of Functional Foods*, 26, 77-87.

Murathan T, Zarifikhosroshahi M, Kafkas E 2016. Characterization of bioactive compounds in Rosehip species from East Anatolia Region of Turkey. *Italian Journal of Food Science*, 28: 314-325.

Natanzi, M. M., Pasalar, P., Kamalinejad, M., Dehpour, A. R., Tavangar, S. M., Sharifi, R., ... & Gerayesh-Nejad, S. (2012). Effect of aqueous extract of *Elaeagnus angustifolia* fruit on experimental cutaneous wound healing in rats. *Acta Medica Iranica*, 589-596.

Nazhand, A., Lucarini, M., Durazzo, A., Zaccardelli, M., Cristarella, S., Souto, S. B., ... & Santini, A. (2020). Hawthorn (*Crataegus spp.*): An updated overview on its beneficial properties. *Forests*, 11(5), 564.

Okmen, G., & Turkcan, O. (2014). A study on antimicrobial, antioxidant and antimutagenic activities of *Elaeagnus angustifolia* L. leaves. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 11(1), 116-120.

Ozrenk, K., Tas, A., Gundogdu, M., Keskin, N., & Ercisli, S. (2023). Physicochemical substances and bioactive components of wild cornelian cherry (*Cornus mas* L.) fruits in Erzincan province of Eastern Turkey. *Genetika*, 55(1), 95-110.

Öz, M., Baltacı, C., & Deniz, İ. (2018). Gümüşhane yöresi kuşburnu (*Rosa canina* L.) ve siyah kuşburnu (*Rosa pimpinellifolia* L.) meyvelerinin C vitamini ve şeker analizleri. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 284-292.

Özcan, M., Haciseferoğulları, H., Marakoğlu, T., & Arslan, D. (2005). Hawthorn (*Crataegus spp.*) fruit: some physical and chemical properties. *Journal of Food Engineering*, 69(4), 409-413.

Özcan, M. M., Uslu, N., & Ahmed, I. A. M. (2023). Comparison of physical and bioactive properties, phenolic compounds and nutrients of raw and dehydrated hawthorn (*Crataegus spp.*) Fruits. *Erwerbs-Obstbau*, 65(4), 1119-1126.

Özdemir, F., & Tor, A. N. (2021). Çankırı yöresinde yayılış gösteren dikensiz kuşburnuna (*Rosa x dumalis* Bechst.) ait morfolojik ve meyve özelliklerinin incelenmesi. *Turkish Journal of Forest Science*, 5(2), 418-432.

Pandey, K. B., & Rizvi, S. I. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2, 270-278.

Peña, F., Valencia, S., Tereucán, G., Nahuelcura, J., Jiménez-Aspee, F., Cornejo, P., & Ruiz, A. (2023). Bioactive Compounds and Antioxidant Activity in the Fruit of Rosehip (*Rosa canina* L. and *Rosa rubiginosa* L.). *Molecules*, 28(8), 3544.

Rashidinejad, A. (2020). Blueberries. In *Nutritional composition and antioxidant properties of fruits and vegetables* (pp. 467-482). Academic Press.

Rop, O., Mlcek, J., Kramarova, D., & Jurikova, T. (2010). Selected cultivars of cornelian cherry (*Cornus mas* L.) as a new food source for human nutrition. *African Journal of Biotechnology*, 9(8).

Saboonchian, F., Jamei, R., & Sarghein, S. H. (2014). Phenolic and flavonoid content of *Elaeagnus angustifolia* L. (leaf and flower). *Avicenna journal of phytomedicine*, 4(4), 231.

Sahan, Y., Dundar, A. N., Aydın, E., Kilci, A., Dulger, D., Kaplan, F. B., ... & Celik, G. (2013). Characteristics of cookies supplemented with oleaster (*Elaeagnus angustifolia* L.) Flour. I physicochemical, sensorial and textural properties. *Journal of Agricultural Science*, 5(2), 160.

Salih, N. E., & Yahia, E. M. (2015). Nutritional value and antioxidant properties of four wild fruits commonly consumed in Sudan. *International Food Research Journal*, 22(6).

Sammari, H., Jedidi, S., Selmi, H., Rtibi, K., Jabri, M. A., Jridi, M., ... & Sebai, H. (2021). Protective effects of *Crataegus azarolus* L. berries aqueous extract against castor oil-induced diarrhea, oxidative stress, and inflammation in rat. *Neurogastroenterology & Motility*, 33(6), e14065.

Schulz, M., Seraglio, S. K. T., Della Betta, F., Nehring, P., Valese, A. C., Dagher, H., ... & Fett, R. (2019). Blackberry (*Rubus ulmifolius* Schott): Chemical composition, phenolic compounds and antioxidant capacity in two edible stages. *Food research international*, 122, 627-634.

Sengul, M., Eser, Z., & Ercisli, S. (2014). Chemical properties and antioxidant capacity of cornelian cherry genotypes grown in Coruh valley of Turkey. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus*, 13(4).

Sezer, E. D., Oktay, L. M., Karadağ, E., Memmedov, H., Selvi Gunel, N., & Sözmen, E. (2019). Assessing anticancer potential of blueberry flavonoids, quercetin, kaempferol, and gentisic acid, through oxidative stress and apoptosis parameters on HCT-116 cells. *Journal of medicinal food*, 22(11), 1118-1126.

Sozański, T., Kucharska, A. Z., Rapak, A., Szumny, D., Trocha, M., Merwid-Łąd, A., ... & Szelağ, A. (2016). Iridoid-loganic acid versus anthocyanins from the *Cornus mas* fruits (cornelian cherry): Common and

different effects on diet-induced atherosclerosis, PPARs expression and inflammation. *Atherosclerosis*, 254, 151-160.

Taheri, J. B., Anbari, F., Maleki, Z., Boostani, S., Zarghi, A., & Pournalibaba, F. (2010). Efficacy of *Elaeagnus angustifolia* topical gel in the treatment of symptomatic oral lichen planus. *Journal of dental research, dental clinics, dental prospects*, 4(1), 29.

Tobar-Bolaños, G., Casas-Forero, N., Orellana-Palma, P., & Petzold, G. (2021). Blueberry juice: Bioactive compounds, health impact, and concentration technologies—A review. *Journal of Food Science*, 86(12), 5062-5077.

Tomar, O., Akarca, G., & Başpınar, E. (2020). Determination of antifungal effects of some berry fruits ethanol extracts by disc diffusion method. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(2), 442-448.

Torres-Ortiz, D. A., Eloy, R. D., Moustapha, B., César, I. A., Edmundo, M. S., Jesús Eduardo, C. R., & Dulce María, R. P. (2020). Vasorelaxing effect and possible chemical markers of the flowers of the Mexican *Crataegus gracilior*. *Natural product research*, 34(24), 3522-3525.

Tzachristas, A., Pasvanka, K., Calokerinos, A., & Proestos, C. (2020). Polyphenols: Natural antioxidants to be used as a quality tool in wine authenticity. *Applied Sciences*, 10(17), 5908.

Upadhyay, S., & Dixit, M. (2015). Role of polyphenols and other phytochemicals on molecular signaling. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2015.

USDA, 2022. Blueberries, raw. Food Data Central. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/171711/nutrients> Erişim tarihi: 21 Kasım 2023.

Usta, B. E., & Çakır, E. A. (2021). Samandere Vadisi (Düzce) ve çevresinde geleneksel kullanımı olan bitkilerin yöresel isimleri. *Avrasya Terim Dergisi*, 9(1), 10-25.

Wang, J., Xiong, X., & Feng, B. (2013). Effect of *crataegus* usage in cardiovascular disease prevention: an evidence-based approach. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013.

Wang, Y., Guo, T., Li, J. Y., Zhou, S. Z., Zhao, P., & Fan, M. T. (2013). Four flavonoid glycosides from the pulps of *Elaeagnus angustifolia* and their antioxidant activities. *Advanced Materials Research*, 756, 16-20.

Wen, L., Guo, X., Liu, R. H., You, L., Abbasi, A. M., & Fu, X. (2015). Phenolic contents and cellular antioxidant activity of Chinese hawthorn "*Crataegus pinnatifida*". *Food Chemistry*, 186, 54-62.

WHO, World Health Organisation (2012) Guideline: potassium intake for adults and children. World Health Organisation, Geneva. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241504829> Erişim tarihi: 2 Aralık 2023.

Wu, Y., Han, T., Yang, H., Lyu, L., Li, W., & Wu, W. (2023). Known and potential health benefits and mechanisms of blueberry anthocyanins: A review. *Food Bioscience*, 103050.

Yen, G. C., Chen, H. Y., & Peng, H. H. (2001). Evaluation of the cytotoxicity, mutagenicity and antimutagenicity of emerging edible plants. *Food and Chemical toxicology*, 39(11), 1045-1053.

Yiğit, N., & Yiğit, D. (2014). Böğürtlenin (*Rubus fruticosus*) Antibakteriyal Özellikleri. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2), 267-274.

Yilmaz, K. U., Ercisli, S., Zengin, Y., Sengul, M., & Kafkas, E. Y. (2009). Preliminary characterisation of cornelian cherry (*Cornus mas* L.) genotypes for their physico-chemical properties. *Food chemistry*, 114(2), 408-412.

Zhang, J., Chai, X., Zhao, F., Hou, G., & Meng, Q. (2022). Food applications and potential health benefits of hawthorn. *Foods*, 11(18), 2861.

Zia-Ul-Haq, M., Riaz, M., De Feo, V., Jaafar, H. Z., & Moga, M. (2014). *Rubus fruticosus* L.: constituents, biological activities and health related uses. *Molecules*, 19(8), 10998-11029.

## BÖLÜM XII

# BİYOBOZUNUR GIDA AMBALAJ MALZEMELERİ

### *Biodegradable Food Packaging Materials*

Özlem EMİR ÇOBAN

(Prof. Dr.), Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi,  
İşleme Teknolojisi Bölümü,  
E-mail: oecoban@firat.edu.tr  
ORCID: 0000-0003-1388-0740

#### 1. Giriş

Ambalajlama, gıda endüstrisindeki en önemli konulardan biridir çünkü işlevsel kapasitesi gazlara (örneğin oksijen, nitrojen ve karbon dioksit), neme ve olası mekanik hasarlara karşı koruma sağlar. Ayrıca ürün hakkında ihtiyaç duyulan bilgiyi sağlayarak ticarileştirilmesine ve dağıtımına olanak sağlar. Ambalaj özellikleri korudukları gıda ürününe bağlı olsa da en çok kullanılan malzemeler kağıt, karton, metal, cam ve plastiktir. Bununla birlikte, bu sentetik malzemeler sınırlı kaynakları tükettikleri ve biyolojik olarak parçalanamadıkları, yeniden kullanılmadıkları veya geri dönüştürülemedikleri için kısıtlanmıştır. Toplam sentetik malzemelerin yalnızca %10'u geri dönüştürülmektedir ve bunların bozunma işlemlerinin insan sağlığı açısından tehlikeli ve zararlı olduğu ve ekonomik olarak kârsız olduğu düşünülmektedir. Sonuç olarak sentetik malzemeli ambalajlar atılmadan önce bir kez kullanılır (Briassoulis vd., 2004).

Son zamanlarda gıda ambalajı, yeni ortaya çıkan malzemeler olarak veya geleneksel ambalajın yerine geçebilecek biyolojik olarak parçalanabilen malzemelerle ambalaj üretimine yönelik teknolojilerin geliştirilmesine yönelmiştir. Örneğin, biyolojik olarak parçalanabilen özelliklere sahip filmler (biyolojik olarak parçalanabilen filmler), kaliteyi koruyabildiği ve minimum



düzeyde işlenmiş ürünlerin raf ömrünü uzatabildiği için bir gıda paketlenme alternatifi olarak kabul edilir (Masuelli vd., 2018).

## 2. Biyobozunur Filmler

Biyobozunur filmler, döküm, ekstrüzyon veya elektrospinning teknikleri kullanılarak biyopolimer malzemeye oluşturulan, kalınlığı 0,3 mm'den az olan katı matrislerdir (Embuscado ve Huber, 2009). Biyobozunur filmler, koruyucu işlevleri biyoaktif bileşiklerin eklenmesini içerdiğinden aktif paketlenme olarak kabul edilir (Masuelli vd., 2018). Biyolojik olarak parçalanabilen filmler, gıda pasif ambalajlamanın ana hedeflerini (yani mekanik, kimyasal ve biyolojik hasara karşı koruma) karşılamanın yanı sıra, aynı zamanda UV ışık etkileşimini azaltabildiğinden, gazların emilimini kontrol edebildiğinden, geleneksel ambalajlamaya göre daha büyük faydalar sunmakta (örn. oksijen, etilen, karbondioksit ve su buharı) ve biyoaktif bileşenlerin (örn. antioksidanlar, antimikrobiyaller ve aromalar) salınımını kontrol etmektedir (Kraśniewska vd., 2020). Bu hedefler, lipit oksidasyonunun azaltılması ve gıdanın besin değerinin ve raf ömrünün artması dahil olmak üzere faydalar yaratır (Diaz-Montes ve Castro-Muñoz ).

### 2.1. Biyobozunur Filmlerin Biyolojik Parçalanması

Toprak mikroorganizmaları biyolojik olarak parçalanabilen malzemeleri su, karbon dioksit ve amin, alkol ve karboksilat asit gibi monomerler dahil metan gibi doğal bileşiklere parçalayabilir. Biyobozunurluk kimyasal bileşimin, bağlanmanın doğasının ve su mevcudiyetinin bir fonksiyonudur. Karbonil sinyalleri için IR spektrum piklerinin ortaya çıkması, nişastanın maltoza (disakkarit) ve glikoza (monosakarit) enzimatik bozunmasının göstergesidir. Mikrobiyal etki enzimatik niteliktedir. Mikrobiyal hücreler, bitki kaynaklı metabolitleri substrat olarak kullanarak saprofitik büyüme sergiler. Mikroorganizmalar, nişasta ve selülozdaki glikozidik bağların enzimatik hidrolitik ve oksidatif parçalanmasından sorumlu bir dizi amilaz ve selülaz salgılar. Esteraz, kütinaz ve lipaz gibi hücre dışı enzimler, plastikleştirici filmlerin kararsız alifatik ester bağlantılarını hidrolize eder (Affes vd., 2020). Bu enzimatik süreçler, enerji gereksinimleri için mikroorganizmalar tarafından emilen metabolitler üretir. Bu, IR spektrumu karbonil sinyallerinin zamanla azalması ve kaybolmasında açıkça görülmektedir. Biyolojik bozunma süreci genellikle üç aşamalı bozunma profillerine yansıtılan termalgravimetrik analiz (TGA) kullanılarak karakterize edilir; ilk bozunma su ve uçucu maddelerin kaybına karşılık gelir, ikinci aşama daha düşük molekül ağırlıklı nişasta alt

birimlerinin oluşumuyla ilgilidir ve üçüncü aşama nişasta bileşenlerinin parçalanmasıyla ilişkilidir (Medina Jaramillo vd., 2015). Biyobozunma filminin bozulması, toprak ve sudaki mikrobiyal aktiviteye, plastikleştiricinin hidrofilik yapısına, numunenin yüzey alanına, kristalliğe, numunenin moleküler ağırlığına ve sıcaklığa bağlıdır. Plastikleştiricilerin eklenmesi numunelerdeki polar grup sayısını ve su geçirgenliğini artırır ve polar grupların su ile etkileşimini hızlandırır. Biosürfaktan niteliğindeki plastikleştiriciler mükemmel yüzey/ arayüz aktivitesine ve biyoyoumluluğa sahiptir ve toprak ile su arasındaki arayüzey gerilimini azaltarak toprak hidrokarbon biyolojik parçalanmasını artırır. Kontrollü fermantasyon işlemi altında optimal pH 10'da uçucu yağ asitleri gibi metabolitlerin artan verimi gösterilmiştir. Daha yüksek pH seviyeleri asidofilik bakterileri inhibe edebilir ve ardından metabolitlerin üretimini sınırlayabilir. Darbeli elektrik alanları ile muamele edilmiş zein-kitosan-poli(vinil alkol) filmi, filmlerin elektrolite ve enzim bozunmasına karşı stabilitesini arttırmıştır (Parra vd., 2006; Huang vd., 2016).

## **2.2. Biyobozunur Polimerlerin Sınıflandırılması**

Biyo-bazlı polimerler veya biyopolimer bazlı ambalaj malzemeleri, menşei ve üretim yöntemine bağlı olarak üç ana gruba ayrılabilir. Bu nedenle polimerlerin sınıflandırılması (sentetik, doğal ve değiştirilmiş doğal) birden fazla parametreye dayanmaktadır. Bu polimerler çevresel bakış açısına, biyolojik kökene ve fosil kaynaklara göre sınıflandırılır. Böylece biyopolimer biyokütle, suya, CO<sub>2</sub>'ye ve inorganik kimyasallara parçalanarak humus oluşumuna neden olur ve yeniden kullanılabilir polimerler ayrıca biyolojik olarak parçalanabilen polimerlerden ayrılabilir. Bununla birlikte, biyolojik olarak parçalanabilen polimerler, çevrede hiçbir zararlı kirletici madde olmadan en az 6 ay boyunca ayrışıp parçalanabilir olması durumunda kompostlanmış sayılan maddeyi ifade eder; bu, üretilen kompost kalitesini etkilememesi gerektiği anlamına gelir. Biyobozunur polimerlerin kompostlanması çeşitli değişkenlerden etkilenir: çevresel faktörler (sıcaklık, basınç, pH ve bağlı nem vb.), polimerlerin kimyasal yapısı ve fonksiyonel özellikleri, mikroorganizma türleri ve kontaminasyonun varlığı. Pek çok araştırmacı, modern paketleme sistemlerinde ve ayırma biliminde pH'a duyarlı polimerler kullanmış olsa da, pH'a duyarlı polimerler, numunenin pH'ı basitçe değiştirilerek kolayca geri kazanılabilir (Gupta vd. 2022).

Sonuç olarak çevre dostudurlar ve geri dönüştürülebilirler (Musarurwa ve Tavengwa, 2022). Bunun dışında proteinler, lipitler ve polisakkaritler, doğal olarak oluşan yenilebilir üç ana kategoridir ve biyolojik olarak parçalanabilen

polimerler, yenilebilir ve biyolojik olarak parçalanabilen filmlerin geliştirilmesinde kullanılmıştır.

### **2.2.1. Biyo-Monomerlerden Klasik Kimyasal Sentezle Üretilen Polimerler**

#### ***Polilaktik asit (PLA)***

PLA üretiminde laktik asit monomerleri kullanılmaktadır. Bu laktik asit monomerleri, nişasta veya fermantasyona uğrayan karbonhidrat açısından zengin herhangi bir üründen (buğday, mısır, şeker kamışı, mutfak atığı vb.) üretilir. PLA sentezinin en yaygın yöntemi, laktit monomerleri tarafından üretilen laktik asidin polimerizasyonudur. PLA, yüksek mekanik direnç, toksik olmama, biyolojik olarak parçalanabilirlik, yenilenebilirlik, düşük sıcaklıklarda yüksek sızdırmazlık, gıda maddeleri için tat ve koku bariyeri görevi görmesi, düşük enerji tüketimi ve karbon emisyonu seviyesi ve düşük karbon salımı gibi çeşitli önemli avantajlara sahiptir. Çeşitli nanopartiküllerin (soforolipidler, lizozim ve selüloz nanokristalleri) PLA yüzey kaplamalarına dahil edilmesi, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Micrococcus lysodeikticus*, *Escherichia coli* ve *Salmonella spp.* gibi çeşitli patojen mikroorganizmalara karşı önleyici bir etki göstermiştir (Silveria vd.,2020; Panou vd., 2023)

PLA'nın gıda ambalajında kullanımını sınırlayan faktörler yüksek kırılabilirliği, zayıf gaz bariyeri, düşük ısı direnci kapasitesi ve yüksek maliyetidir. PLA'nın selülozla harmanlanması ısı direncini geliştirebilir (Balla vd., 2023). Ayrıca, PLA'nın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi, konuşma, silika, plastikleştiriciler, nanokiller, karbon nanotüpler, nano katkı maddeleri ve nişasta gibi nano dolguların tek başına veya diğer biyo bazlı ve/veya biyolojik olarak parçalanabilen polimerlerle birleştirilmesiyle de sağlanabilir. PHA'lar gibi, PLA sentezinde yer alan laktik asit izomerlerinin oranı, onun ambalaj malzemesi olarak özelliklerini belirlemektedir. PLA, %100 L-monomerden oluştuğunda yüksek bir erime noktasına ve kristalliliğe sahiptir ve %90/10 D/L monomer oranı PLA'yı sentezlediğinde, PLA'nın işleme üretiminde bir iyileşme elde edilir ve PLA, bu gereksinimleri karşılar. toplu ambalaj gereksinimleri (Jabeen vd., 2015).

#### ***Polivinil alkol (PVA)***

PVA, yalnızca az miktarda kristalliliğe sahip, esas olarak amorf fazlar içeren yarı kristalli bir polimerdir ve poli (vinil asetatın hidroliz derecesine bağlı olarak 1, 3-diol birimleri veya 1, 2-diol birimlerinden oluşur). PVA'nın özellikleri

genellikle moleküler ağırlığına ve hidroliz derecesine bağlıdır; PVA'nın moleküler ağırlığı genellikle 20.000-400.000 arasında değişir ve PVA üretmek için kullanılan vinil asetatın uzunluğuna dayanır - hidroliz derecesi tipik olarak 80 aralığındadır. -%99 (Abdullah vd., 2017).

### ***2.2.2. Doğrudan Biyokütleden/Doğal Malzemeden Ekstrakte Edilen/ İzole Edilen Polimerler***

#### ***Nişasta ve Seluloz***

Nişasta, polisakkaritler adı verilen biyomoleküllerin genel kategorisine ait olan insan beslenmesinin ana bileşenlerinden biridir ve patates, pirinç, mısır, mısır ve buğday gibi gıdalarda bulunur. Nişasta, doğrusal amiloz ve amorf amilopektin olmak üzere iki biyopolimerden oluşur. Amilozun kimyasal yapısı, a-(1-4) glikozit bağıyla bağlı aD-glikoz moleküllerinden oluşurken amilopektin, dalların varlığıyla aynı kimyasal yapıya sahiptir (Ratnayake vd., 2001).

Nişasta, gıda ambalajlarında hem film ambalajlama hem de kaplama olarak kullanılmaktadır. Film ambalaj olarak nişasta, gazlarda mükemmel bariyer özelliği, yüksek biyobozunabilirlik, biyoyoumluluk, bulunabilirlik ve yenilebilirlik gibi avantajların yanı sıra düşük maliyet, bolluk, zararsızlık ve hidroksil gruplarının varlığı nedeniyle filmlere kolayca modüle edilebilme gibi avantajlar sunmaktadır. Bu özellikleri nedeniyle nişastanın gıda ambalajı için iyi bir seçim olduğu düşünülmektedir. Gazlara karşı yüksek bariyer özelliği, yüksek solunum aktivitesine sahip ve oksidasyona duyarlı meyve ve sebzelerin paketlenmesinde nişastanın kullanılmasına olanak tanımaktadır (Thakur vd., 2018). Mısır çözeltilisinden elde edilen nişastayla kaplanan çilekler, sertliklerini, berraklıklarını ve renklerini koruduğu ve daha az ağırlık kaybına uğradığı rapor edilmiştir. Üstelik, nişasta kaplamalarına esansiyel yağların eklenmesi patojenlerin büyümesini kontrol altına aldığı ve çilek ve sebzelerin raf ömrünü arttırdığı bildirilmektedir (Mironescu vd., 2021).

Bu avantajlarının yanı sıra nişastanın gıda ambalajlarında kullanımının kırılğan olması ve suya karşı hassas olması gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlar, gliserol ve poligliserol gibi plastikleştiricilerin ve selüloz, jelatin, kitosan ve sitrik asit gibi çeşitli katkı maddelerinin eklenmesiyle çözülebilir. Nişastanın özellikleri, reaktif ekstrüzyon koşulları altında derin bir ötektik solvent ve formülasyon kullanılarak da geliştirilebilir (Adamus vd., 2018). Nişastanın polilaktik asit (PLA), polivinil alkol (PVA), polikaprolakton

(PCL), polibütül süksinik asit-bütül adipat (PBSA) ve poliadipat butilen tereftalat (PBAT) gibi birçok sentetik biyobozunur polimerle harmanlanması, mekanik özellikleri, işlenebilirliği geliştirir (Ortego-Toro vd., 2016)

Nişasta bazlı filmler, bariyer özelliklerinin iyileştirilmesi sonucunda diğer filmlerle birlikte tek katmanlı veya lamine formlarda kullanılabilir. Ayrıca, bu filmler esnek polyesterlerle birleştirildiğinde daha esnek hale gelirken, PLA ile harmanlanarak sertlik ve ısıl şekillendirme özellikleri geliştirilir. Ayrıca, nişasta bazlı filmlerde nanokil veya çinko gibi nanomoleküllerin kullanımı, bunların mekanik özelliklerini yükseltir. Nişasta bazlı filmler şekil hafızası avantajına sahiptir. Şekil hafızası özelliklerine sahip malzemeler, belirli sıcaklık, nem, pH vb. koşullara maruz kaldığında geçici fazdan kalıcı faza dönüşebilir (Mironescu vd., 2021).

Çeşitli antimikrobiyal faktörlerin nişasta bazlı filmler üzerindeki antimikrobiyal etkisi araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Manioka nişasta bazlı filmlerle ambalajlanan fırıncılık ürünleri, filmlere uçucu yağların eklenmesinden sonra mantar büyümesine karşı daha yüksek direnç ve daha yüksek raf ömrü göstermiştir (Vaezi vd., 2019). Bir çalışma, domuz eti paketlemede öjenol ile güçlendirilmiş patates nişastası bazlı filmlerin kullanıldığını bildirmiştir. Benzer şekilde, kuşburnu ekstraktı içeren ay nişastası bazlı filmler, tavuk göğsü ambalajı için ve dilimlenmiş pastırma ambalajı için asetillenmiş manyok nişastası ve yeşil çay ile doğrusal düşük yoğunluklu polietilen filmlerin bir karışımı kullanılmıştır. Bu referanslardan, nişasta bazlı filmlerin, geleneksel film ambalaj malzemelerinin yerine geçecek en uygun ambalaj filmleri olduğu kanıtlanmıştır (Panou vd., 2023).

Selüloz, tekrarlanan sellobiyoz birimlerinden oluşan doğrusal bir polimerdir. Kristallidir ve organik çözücülerde çözünmez. Çözünmezliği ve akıcılığının düşük olması nedeniyle uygulamaları için farklı formlara dönüştürülür. Bu dönüşüm çeşitli derecelerde ikame ile sağlanır. İkame derecesi arttıkça mekanik özellikler ve bozunma hızı azalır. Selüloz asetat (CA), polipropilen gibi çekme mukavemetine sahip selülozun önemli türevlerinden biridir. Yüksek camısı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ), CA'nın ısıl işlemde uygulanmasını sınırlar. Ticari olarak temin edilebilen CA filmleri arasında Mazzucchelli şirketi tarafından geliştirilen Bioceta™ ve Planet Polymer şirketi tarafından geliştirilen EnviroPlastic Z™ bulunmaktadır. Selülozun biyolojik parçalanması, özellikle mantarlar tarafından salgılanan peroksidazlar tarafından enzim oksidasyonu ile bakteri ve mantarlar tarafından gerçekleştirilir (Klemm vd., 2002).

### ***Kitosan***

Kitosan, bir  $\beta$ -(1→4) glikozit bağıyla bağlanmış D-glukozamin ve N-asetil-D-glukozaminden oluşan doğrusal bir polisakkarittir. Kitosan, kitinin sodyum hidroksit ile alkali işlemden geçirilmesinden sonra üretilir. Kitin, eklem bacaklıların dış iskeletinde, bazı mantarların hücre duvarında, yumuşakçaların gladiilerinde, kafadan bacaklıların gagalarında, radulalarda ve bazı nematodlarda ve diatomlarda bulunan bir polisakkarittir. Kitosanın moleküler yapısında amino ve hidroksil gruplarının varlığı, Gram-pozitif ve Gram-negatif bakterilerin büyümesini engelleme yeteneğini artırır.

Kitosan tarımda tohum muamelesi ve biyopestisit olarak kullanılabilir. Şarap yapımında arıtma maddesi olarak kullanılabilir. Kaplama sektöründe kendi kendini onaran poliüretan boya kaplamasında kullanılabilir. Tıpta bandaj olarak ve antibakteriyel madde olarak kullanılır. Kitosan ayrıca ilaçların deri yoluyla ulaştırılmasına da katkıda bulunabilir. Kitosandan yapılan filmler yüksek antimikrobiyal ve antioksidan özelliklere sahiptir ve gıda ambalajlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Carlos vd., 2014).

Kitosandan yapılan filmler yüksek biyobozunabilirliğe ve biyoyuumluluğa sahiptir ancak aynı zamanda düşük su bariyeri özellikleri gibi dezavantajlara da sahiptir. Bu dezavantaj, kitosan ile biyoproteinlerin karışımları kullanılarak sınırlandırılabilir. Bariyer özelliklerinin yanı sıra uyumluluk ve termal stabilite de iyileştirilmiştir. Kitosanın diğer biyomateryaller, nanometaller ve aktif bileşiklerle harmanlanması da nem bariyerini ve mekanik özellikleri artırır (Wang vd.,2021). Çalışmalar, kitosan/jelatin bazlı ambalaj malzemelerine çeşitli esansiyel yağların eklenmesinin, mekanik dirençte %30 oranında bir artışa ve esnekliğinde bir azalmaya neden olduğunu göstermiştir. Su bariyeri özelliklerinde önemli bir değişiklik sergilenmemiştir (Roy vd., 2023). Kitosan ile harmanlanan  $\epsilon$ -polilizin, sığır filetolarının raf ömrünün uzatılmasına ve soğutma altında depolanabilirliğinin artmasına katkıda bulunduğunu belirtmekte fayda var (Alirezalu vd., 2021).

### ***Protein***

Doğal polimer proteinleri, yeni kompozit ve karışım malzemelerinin oluşturulmasında kullanılabilir. Proteinler doğal hallerinde küresel veya lifli şekillerde bulunabilir. Bunun yanı sıra, bu proteinlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri, amino asit kalıntılarının göreceli miktarına ve bu kalıntıların polipeptit zinciri

boyunca nerede konumlandığına bağlıdır. Bununla birlikte, kimyasal yapıya bağlı olarak protein peynir altı suyu proteini, çinko, gluten ve soya proteini olmak üzere farklı türlere ayrılmıştır. Bu proteini temel alan filmler, meyve ve sebzeler, kuruyemişler, etler ve hazır tatlılar dahil olmak üzere çeşitli gıda maddelerini kaplamanın yanı sıra peynir dilimleri gibi yiyecek katmanlarını ayırmak için kullanılır (Cruza-Diaz vd., 2019). Bir araştırmada, protein bazlı polimerlerin gıda ve gıda dışı ambalajların yanı sıra sağlık sektöründe de kullanılabilirliğini bildirmiştir. Ayrıca esneklikleri ve esnek filmler yapma kapasiteleri nedeniyle peynir altı suyu proteinleri (WP), yenilebilir filmler, biyolojik olarak parçalanabilir filmler veya biyolojik olarak parçalanabilir ambalajlama bileşenleri oluşturmak için hammadde olarak kullanılır. Ayrıca üstün oksijen bariyerlerine, orta düzeyde nem geçirgenliğine ve yüksek biyolojik bozunabilirliğe sahiptirler. Protein bazlı ambalajın, doku ve kimyasal özellikler, rehidrasyon özellikleri, morfolojik, optik, bariyer, antimikrobiyal, fizikomekanik ve termal özellikler dahil olmak üzere çeşitli özellikleri vardır. Üstelik yenilebilir filmlerin oluşturulmasında kullanılan en sevilen ve nispeten ucuz hammaddelerden biri peynir altı suyu proteinleridir (WP). WP, güçlü bir oksijen bariyerine sahip biyolojik olarak parçalanabilen plastik filmleri formüle etmek için kullanılır (Gupta vd., 2022). Ancak yakın zamanda yapılan bir araştırma, peynir altı suyu proteini konsantresinin çekme ve su bariyeri özelliklerini iyileştirebileceğini ortaya çıkardı; Mükemmel özellikleri nedeniyle potansiyel bir ambalaj malzemesi olarak da kullanılabilir (Papadaki vd., 2022). Benzer şekilde, prolamin olarak sınıflandırılan ve farklı molekül boyutlarına ve çözünürlüklere sahip proteinlerin birleşimi olan zein, mısırın türüne bağlı olarak, endosperm proteininin yüzde 44 ila 79'unu içerir. (Rydz vd., 2018). Ayrıca zein proteininin mekanik özellikleri düşüktür ancak mükemmel gaz bariyeri, biyodegradasyon ve biyoyoumluluk özellikleri nedeniyle gıda ambalajlarında özellikle koruyucu, geçirimsiz bir kaplama olarak kullanılabilir. Bununla birlikte Zein bazlı filmler, diğer polimerlerle karıştırıldığında güçlü gaz, ışık ve su bariyeri özellikleri göstermiştir. Ayrıca iyi mekanik ve antibakteriyel özellikler göstererek gıda ürünlerinin raf ömrünü uzatmak için uygulama potansiyeli göstermişlerdir (Egea vd., 2022).

### ***Kolajen ve jelatin***

Kollajen, hidroksprolin, prolin, glisin ve lisin içeren çeşitli polipeptitlerden oluşan bir bağ dokusu proteini . Glisin içeriği kolajenin esnekliğinden sorumludur. Selüloz ve PVA filmlerine dahil edilirler. Selüloz karışımli film

kırılgan ve zayıftır. Kollajenin kimyasal olarak parçalanmasıyla oluşan daha yüksek moleküler ağırlıklı bir polipeptit jelatindir. Mükemmel film oluşturma kabiliyetine sahiptir ve 19 amino asitten oluşur. Moleküler ağırlık dağılımı, amino asit bileşimi ve kullanılan plastikleştiricinin türü, filmin bariyerini ve mekanik özelliğini büyük ölçüde etkiler. İşleme sırasındaki sınırlı termal stabilite, uygulamalarını sınırlayan önemli bir faktördür. Filmin mekanik ve bariyer özelliklerini geliştirmek veya değiştirmek amacıyla, gıda ambalajına yönelik mükemmel filmler elde etmek amacıyla çeşitli katkı maddeleri eklenir. Sosislerin paketlenmesinde %2,5 mısır yağı ve %5 zeytinyağı içeren %4 Jelatin film kullanılmaktadır (Ramos vd., 2016). Tavuk göğüs etinin *Zataria multiflora* esansiyel yağlarını içeren jelatin-nanokitosan bazlı filmlere paketlenmesi mikroflorada bir azalmaya neden olmuş ve etin raf ömrünü arttırmıştır (Zeid vd.,2019).

### ***2.2.3. Doğal/Genetiği Değiştirilmiş Organizmalardan Elde Edilen Polimerler***

#### ***Polihidroksialkanoatlar (PHA'lar)***

PHA, şekerin, glikozun veya bitkisel yağın bakteriyel fermantasyonu ile üretilen doğal polyesterleri temsil eder. Gıda ambalajlama uygulamalarında en yeni ve yaygın olarak kullanılan biyolojik olarak parçalanabilir polimerlerden biridir. Bakteriler, sınırlı N<sub>2</sub> ve bol C altında, %30-80 kuru ağırlık konsantrasyonunda hücre içinde yedek malzeme olarak PHA'ları biriktirir. Sentez için kullanılan monomerlere bağlı olarak T<sub>m</sub> değeri 40–180 °C arasında değişir. Karbon ve organizma için besin kaynağına bağlı olarak PHA, sert, kırılığandan kauçuğa benzer bir polimere kadar üretilebilir ( Shaikh vd., 2021). PHA zeinle harmanlandığında iyi bir bariyer özellikli film oluşturur. Su buharı geçirgenlik katsayısında ve oksijen geçirgenlik katsayısında sırasıyla %39-48 ve %27-35 oranında bir artış tespit edilmiştir. Zein eklenmesi nedeniyle karışım morfolojisinde de bir değişiklik gözlemlenmiştir (Fabra vd., 2014). PHA'lar tamamen biyolojik olarak parçalanabilir. Biyobozunma, monomerin zincir uçlarından kopmasıyla oluşan esteraz aktivitesi yoluyla meydana gelmektedir. En yaygın PHA, 3-hidroksibutiratın polimerizasyonu ile oluşan PHB'dir (polihidroksibutirat). PHB, mükemmel UV direnci ve 180 °C T<sub>m</sub> ve 55 °C T<sub>g</sub> ile yüksek optik özellikleriyle bilinir. PHB'nin kristallliği %50'den fazladır. PHB'nin 180 °C erime sıcaklığından sonra kararsız olduğu ve erime noktasının 10 °C altındaki bir sıcaklıkta tutulduğunda işlenebilirliğini sınırlayan moleküler



ağırlık azalmasına maruz kalabileceği iyi bilinmektedir (Savenkova vd., 2000). İşlenebilirlik koşulunu arttırmak için diğer alkanotlarla kopolimerizasyon, biyolojik olarak parçalanabilen polimerin eklenmesi veya ikinci polimerle harmanlama gibi farklı stratejiler vardır. Farklı yollar farklı yapısal polimerler verir.

PHB, farklı çevre koşullarında çeşitli bakteri, mantar ve algler tarafından bozunmaya uğrar. Hidrolitik bozunma, düşük oranda 3-hidroksi bütirik asit oluşturur. Kopolimer polihidroksibutirat-valerat (PHBV), hammaddeye propiyonik asit eklenerek sentezlenir. Daha sert ve daha az sert olduğundan ambalaj malzemesi olarak kullanılır. Mikrobiyolojik olarak aktif bir ortamda 5-6 hafta içinde bozunur ve aerobik koşullarda CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O ile sonlanır. Anaerobik koşullarda metan üretimi nedeniyle bozunma daha hızlıdır ( Kim vd., 2000 ).

### 3. Sonuç

Biyopolimerler plastik üretiminin ve işlenmesinin çevresel etkilerinin azaltılmasına yardımcı olur ve bir bakıma yeşil ekonomiye yol açar. Biyobozunur filmler yenilenebilir hammaddelerden, tarımsal atıklardan yapıldığından, bu ekonomik fırsattan yararlanmak için araştırma çalışmaları için büyük bir fırsat vardır. Ancak yine de, biyolojik olarak parçalanabilen polimer şu anda plastiklerin sadece yaklaşık %1'inin yerini almaktadır. Uzun süren araştırmalardan sonra, biyopolimerler, üretim ekonomisi, karmaşık işleme operasyonları ve plastiklere kıyasla stabilite ve dayanıklılık sorunları nedeniyle geleneksel polimerlerle aynı seviyede değildir. Bu nedenle, temel ve uygulamalı araştırmaların performansın (fizyokimyasal, termal özellikler) iyileştirilmesine, maliyetin düşürülmesine ve biyopolimerlerin üretiminin kolaylaştırılmasına daha fazla odaklanması gerekmektedir. Gıda ve diğer uygulamaların ambalajlanmasında biyo-bazlı polimerlerin kullanımı hızla artmaktadır. Gıda ambalajı bağlamında biyolojik olarak parçalanabilen ambalajlar, yüksek değerli ürünlerin ve organik gıdaların modifiye atmosferde ambalajlanması için kullanılabilir. Ancak, gıda için herhangi bir biyo-bazlı ambalajı benimsemeden önce, işleme ve depolama sırasında gıda bileşenleri ve biyopolimerler arasındaki etkileşim üzerine uygun çalışmalar yapılmalıdır.

### KAYNAKLAR

Abdullah ,Z.W., Dong, Y., Davies, I.J., Barbhuiya, S.PVA, PVA blends, and their nanocomposites for biodegradable packaging application. Polym. Plast. Technol. Eng., 56 (12) (2017), 1307-1344

Adamus, J.; Spychaj, T.; Zdanowicz, M.; Jędrzejewski, R. Thermoplastic starch with deep eutectic solvents and montmorillonite as a base for composite materials. *Ind. Crops Prod.* 2018, 123, 278–284.

Affes S., Maalej H., Aranaz I., Acosta N., Heras Á., Nasri M. Enzymatic production of low-Mw chitosan-derivatives: characterization and biological activities evaluation. *International Journal of Biological Macromolecules.* 2020;144:279–288.

Alirezalu, K.; Pirouzi, S.; Yaghoubi, M.; Karimi-Dehkordi, M.; Jafarzadeh, S.; Mousavi Khaneghah, A. Packaging of beef fillet with active chitosan film incorporated with  $\epsilon$ -polylysine: An assessment of quality indices and shelf life. *Meat Sci.* 2021, 176, 108475

Balla, E.; Daniilidis, V.; Karlioti, G.; Kalamas, T.; Stefanidou, M.; Bikiaris, N.D.; Vlachopoulos, A.; Koumentakou, I.; Bikiaris, D.N. Poly (lactic Acid): A versatile biobased polymer for the future with multifunctional properties—From monomer synthesis, polymerization techniques and molecular weight increase to PLA applications. *Polymers* 2021, 13, 1822.

Brissoulis, D. An Overview on the Mechanical Behaviour of Biodegradable Agricultural Films. *J. Polym. Environ.* 2004, 12, 65–81.

Carlos, E.O.-V.; José, Á.G.-B. Postharvest quality of peeled prickly pear fruit treated with acetic acid and chitosan. *Postharvest Biol. Technol.* 2014, 92, 139–145.

Cruz-Diaz, K., Cobos, Á., Fernández-Valle, M.E., Díaz, O., Cambero, M.I. Characterization of edible films from whey proteins treated with heat, ultrasounds and/or transglutaminase. Application in cheese slices packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 22, (2019), 100397

Díaz-Montes, E. Castro-Muñoz, R. Edible Films and Coatings as Food-Quality Preservers: An Overview. *Foods* 2021, 10, 249.

Egea, M.B., Oliveira Filho, J.G. de, Braga, A.R.C. Leal ,M.C.B.D.-M., Celayeta, J.M.F., et al. Zein-based blends and composites. *Biodegradable Polymers, Blends and Composites* (2022), pp. 511-526,

Embuscado, M.E., Huber, K.C. *Edible Films and Coatings for Food Applications*; Springer Science & Business Media, New York, NY, USA, 2009.

Gupta, R.K., Guha, P., Srivastav, P.P. Natural polymers in bio-degradable/edible film: A review on environmental concerns, cold plasma technology and nanotechnology application on food packaging- A recent trends, *Food Chemistry Advances*, 1, 2022, 10013.

Huang X., Mu T., Shen C., Lu L., Liu J. Effects of bio-surfactants combined with alkaline conditions on volatile fatty acid production and microbial community in the anaerobic fermentation of waste activated sludge. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 2016;114, 24–30.

Jabeen, N.; Majid, I.; Nayik, G.A. Bioplastics and food packaging: A review. *Cogent Food Agric*. 2015, 1, 1–6

Kim, A.R. Lee, J.S. Yoon, I.J. Chin. Biodegradation of poly (3-hydroxybutyrate), Sky-Green® and Mater-Bi® by fungi isolated from soils . *Eur. Polym. J.*, 36 (8) (2000), 1677.

Klemm, D., Shmauder, H.P., Heinze, T. Cellulose. E.J. Vandamme, S. De Baets, A. Steinbüchel (Eds.), *Polysaccharides II, Biopolymers*, vol. 6, Wiley-VCH, Weinheim, Germany (2002), pp. 275-319

Kraśniewska, K., Galus, S., Gniewosz, M. Biopolymers-based Materials Containing Silver Nanoparticles as Active Packaging for Food Applications—A Review. *Int. J. Mol. Sci.* 2020, 21, 698.

Masuelli, M.A., Zanon, M. State of the Art. In *Biopackaging*; Masuelli, M.A., Ed.; Taylor & Francis Group, LLC., Boca Raton, FL, USA, 2018; pp. xv–xx.

Medina Jaramillo C., Gutiérrez T. J., Goyanes S., Bernal C., Famá L. Biodegradability and plasticizing effect of yerba mate extract on cassava starch edible films. *Carbohydrate Polymers*. 2016;151, 150–159.

Mironescu, M.; Lazea-Stoyanova, A.; Barbinta-Patrascu, M.E.; Virchea, L.I.; Rexhepi, D.; Mathe, E.; Georgescu, C. Green design of novel starch-based packaging materials sustaining human and environmental health. *Polymers* 2021, 13, 1190.

Musarurwa, H., Tawanda Tavengwa N. Recent progress in the application of pH-responsive polymers in separation science *Microchemical Journal*, 179 (2022),107503.

Ortega-Toro, R.; Muñoz, A.; Talens, P.; Chiralt, A. Improvement of properties of glycerol plasticized starch films by blending with a low ratio of polycaprolactone and/or polyethylene glycol. *Food Hydrocoll.* 2016, 56, 9–19

Panou, A.; Karabagias, I.K. Biodegradable Packaging Materials for Foods Preservation: Sources, Advantages, Limitations, and Future Perspectives. *Coatings* 2023, 13, 1176.

Papadaki, A., Manikas, A.C., Papazoglou, E., Kachrimanidou, V., Lappa, I., Galiotis, C., et al. Whey protein films reinforced with bacterial cellulose nanowhiskers: Improving edible film properties via a circular economy approach. *Food Chemistry*, 385 (2022), 132604,

Parra D., Fusaro J., Gaboardi F., Rosa D. S. Influence of poly (ethylene glycol) on the thermal, mechanical, morphological, physical–chemical and biodegradation properties of poly (3-hydroxybutyrate) Polymer degradation and stability. 2006;91(9):1954–1959.

Ramos, M., Valdes, A., Beltran, A., Garrigós, M.C. Gelatin-based films and coatings for food packaging applications *Coatings*, 6 (4) (2016). 41.

Ratnayake, W.S., Hoover, R., Shahidi, F., Perera, C., Jane. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of starches from four field pea (*Pisum sativum* L.) cultivars. *Food Chem.*, 74 (2) (2001), pp. 189-202

Roy, S.; Min, S.-J.; Rhim, J.-W. Essential Oil-Added Chitosan/Gelatin-Based Active Packaging Film: A Comparative Study. *J. Compos. Sci.* 2023, 7, 126.

Rydz, J., Musiol, M., Zawidlak-Wegrzyńska, B., Sikorska, W. Present and Future of Biodegradable Polymers for Food Packaging Applications *Biopolymers for Food Design* (2018), 10.1016/B978-0-12-811449-0.00014-1

Savenkova, L., Gercberga, Z., Nikolaeva, V., Dzene, A., Bibers, I., Kalnin, M. Mechanical properties and biodegradation characteristics of PHB-based films. *Process Biochem.*, 35 (6) (2000), pp. 573-579

Shaikh, S., Yaqoob, M., Aggarwal, P., An overview of biodegradable packaging in food industry, *Current Research in Food Science*, 4, 2021, 503-520,

Silveira, VAI; Marim, BM; Hipolito, A.; Gonçalves, MC; Mali, S.; Kobayashi, RKT; Celligoi, MAPC Gıda kaynaklı patojenlerin kontrolü için polilaktik asit-soforolipid bazlı biyoaktif ambalaj filmlerinin karakterizasyonu ve antimikrobiyal özellikleri. *Gıda Paketi. Raf Ömrü* 2020, 26 , 100591.

Thakur, R.; Pristijono, P.; Golding, J.B.; Stathopoulos, C.E.; Scarlett, C.J.; Bowyer, M.; Vuong, Q.V. Development and application of rice starch based edible coating to improve the postharvest storage potential and quality of plum fruit (*Prunus salicina*). *Sci. Hortic.* 2018, 237, 59–66.

Vaezi, K.; Asadpour, G.; Sharifi, H. Effect of ZnO nanoparticles on the mechanical, barrier and optical properties of thermoplastic cationic starch/montmorillonite biodegradable films. *Int. J. Biol. Macromol.* 2019, 124, 519–529.

Wang, H.; Ding, F.; Ma, L.; Zhang, Y. Edible films from chitosan-gelatin: Physical properties and food packaging application. *Food Biosci.* 2021, 40, 100871.

Zeid, A.; Karabagias, I.K.; Nassif, M.; Kontominas, M.G. Preparation and evaluation of antioxidant packaging films made of polylactic acid containing thyme, rosemary, and oregano essential oils. *J. Food Process. Preserv.* 2019, 43, e14102.



## BÖLÜM XIII

# KARS YÖRESEL PEYNİRLERİ

### *Kars Local Cheeses*

**Sezen HARMANKAYA<sup>1</sup> & Ahmet HARMANKAYA<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>(Dr. Öğr. Üyesi), Kafkas Üniversitesi, Kars Meslek Yüksekokulu,  
Gıda İşleme Bölümü, Kars, Türkiye  
E-mail: sezenharmankaya@hotmail.com  
ORCID: 0000-0003-2498-5003

<sup>2</sup>(Dr. Öğr. Üyesi), Kafkas Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi,  
Kimya Bölümü, Kars, Türkiye  
E-mail: ahmetharmankaya5@gmail.com  
ORCID: 0000-0001-9923-6723

### 1. Giriş

**D**ünya çapında yüzlerce çeşidi olan peynir besleyici değeri yüksek sevilerek tüketilen bir süt ürünüdür. Sütün peynire dönüşüm serüveni ise Mezopotamya dönemlerinde M.Ö. 7000-10000 yıllarına dayanmaktadır. Sütün pastörize edilip maya ilave edilmesiyle elde edilen peynir “teleme” olarak adlandırılmakla (Uraz, 1981) beraber, günümüzde peynir sanayisi ne kadar gelişmiş olursa olsun, peynir yapımının teleme oluşuncaya kadarki aşamaları benzerlik göstermektedir. Peynir çeşitliğinin oluşmasında sütün cinsi, yağ ve asitlik oranı, pıhtının işlenme şekli, baskı uygulama şekli, starter kültür ve katkı maddesi kullanımı, tuz miktarı ve tuzlama yöntemi, olgunlaştırma yöntemi ve süresi gibi pek çok faktör etkili olmaktadır (Üçüncü, 2004; Gün, 2006).

Bölgelerin gelişmişlik düzeyi, kültürel durumu, iklim koşulları gibi özellikleri de peynir çeşitliliğini etkileyen unsurlardır. Kars, 1877-1878 yıllarında gerçekleşen ve 93 harbi olarak da bilinen Osmanlı-Rus savaşı sonrası 40 yıl süren Rus işgali nedeniyle pek çok etnik kökene ev sahipliği yapmış ve bundan

dolayı da kültürel ve gastronomik etkileşimlerin çok yoğun olduğu bir bölge olmuştur (Yazıcı, 2014). Yine bu bölgede birçok endemik bitki türüne sahip geniş ve verimli meralar bulunmaktadır. Yılın büyük çoğunluğunu hayvanların bu meralarda serbest olarak otlayarak geçirmeleri sütlerin kalitesini etkilediği gibi, hiç şüphesiz ki peynir kalitesine de etki etmektedir.

Kars bölgesinde üretilen Kars kaşar ve gravyer peyniri dünyaca tanınan ve üretimi endüstriyel olarak da yapılan peynirlerdir. Bu peynirler kalite özellikleri yönünden pek çok çalışmaya da araştırma konusu olmuştur (Topuk ve Sezer, 2015; Harmankaya ve Harmankaya, 2020; Sezer ve ark., 2021). Ayrıca bu peynirlerin dışında bölgede artık üretimi neredeyse bitmiş ya da sadece ailelerin kendi ihtiyaçlarını karşılayacak miktarda üretimi yapılan çok kıymetli onlarca çeşit peynir bulunmaktadır. Kars Çakmak peyniri, deve dili peyniri, kaşar örgüsü, karın kaymağı peyniri, Kars yağlı tulum peyniri, Kars küflü çeçil peyniri, saçak peyniri, şor loru, malakan peyniri, Boğatepe çoban peyniri bölgede üretilen diğer yöresel peynirlerdir.

## 2. Kars Peynirleri

### 2.1. Kars Çakmak Peyniri

Çakmak peyniri üretiminin kolay olması ve yapımından hemen sonra tüketilebilir olması nedeniyle bölgede oldukça fazla üretilmektedir. Önceleri koyun sütü kullanılarak üretilen Çakmak peyniri günümüzde daha çok inek sütü kullanılarak yapılmaktadır.

Çakmak peynirinin yapılışı klasik beyaz peynire benzer. Sağımdan sonra sütler süzülerek kaba kirlerinden arındırılır. Genellikle peynir yapımında kullanılacak sütlere herhangi bir ısı işlemi uygulanmaz, sütler sağım ısısında (28-32 °C) mayalanır. Ağzı temiz bir bez ile kapatılan süt mayalanması için yaklaşık 3 saat kadar bekletilir. Mayalanma aşaması tamamlandıktan sonra oluşan pıhtı parçalanıp yoğrulduktan sonra bez bir torbaya alınır. Sonrasında torbanın ağzı bağlanarak üzerine bir ağırlık konularak peynir içerisindeki suyun çıkması için 4-6 saat kadar bekletilir. Peynir altı suyundan ayrılan peynir, tuzlu salamura içerisine koyularak, tüketilinceye kadar serin bir yerde bekletilir (Şekil 1.) (Çetinkaya, 2005).



Şekil 1. Kars Çakmak Peyniri (Fotoğraf: S. Harmankaya)

## 2.2. *Kars Kaşar Peyniri*

Kaşar peyniri üretimi, Cumhuriyetin kuruluş yıllarından bu yana Kars yöresinde üretilmektedir. Kars' ta üretimi en çok yapılan ve tanınan coğrafi işaretli bir peynirdir (Durusoy, 2017).

Yapılışında inek sütü kullanılan kaşar peynirinin üretimi pıhtı oluşum aşamasına kadar beyaz peynir ile aynıdır. Pıhtı oluşuktan sonra pıhtının parçalanıp haşlanması ve sonrasında oluşan pıhtının yoğrulup şekillendirilmesi ve kalıplanması sonucu oluşan bir peynir türüdür. Taze kaşar peynirleri yaklaşık 30 günlük bir olgunlaşma süreci geçirirken, eski kaşar peynirleri ise yaklaşık 2 yıl süren bir olgunlaşma süresinden sonra tüketilir (Şekil 2.) (Gün, 2006).



Şekil 2: Kars Kaşar Peyniri (Fotoğraf: S. Harmankaya)



### 2.3. *Kars Deve Dili Peyniri*

Şeklinden dolayı bu adı alan peynirin üretim aşamaları klasik dil peynirinden farklıdır. Kars iline ait bir peynir türü olan deve dili peynirinin üretim şekli daha çok kaşar peynirine benzer (Şekil 3.).

İnek sütü kullanılarak üretilen bu peynir telemenin 70 °C’de haşlanması ve oluşan peynir hamuruna dil şekli verilmesi ile elde edilmektedir. Bölgede önceleri aileler tarafından sadece kendi ihtiyaçlarını karşılayacak miktarda yapılan bu peynir, günümüzde peynir fabrikalarının çoğalmasıyla birlikte daha fazla miktarda üretilmektedir. (Çetinkaya, 2005).



Şekil.3 Kars Deve Dili Peyniri (Fotoğraf: S. Harmankaya)

### 2.4. *Kaşar Örgüsü*

Adını şeklinden alan bu peynir, inek sütü kullanılarak üretilmektedir. Üretimi kaşar peynirinin haşlama aşamasına kadar aynı olmakla birlikte haşlama işlemi sonrasında oluşan peynir hamurunun yoğrularak örgü şekli verilmesiyle elde edilmektedir (Çetinkaya, 2005).

### 2.5. *Kars Çeçil Peyniri*

Çeçil peyniri Kars, Erzurum illeri başta olmak üzere Ardahan, Ağrı ve Muş’da da üretilen bir peynir türüdür. Farklı bölgelerde Civil, Tel, Çekme, Saç peyniri gibi isimlerle anılan Çeçil peyniri Kars yöresinde en çok üretilen ve sevilen peynirler arasındadır. Peynirde ipliksi yapının oluşması için yağsız ve ekşitilmiş süt kullanılarak yapılan bir peynir türüdür (Şekil 4.) (Tekişen, 2006).

Sağımı takiben temiz bir bezden süzülerek içerisinde bulunan kaba kirleri uzaklaştırılan sütün, yağı alındıktan sonra bekletilerek asitliğinin artması sağlanır. Ekşitilmiş süt 1/3 oranında taze süt ile karıştırıldıktan sonra kazan içerisinde 35-45 °C'a kadar ısıtılır. Bu ısı derecesinde 20 litreye bir yemek kaşığı hesabıyla maya ilave edilir ve karıştırılarak ısıtmaya devam edilir. Isıtma işlemine sütün içerisinde elastik kıvamlı pıhtı parçaları oluşup, bunlar kepçeye sarılıncaya kadar yaklaşık 70-75 °C'da devam edilir. Ardından peynir eli yakmayacak dereceye gelinceye kadar soğumaya bırakılır. Sonrasında pıhtı tel tel oluncaya kadar yoğrulur. Peynir istenilen lifli yapıyı aldıktan sonra duvara dik çakılmış sıyrıklara asılır. Peynir hamuru çekilip uzatılarak sırıgın üzerine katlanır ve peynir ipliksi bir yapı kazanıncaya kadar bu işleme devam edilir. Bazen bu işlem kol üstünde yapılır, sonra peynir suyunu salması için düz bir zemin üzerine alınır. Peynir taze olarak tüketilebileceği gibi küçük parçalar halinde 10-15 santim uzunluğunda kesilerek ya da salamura halinde, ya da kuru tuzlanıp tulum veya bidonlara basılarak olgunlaşmaya bırakıldıktan sonrada tüketilebilir (Kamber, 2005; Elmalı, 2012).



Şekil.4 Kars Çeçil Peyniri (Fotoğraf: S. Harmankaya)

## 2.6. Kars Küflü Çeçil Peyniri

Bölgede Göğermiş peynir olarak adlandırılan bu peynir tuzlanmış çeçil peynirlerinin tulum adı verilen koyun derisi içine konularak ağzı hava almayacak şekilde sıkıca bağlandıktan sonra küflenmesi için toprağa gömülmesiyle yapılır. Bu süreçte tulum 10-15 gün boyunca toprak altında bekletilir. Bu sürenin sonunda topraktan çıkarılan tulumu birkaç yerinden küflenmeyi hızlandırmak amacıyla şiş

batırılır. Daha sonra olgunlaşmanın devamı için peynir yeniden 20-30 gün kadar toprak altında olgunlaştırılır. Olgunlaşma süreci tamamlandıktan sonra topraktan çıkarılan tulumun ağzı açılır ve içerisinde oluşan ağır kokunun çıkması için bir gün bekletilir. Tüketilinceye kadar tulum içerisinde bekletildiği gibi isteğe bağlı olarak bidona alınarak da muhafaza edilebilir. Küflü Çeçil peynirinin küf florası olgunlaşma ortamının koşullarından etkilenmektedir (Şekil 5.) (Elmalı, 2012).



Şekil.5 Kars Küflü Çeçil Peyniri (Fotoğraf: S. Harmankaya)

### 2.7. Saçak Peyniri

Kadayıf görünümünde olan bu peynir, tel tel yapısıyla oldukça ilginç bir peynirdir. Bölgede daha çok Türkmen köylerinde yapılan saçak peynirinin üretiminde asitliği yüksek yağsız süt kullanılır. Bölgede tel, saçak, iplik, kadayıf gibi isimlerle de anılan bu peynirin yapılışı oldukça meşakkatlidir (Şekil 6.).

Saçak peynirinin yapımında yağı alınmış ekşitilmiş süt kullanılır. İçerisine maya katılan süt kısık ateş üzerinde içinde pıhtı şekillenip kaşığa sarılınca ve peynir altı suyundan ayrılınca kadar sürekli karıştırarak ısıtılır. Oluşan pıhtı, kazanda hafif sertleşmeye başladığı an ele alınır. Diğer taraftan bir kovanın içerisine kazandaki sıcak peynir altı suyundan konularak, eldeki pıhtının bir ucu kovadaki peynir altı suyuna degecek şekilde halka biçiminde uzatılmaya başlanır. Teleme sürekli kol üzerinde döndürülerek liflendirme işlemi yapılır. Peynir tel tel oluncaya kadar liflendirme işlemine devam edilir. Peynir kaya tuzu ile tuzlanarak ya da salamura içerisine konularak saklanır. Tuzlanan peynir normal oda koşullarında muhafaza edilebilir. Tüketilmeden önce su ile yıkanarak fazla tuzlarından arındırılır (Kamber, 2005; Şengül, 2006; Özdemir, 1998).



Şekil.6 Saçak Peyniri (Fotoğraf: Kamber, 2005)

### 2.8. *Kars Yağlı Tuluş Peyniri-Motal Peyniri*

Azerbaycan kökenli bir kelime olan Motal tulum anlamına gelmektedir ve peynir adını buradan almaktadır. Bölgede çok az miktarda yapılan bu peynir daha çok Kafkas kökenli aileler tarafından yapılmaktadır. Peynire verilen bir diğer isim de Yağlı Tuluş Peynidir (Kamber, 2008). Beyaz peynir ve çeçil peynirinin tereyağı veya krema ile karıştırılarak tulumlara basılmasıyla elde edilen bir peynirdir. Tulumlar serin bir yerde toprağa gömülerek yaklaşık 3 ay olgunlaşmaya bırakılır. Olgunlaşma süresini tamamlayan peynirler topraktan çıkarıldıktan sonra içerisindeki ağır kokunun çıkması için birkaç gün ağzı açık olarak bekletildikten sonra tüketilir (Şekil 7.) (Kamber, 2005; Güzeller, 2020).



Şekil.7. Kars Yağlı Tuluş Peyniri-Motal Peyniri (Fotoğraf: S. Harmankaya)

### 2.9. *Karın Kaymağı Peyniri*

Kars yöresinde genellikle koyun sütünden yapılan bu peynir işkembeye basılarak olgunlaştırılan bir peynir türüdür. Rokfor peynirinin aromasına benzeyen yoğun bir aromaya sahip olan bu peynir, bölgede Sarıkamış ilçesinin bazı köylerinde aile ihtiyaçlarını karşılayacak kadar yapılmaktadır. Sert kıvamlı, granüllü bir yapıya sahip olan bu peynir görünüm olarak Erzincan tulum peynirine benzemektedir. Rengi sarı ve tonlarında olan peynir, çoğunlukla olgunlaşma sürecinde küflendirilerek tüketilir (Turgut, 2009).

Üretiminde çakmak peyniri üretiminin aşamaları birebir uygulanır. Hazırlanan peynirler tenekelere konularak ufalanır ve %2-3 oranında orta irilikteki kaya tuzu ile tuzlanır. Daha sonra önceden hazırlanmış kuzu veya koyun işkembelelerinin içerisine hiç hava kalmayacak şekilde basılır. Basma işlemini bittikten sonra işkembenin ağzı ipe dikilerek kapatılır.

Geriye kalan suyun atılması için üzerine ağırlık koyularak serin bir yerde 3 gün süreyle baskıya alınır. Sonrasında baskıdan alınarak serin odalarda ipe tavana asılmış tahtalar üzerine konularak olgunlaşmaya bırakılır. Olgunlaşma sürecinde peynirler belirli aralıklarla alt üst edilir ve işkembe üzerinde oluşmuş küf tabakası nemli bir bez ile silinerek temizlenir. Olgunlaşma süresini 2-3 ayda tamamlayan peynirler tüketileceği zaman dış kısmındaki işkembe çıkarılarak uzaklaştırılır (Çakmakçı, 1995).

### 2.10. *Şor Loru*

Kars ilinde yapılan bir çeşit lor peyniridir. Peynir, kaşar peyniri yapımı esnasında açığa çıkan peynir altı suyunun haşlama kazanındaki su ile birlikte ısıtılmasıyla elde edilir. Haşlama kazan suyunun tuzlu olması nedeniyle yörede tuzlu anlamına gelen “şor” kelimesinden dolayı peynire Şor loru denilmektedir (Ünsal, 1997).

### 2.11. *Gravyer Peyniri*

Gravyer peyniri İsviçre orijinli bir peynir olmasına rağmen 1905 yılında Ruslar tarafından Kars'a getirilmiş ve yapımı yöre halkını öğretilmiştir. Peynir Kars'ta Kaşar, Tulum ve Çeçil peynirlerinden sonra en çok üretilen dördüncü peynirdir. Yapımında sadece inek sütü kullanılan gravyer peyniri sadece mayıs-ağustos dönemindeki sütler ile yapılır.

Peynir yapımında standardize edilen sütler kullanılır. Sağım sıcaklığında mayalanan sütler pıhtılaşmaya bırakılır. Yaklaşık 45 dakika sonra oluşan pıhtı

özel kesme aletiyle 0.4-0.8 cm büyüklüğünde parçalanır. Parçalama işlemi bittikten sonra 5-10 dakika beklenir ve sonra pıhtı 55 °C'yi geçmeyecek şekilde sürekli karıştırılarak ısıtılır. Pıhtı sertleşmeye başlayınca ısıtmaya son verilir ve 15-20 dakika dinlendirilir. Sonrasın da cendere bezine aktarılır ve bezler de kasnaklara yerleştirilir. Kasnaklara konulan peynirin üzerine ağırlığı 500 kilogramdan 3 tona kadar olan baskı uygulanır. Uzun ve aşamalı bir olgunlaşma süreci olan gravyer peynirinin tüketilebilecek bir durum alması için en az 6 ay beklemek gerekmektedir (Şekil 8.) (Kamber, 2005; Ulutaş, 1993).



Şekil.8 Kars Gravyer Peyniri (Fotoğraf: S. Harmankaya)

### ***2.12. Boğatepe Çoban Peyniri***

Boğatepe Çoban Peyniri, Gravyer peynirine göre daha az gözenekli, boyut olarak Kaşar peyniri boyutlarında, lezzet olarak ise Gravyer ile Eski Kaşar peyniri arasında bir lezzete sahip olup, bölgede unutulmaya yüz tutmuş bir peynir çeşididir. İsviçre kökenli bir peynir olan Boğatepe çoban peyniri, yörede Alp çoban peyniri olarak da bilinmektedir. Bugün Boğatepe'de üretimine sadece bir işletme tarafından devam edilmekte olan butik türlerden biridir (Şekil 9.) (Anonim, 2021).



Şekil.9 Kars Boğatepe Çoban Peyniri (Fotoğraf: S. Harmankaya)

### 2.13. Malakan Peyniri

Malakan Peyniri, Kars'ın Rus işgali altında olduğu Osmanlı-Rus savaşı sonrasında bölgeye yerleşen Malakanlar tarafından Kars mutfağına kazandırılan ürünlerden biridir. Şirdenden elde edilen maya ile mayalanan peynirler, kaşar peynirine göre daha hafif bir aromaya sahip olup süt ve krema tadındadır. Üretim aşaması kaşar peynirine benzeyen bu peynir laktasyonun en değerli dönemindeki sütler ile hazırlanır (Şekil 10.) (Öztek, 1983).



Şekil.10 Malakan Peyniri (Fotoğraf: S. Harmankaya)

### 3. Sonuç

Kars'ta hayvancılığın yaygın olması ve bölgenin sosyo-kültürel durumu peynir çeşitliğinin artmasında etkili olmuştur. Bölge yüz yıl öncesinde özellikle gravyer peyniri üretiminde Avrupa'nın taleplerini karşılayacak durumda iken günümüzde yurtiçinde sadece birkaç şehrin gravyer peyniri talebini karşılayabilecek duruma gelmiştir. Köylerde üretilen geleneksel peynirlerin birçoğu sanayileşme ve şehirleşmeyle beraber artık neredeyse unutulmuş durumdadır. Bu kadar zengin peynir çeşitliğine sahip bir şehir olan Kars'ta unutulmaya yüz tutmuş peynir çeşitleri öncelikle yöre gençlerine tanıtılarak öğretilmeli, bölgede üretimlerinin yaygınlaştırılmaları sağlanmalıdır. Ayrıca yöre peynirlerinin üretim teknolojilerinin geliştirilerek standardize edilmesi ve geleneksel ürünlerimiz kategorisinde dünyaya tanıtılması öncelikler arasında yer almalıdır.

### Kaynaklar

Anonim. (2021). www.aa.com.tr, 'Unutulmaya yüz tutan çoban peynirini yeniden üretip sofralara taşıdı'

Çakmakçı, S., Şengül, M., Çağlar, A. (1995). Karın kaymağı peynirinin üretim tekniği ve bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri. *Gıda*, 20(4).

Çetinkaya, A. Yöresel Peynirlerimiz. (2005). Academic book production. (sayfa 55-67).

Durusoy, Y. Y. (2017). Coğrafi İşaretli Gastronomik Ürünlerin Bölge Halkı Tarafından Algılanması Üzerine Analitik Bir Araştırma Kars Kaşarı Örneği. *Haliç Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*.

Elmalı, G., & Uylaşer, V. (2012). Geleneksel gıdalardan çeçil peynirinin üretimi ve özellikleri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(1), 83-92.

Gün, İ., (2006). Peynir teknolojisi ders notları. MAKÜ Meslek Yüksekokulu, Burdur.

Güzeller, N., ve Koboyeva, F. (2020). Doğu Anadolu Bölgesi'nde Üretilen Peynir Çeşitleri. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 174-180.

Harmankaya, S., ve Harmankaya, A. (2020). Investigation of Some Microbial and chemical Properties of Different Cheeses. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(3), 1389-1400.

Kamber, U. (2005). Geleneksel Anadolu Peynirleri. Miki Matbaacılık. (sayfa 75-106).



Kamber, U. (2008). The traditional cheeses of Turkey: Eastern Anatolia Region, *Food Reviews International*, 24: 148-174.

Özdemir C., Özdemir S., Çelik Ş., Sert S. (1998). Oltu yöresinde mahalli olarak üretilen Saç (Tel) peynirinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile mineral madde düzeyi. *Geçmişten Geleceğe Oltu ve Çevresi Sempozyumu*, 1-3 Temmuz 1998, sayfa no: 1-3, Oltu-Erzurum.

Öztek, L. (1983). Kars İlinde Yapılan Kaşar Peynirlerinin Yapılışları, Bileşimleri ve Olgunlaşmaları Üzerinde Araştırmalarla Bunların Diğer Peynir Çeşitleri İle Kıyaslanmaları, Erzurum: *Atatürk Üniversitesi Yayınları*.

Sengul, M., Gurses, M., Dervisoglu, M., Yazici F. (2006). A survey on the some chemical and biochemical properties of Civil cheese, a traditional Turkish cheese. *International Journal of Food Properties* 2006; 9(4): 791- 801.

Sezer, Ç., Çelebi, Ö., Bilge, N., Vatansver, L., Aydın, B. D. (2021). Lactic Flora of Local Foods Produced in Kars Region. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 16(2), 133-140.

Tekişen, K. K., & Elmalı, M. (2006). Taze Civil (Çeçil) peynirin bazı mikrobiyolojik özellikleri. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 1(4), 78-81.

Topuk, Ş., ve Sezer, Ç. (2015). Kars Gravyer Peynirlerinin Bazı Kalite Özellikleri. *Gıda*, 40(2), 69-75.

Turgut T, Çetin B, Şengül M, Çağlar A, Çakmakçı S: (2009). Karın Kaymağı Peyniri. II. *Geleneksel Gıdalar Sempozyumu*, 27-29 Mayıs, Van.

Ulutaş, Z., Çağlar, A., Ahmet, K. U. R. T. (1993). Kars Gravyer peynirinin yapılışı, duysal, fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine bir araştırma. *Gıda*, 18(3).

Uraz,T. (1981). Süt ve Mamülleri Teknolojisi : Peynir suyu ve değerlendirme şekilleri. *SEGEM Yayın No: 103*, 208-213 s

Üçüncü, M. (2004). A'dan Z'ye Peynir Teknolojisi (Cilt-II). *Meta Basım Matbaacılık İşleri, İzmir*.

Ünsal A., (1997). Süt Uyuyunca - Türkiye Peynirleri. I. Baskı, Yapı Kredi Kültür Sanat Yayıncılık Ticaret ve Sanayi Anonim Şirketi, İstanbul.

Yazıcı, S. (2014). "Dünden Bugüne Peynirin Kars Serüveni", Alplerden Kafkaslara, Peynirciliğin 150 Yıllık Öyküsü, der. O.Torun, s. 72-105, Boğatepe Çevre ve Yaşam Deneği ve Tarih Vakfı, Ankara.

## BÖLÜM XIV

# FERMENTE İÇECEKLER: KEFİR, KIMIZ VE BOZA

### *Fermented Beverages: Kefir, Kimiz and Boza*

Zülal BÜYÜK<sup>1</sup> & Dilek DÜLGER ALTINER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Doktora Öğrencisi), Kocaeli Üniversitesi,  
Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye,  
E-mail: 226248009@kocaeli.edu.tr  
ORCID: 0000-0002-2488-9161

<sup>2</sup>(Doç. Dr.), Kocaeli Üniversitesi, Turizm Fakültesi,  
Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Kartepe/Kocaeli, Türkiye,  
E-mail: dilek.dulger@kocaeli.edu.tr  
ORCID: 0000-0002-7043-2883

### 1. Giriş

Fermantasyon, mikroorganizmaların karbonhidratları ve diğer organik molekülleri, enerji elde etmek için enzimler yardımıyla parçalayıp daha küçük bileşenlere ayırdığı bir süreçtir. Bu süreçte, mikroorganizmalar organik bileşikleri tamamen karbondioksit ve suya dönüştürmez, fermantasyon sonucunda laktik asit, asetik asit ve etil alkol gibi organik bileşikler oluşur (Demirkol, 2015).

Dünyada çeşitli teknikler, hammaddeler ve mikroorganizmalar kullanılarak üretilen, toplumun önemli bir besin kaynağını oluşturan fermente ürünler ve yapımı günümüzden yaklaşık 10.000 bin yıl öncesine dayanmaktadır (Karakurt, 2021). En eski muhafaza ve üretim yöntemlerinden biri olan fermantasyon yönteminin ilk olarak Orta Doğu ve Balkanlar'da yapıldığı bilinmektedir (Levent ve Algan Cavuldak, 2017; Güzel-Seydim ve Kök-Taş, 2019). Göçebe kültüründe, süt üretimi için yetiştirilen hayvanların sütleri çoğunlukla fermente

ürünler elde etmek için kullanılmıştır (Tegin ve Gönülalan, 2014). İnsanlar zaman içinde, fermente ürünleri önce evde yaparken, sonrasında fabrikalarda üretmeye başlamıştır (Güzel-Seydim ve Kök-Taş, 2019).

Dünyada fermente tahıl, soya, hayvansal, sebze ve meyve bazlı olmak üzere çeşitli ürünler üretilmektedir (Karaçıl ve Acar Tek, 2013). Fermente gıdalar ürünleri sağlık üzerindeki faydalı etkilerinden dolayı dünya genelinde yaygın bir şekilde üretilmekte ve tüketilmektedir. Fermente gıdalar besin değeri, duyuşsal özellikler ve sindirilebilirlik bakımından önemli etkilere sahiptir (Levent ve Algan Cavuldak, 2017). Fermentasyon, gıdaların biyoalınabilirlik özelliklerine de olumlu yönde etki yapmaktadır. Bu ürünlerin yapım sürecinde kullanılan hammaddeler, fermentasyonda etkin olan mikroorganizmalar ve bu süreçte kullanılan teknolojiler birbirinden farklıdır. Bu çeşitlilik, her bir ürünün kendine özgü niteliklerini ve lezzetini belirlemektedir (Yaygın, 1996).

Fermente süt ürünleri, belirli mikroorganizmaların sütü fermente etmesiyle oluşmaktadır. Bu süreç, sütün pH değerini düşürmekte ve bu da koagülasyon sürecini başlatmaktadır. Fermente süt ürünlerinin özelliği, gereken mikroorganizmaları yeterli miktarda, canlı ve aktif bir şekilde içermesidir (Tarakçı vd., 2015). Fermente ürünler, içerdikleri işlevsel mikroorganizmalar sayesinde sağlığı destekleyici birçok faydanın yanı sıra bozulabilir gıdaları koruma özelliğine sahiptir ve aynı zamanda gıdaların besin değerini artırmaktadır. Antioksidan, terapötik ve immünolojik özellikler gibi biyolojik işlevlere sahiptirler (Karaçıl ve Acar Tek, 2013).

Probiyotik mikroorganizmaları barındıran ürünler genellikle yiyecekler veya besin takviyeleridir. Laktobasil türündeki probiyotik suşlar, en çok fermente süt ürünlerinde bulunur ve bu ürünler bu suşların en geleneksel kaynağıdır (Akçelik ve Akçelik, 2019). Probiyotikler, sindirim sistemimizde bulunan ve tükettikçe bağırsaklarımızdaki bakteri dengesini sağlayarak sindirim sağlığımızı koruyan canlı mikroorganizmalardır (Tarakçı vd., 2015). Probiyotik gıdalar, içlerinde belirli miktarda canlı probiyotik mikroorganizma barındıran ve bu canlılığı raf ömrü boyunca koruyabilen ürünler olarak tanımlanmaktadır (Çınar ve Dayısoylu, 2005).

## 2. Kefir

Kefir, sütün kefir daneleriyle mayalanmasıyla veya kefir tanelerinden elde edilen mikroorganizmalarla üretilen bir içecek olup, *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium bifidum* ve diğer pek çok laktik asit bakterisi ve maya gibi

faydalı probiyotikler içermektedir (Köroğlu vd., 2015). Kefirin mikrobiyolojik ve kimyasal bileşimi, doğal laktik asit bakterileri ve maya nedeniyle karmaşık bir probiyotik etki sağlamaktadır. Kefir, ürünün üretimi sırasında starter kültür olarak kullanılan çok çeşitli doğal kefir daneleri nedeniyle kendine özgü bir fermente süt ürünüdür (Güzel-Seydim vd., 2011).

Kefir, Kafkas Dağları'nda doğan probiyotik bir süt ieeğidir. Kuzey Kafkasya'da Ossetin ve Karbadin boyları tarafından 18. yüzyıldan beri üretilen ve binlerce yıldır Ortadoğu'da sevilen bir fermente ieektir (Delikanlı-Akbay, 2020). Orta Asya'daki Türkler, sütü keselerde taşıırken bazen sütün asitli, alkollü ve köpüklü bir hale geldiğini fark etmişlerdir ve bu ieeği çok sevip ona kefir demişlerdir. Kafkas halkı, kefir danelerini maya olarak kullanarak evlerinde keçi veya inek sütüne ekleyerek kefir yapmışlardır (Güzel-Seydim ve Kök-Taş, 2019). Kefir, eskiden sadece ev yapımı bir süt ieeği olarak bilinmekteydi. Ancak günümüzde, endüstriyel olarak da üretilmekte, farklı aromalarda ve light seçenekleri de bulunmaktadır (Esmek ve Güzeller, 2015). Kefir, dünyada süt ürünleri arasında peynir ve yoğurttan sonra en çok tanınan üründür. Özellikle Rusya, Bulgaristan ve Polonya'da meşhur ieekler arasında yer almaktadır (Çelik- Kış, 2023).

Kefir daneleri, bir başlangıç kültürü olarak kullanılan, esnek dokulu, küçük lahana veya patlamış mısır görünümlü, 3-20 mm boyutunda, düzgün olmayan biçimli, soluk sarı renkli, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Lactococcus* ve *Acetobacter* gibi bakteriler ile farklı mayalar içeren karmaşık bir biyolojik yapıya sahiptir (Durlu-Özkaya, 2015). Kefir daneleri, 0.1 cm ile 2 cm arasında değişen büyüklükteki yuvarlaklardan oluşmaktadır. Bu danelerin %86'sı su, %14'ü kuru madde içermektedir. Kuru maddede ise %58 karbonhidrat, %30 protein, %7 yağ ve %5 mineral bulunmaktadır. Bu içerik oldukça besleyicidir (Güzel-Seydim ve Kök-Taş, 2019). İçinde laktik asit bakterileri (LAB), asetik asit bakterileri ve mayalar bulunmaktadır. Bu mikroorganizmalar, protein ve polisakkaritlerden oluşan bir matriks içinde bulunmaktadır (Gündüz, 2017).

### 2.1. Kefirin Üretim Teknolojisi

Geleneksel kefir üretimi, sütün kefir daneleri ile fermente edilmesiyle; endüstriyel üretimde ise, danelerden elde veya izole edilen mikroorganizmaların starter kültür olarak kullanılması sonucu gerçekleşmektedir (Tomar vd., 2017). Kefir farklı hayvanların sütlerinden ve bitkisel sütlerden de yapılabilen bir ieektir (Öner vd., 2010). Fakat kefir üretiminde en çok inek sütü

kullanılmaktadır. Sütün pastörize edilmesi ve yağ oranı kefirin özelliklerini etkilemektedir (Akay-Yüce, 2022).

Kefir daneleri, sütü ekşi bir içeceğe dönüştürmek için kullanılmaktadır. Sütün içine atılan daneler, 25°C sıcaklıkta 22 saat boyunca sütü fermente etmektedir. Bu süre sonunda daneler, kefirde ayrılır. Aynı daneler başka bir sütte yeniden kullanılabilir ve zamanla büyüebilmektedir (Durlu-Özkaya, 2015). Sütün tahıl veya ticari starter kültürle fermantasyonu sonucu laktik asit, asetik asit, asetaldehit, asetoin, CO<sub>2</sub>, etanol ve aromatik bileşikler oluşmaktadır. Kefirin özel lezzeti ve kokusu, maya ve bakterilerin simbiyotik bir birliktelik içinde çalışmasından kaynaklanmaktadır (Öner vd., 2010). Kefir danesinden üretilen kefir, starter kültürle üretilen kefirde ve diğer tüm fermente gıdalardan ayıran özelliği, fermantasyon sürecinde üç farklı fermantasyonun gerçekleşmesidir. Bunlar; laktik asit fermantasyonu, etanol fermantasyonu ve asetik asit fermantasyonudur (Güzel-Seydim ve Kök-Taş, 2019).

## 2.2. Kefirin Sağlık Üzerine Etkisi

Kefir, halk arasında uzun ve sağlıklı yaşamla ilişkilendirilmektedir. Kefirin sağlık üzerindeki etkileri, kefir danesinden üretilen gerçek kefirle olabileceği yapılan araştırmalarla kanıtlanmıştır. Kefirin, *in vitro* ve *in vivo* çalışma sonuçlarına göre, çoklu biyoaktiviteye sahip olduğu belirtilmiştir (Güzel-Seydim ve Kök-Taş, 2019). Fermente sütlü içecekler, probiyotik mikroorganizmalar içermektedir. Bu mikroorganizmaların, bağırsak sağlığı ve bağışıklık sistemi üzerindeki sağlığa faydalı etkilerinden dolayı son yıllarda fermente içecekler daha çok tüketilmeye başlanmıştır (Esmek ve Güzeller, 2015).

Fermantasyon sırasında üretilen metabolik maddelerin nutrasötik aktiviteleri kanıtlanmıştır. Bu tür özelliklerinin, insan sağlığı üzerinde önemli etkileri olduğu ortaya konulmuş ve bazı hastalıkların tedavisi üzerinde etkili olduğu görülmüştür (Güzel-Seydim vd., 2011). Bu hastalıklar arasında; depresyon, karaciğer ve safra hastalıkları, sarılık, enfeksiyon, uzun süren ve kronik bağırsak iltihapları, iç ve dış ularlar, egzama, yüksek tansiyon, kalp hastalıkları, kabızlık ve ishal bulunmaktadır (Koçak ve Gürsel, 1981). Birçok araştırmaya göre kefir, sindirimi kolaylaştıran, antikarsinojenik, antialerjik, antimikrobiyal, antialerjik, antioksidatif, antihipertansif, anti-inflamatuar, antiobezite özellikleri ile dikkat çekmekte ve laktoz intoleransı olan kişilerde kullanılabilen fonksiyonel bir içecektir (Koroğlu vd., 2015; Güzel-Seydim ve Kök-Taş, 2019). Ayrıca kefirin kan şekeri ve tansiyonu düzenleyici etkisi de bildirilmiştir (Tomar vd., 2017).

### 3. Kımız

Kımız, çok uzun yıllardan beri mutluluk ve dinçlik veren ayrıca birçok hastalığa karşı iyileştirici etkileri olan, kısrak sütünün fermente edildikten sonra elde edilen laktik asit ve etil alkol fermantasyonuyla üretilen fermente bir süt ürünüdür (Akalin ve Gönç, 2000). Kımız ismi, Asya bozkırlarındaki Kumane nehrinin kıyısında yaşayan Kumanes halkından gelmektedir. Kımız hakkındaki ilk bilgiyi M.Ö. V. yüzyılda yaşamış olan Herodot vermiştir. Fakat konuyla ilgili ilk bilimsel yazı 1784 yılında İskoçya’lı bir doktor tarafından hazırlanan raporda yer almıştır (Yaygın, 1996). At ve kımız kavramları Türk boylarının sosyal ve kültürel hayatında önemli bir yere sahiptir (Üstün, 2009). Kımız, Orta Asya’da Türk kültürünün bir parçasıdır ve farklı isimlerle de anılmaktadır. Kımız, bugün daha çok Rusya, Çin ve Doğu Türkistan’da üretilmektedir (Durlu-Özkaya, 2015)

Kısrak sütü, çok eski bir içecek olan kımızın ana malzemesidir. Hammadde olarak kısrak sütünün kullanılma nedeni, kısrak sütünün şeker içeriğinin diğer sütlere göre daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır (Kurdal, 1993). Rengi soluk sarımsı-gri, tadı ekşi ve alkollüdür. İçinde %2 kadar alkol, %0.5-%1.5 kadar laktik asit, %2-4 kadar laktoz ve %2 kadar yağ bulunmaktadır (Güzel-Seydim ve Kök-Taş, 2019).

Kımız, kısrak sütü içindeki doğal bakteri ve mayalar sayesinde mayalanır ve alkol oranı az olan bir süt içeceği haline gelmektedir (Yagın, 1991). Kımızın karakteristik özellikleri üzerinde, üretimi sırasında kullanılan laktik asit bakterileri ile (*Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* gibi laktobasiller) mayalardan (*Saccharomyces lactis*, *Saccharomyces cartilaginosus*, *Mycoderme*) oluşan starter kültür etkili olmaktadır (Yangılar vd., 2013). Bu mikroorganizmalar ürünün tat, aroma ve tekstüründen sorumlu olup, laktozu kullanarak %2,0-3,5 düzeyinde alkol oluşturduğu, *Saccharomyces*’lerin her iki türünün de antibiyotik benzeri madde ürettiği, *Lactobacillus*’un asit üretiminden sorumlu olduğu bilinmektedir (Durlu-Özkaya, 2015). Kımızın mayalanmasında başlıca yer alan mayalar *Kluyveromyces* spp., *Saccharomyces* spp. ve *Candida* spp.dir . Bu mayalar fermantasyon sırasında, sütün içindeki şekerleri alkol, karbondioksit ve köpük haline getirmektedir. Kımızda yer alan ana laktik asit bakterileri suşları *L. plantarum*, *L. helveticus*, *L. casei* ve *L. kefir* olarak adlandırılmaktadır (Güzel-Seydim ve Kök-Taş, 2019).

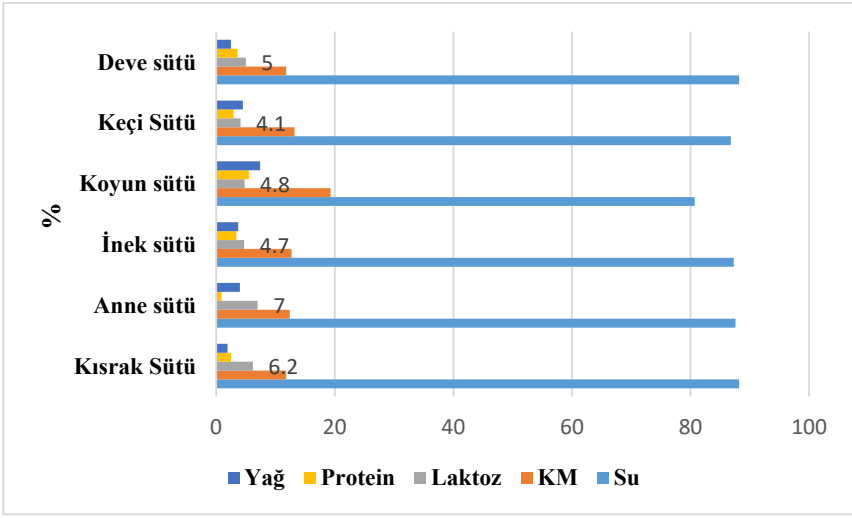
#### 3.1. Kımızın Fizikokimyasal Özellikleri ve Bileşimi

Kımız kısrak sütünün mayalanmasıyla yapılmaktadır. Kısrak sütünün düşük kolesterol içeriği, benzersiz protein yapısı ve yüksek oranda çoklu

doymamış yağ asidi içermesi sebebiyle, insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir (Topuz, 2005). Kısrak sütü üretimi az olduğu için kımız yapımında inek sütü de kullanılmaktadır. Ama inek sütü ve kısrak sütü arasındaki yapısal farklardan dolayı inek sütünden yapılan kımız üretiminde orijinaliteyi sağlamadığı belirtilmiştir (Durlu-Özkaya, 2015). Kısrak sütü ve inek sütü arasındaki biyokimyasal farklılıklar oldukça belirgindir. İnek sütündeki kazein ekşitildiğinde genellikle büyük, düz ve hızla çöken tortular oluştururken, kısrak sütünde bu durum söz konusu değildir. Kısrak sütü, özel bir maya ile ekşitilerek kımız haline getirilir ve bu kımız, az köpüklü ve mayhoş bir tat sunar (Üstün, 2009).

Kımızın rengi griye yakın, tadı ekşi ve alkollüdür. Kıvamı akışkan ve gazlıdır. Kımızın lezzeti ve kokusu, sütteki şekerlerin laktik asit, alkol ve gaz haline dönüşmesinden kaynaklanmaktadır (Güzel-Seydim ve Kök-Taş, 2019). Kısrak sütü protein açısından zengin olup, proteinin yarısı kazein, yarısı da serum proteinlerinden oluşmaktadır. Serum proteinleri sindirimi kolaylaştırmakta ve bağışıklık sistemini güçlendirmektedir. Kısrak sütü, inek sütüne göre daha kolay hazmedilir çünkü yağ tanecikleri daha küçüktür ve daha fazla serum proteinleri içermektedir (Durlu-Özkaya, 2015).

Kımızın içeriği; % 90 su, % 2.1 protein (%1.2 kazein, %0.9 serum proteinleri), % 4.5-6.4 laktoz, % 1.8 yağ ve % 0.3 mineral olarak bildirilmiştir. Kımız yapılırken, sütteki şekerler laktik asit, alkol ve karbondioksit gazına dönüşünce karbondioksit gazı kımızı gazlı bir içecek haline getirmektedir (Tegin ve Gönülalan, 2014). Ayrıca, fermentasyon sonucu laktik asit (%0.7-1.8), etanol (%0.6-2.5) ve CO<sub>2</sub> (%0.5-0.9) gibi metabolitler oluşmaktadır. Diğer yandan, kımızda pirüvik asit, sitrik asit, asetik asit ve ürik asit bildirilmiştir (Güzel-Seydim ve Kök-Taş, 2019). Şekil 1'de çeşitli sütlerin ortalama olarak yüzde bileşenleri Gülmez (2018)'in araştırmasına göre verilmiştir. Sütlere ait laktoz değerleri tabloda görüldüğü üzere en yüksek anne sütünde, sonrasında kısrak sütünde (%6.2) bildirilmiştir (Gülmez, 2018). Kısrak sütü, diğer hayvanların sütlerinden de farklıdır. Kısrak sütünde daha çok su ve süt şekeri bulunmaktadır. Ama kuru madde, protein, yağ ve mineral madde daha azdır. Bu farklılık, protein ve yağın kimyasal yapısının değişmesinden kaynaklanmaktadır (Gülmez, 2018). Sütün tatlılığı, hayvanın türüne göre değişmektedir. Kısrak sütü, diğer hayvanların sütlerinden çok daha tatlıdır. Bunun nedeni kısrak sütündeki laktoz oranının, diğer hayvan sütlerine göre yaklaşık iki kat fazla olmasından kaynaklanmaktadır (Turgunbayer ve İsi, 2021).



Şekil 1: Çeşitli Sütlerin Ortalama Yüzde Bileşenleri (Gülmez, 2018)

### 3.2. Kımız Üretim Yöntemleri

Kımız, maya ve laktik asit bakterilerinin sütü doğal olarak fermente etmesiyle ya da kısrak ve inek sütüne su ve şeker eklenerek yapılan köpüklü, alkollü ve serinletici bir içecektir. Süt, sağıldıktan sonra ısıtılmadan kımız mayasıyla karıştırılmaktadır. Mayalama için daha önce yapılmış kımızdan faydalanılmaktadır. Süt, mayalanan kızıma katılmaktadır (Akalin ve Gönç, 2000). Kısrak sütü, 40°C'den yüksek sıcaklıklara dayanamaz. Bu yüzden, sağıldıktan sonra çabuk soğutulmalı ve 6-9 saat içinde tüketilmelidir (Tegin ve Gönülalan, 2014).

Kımız yapmak için eskiden çok ilkel yöntemler kullanılmaktaydı. Teknoloji ilerledikçe, kımız yapımı da gelişmiş ve daha modern hale gelmiştir (Kurdal, 1993). Geleneksel kımız yapımında sütü ısıtmaya gerek yoktur (Yaygın, 1996). Geleneksel kımız üretilirken, at derisinden yapılmış tulumlarına kısrak sütü ve bir önceki üretimden olan kımızdan ilave edilmekte, iki gün süreyle dövülmek suretiyle karıştırılarak fermente olması sağlanmaktadır (Kurdal, 1993). Bu şekilde elde edilen kımızın bir kısmı tüketilerek kalanın üzerine taze kısrak sütü ilave edilip tekrar dövülerek fermentasyon işlemi gerçekleştirilmektedir (Durlu-Özkaya, 2015).

Endüstriyel olarak kımız yapmak için ise kısrak sütü pastörize edilmekte veya taze kullanılmaktadır. Süte, laktik asit bakterileri ve mayalar içeren özel bir kültür eklenmektedir (Yaygın, 1996). Öncelikle starter kültürün 25-26°C'de



10-12 saat fermente edilerek hazırlanması, ardından çiğ ya da pastörize edilmiş kısrak sütüne %10-20 oranında starter kültür ilavesi, ilk 15-20 dakika sürekli karıştırma, ardından 1 saat süreyle 1-2 dakika aralıklarla 3-4 kez karıştırma ve 2-4 saat sonra da kırmızı tadına ulaşınca kadar 30-60 dakika aralıklarla karıştırılarak elde edilmektedir. Fermantasyon sonrası şişelenerek alkol ve gaz fermantasyonu için bir süre daha olgunlaştırılmaktadır (Durlu-Özkaya, 2015). Kırmızın fermantasyon süresi 3-8 saat arasında değişir ve genellikle *L. delbrueckii* ssp., *L. bulgaricus*, *L. casei*, *L. lactis* ssp. lakti, *Kluyveromyces fragilis* ve *S. unisporus* gibi çeşitli mikroorganizmalardan oluşan karma bir starter kültürün etkisiyle üretilmektedir (Güzel-Seydim ve Kök-Taş, 2019). Kırmızı fermente edilme yönteminden dolayı süte göre daha akışkan kıvamdadır (Yaygın, 1996). Kırmızın tadı, asitliği ve alkolü, mayalama sürecinde kullanılan bakteri türlerine ve süresine bağlı olarak güçlü, orta ve hafif olarak değişmektedir (Güzel-Seydim ve Kök-Taş, 2019).

### 3.3. Kırmızın Fonksiyonel Özellikleri

Kısrak sütü özellikle yaşlılar ve bebekler için faydalı olan önemli bir besin kaynağı iken, insan sağlığı üzerinde terapötik etkileri de bulunmaktadır (Güzel-Seydim ve Kök-Taş, 2019). Kırmızın tifo, para tifo, mide iltihapları, bağırsak tembelliği, dizanteri, gibi hastalıkların tedavisi üzerinde olumlu sonuçlar verdiği kaydedilmiştir (Gülmez, 2018). Kısrak sütünün çiğ olarak tüketilmesi, ilk başta yüksek laktoz içeriği nedeniyle ishale neden olurken enzim sisteminin laktoza adapte olmasıyla kişide canlılık, uyku ve iştah seviyesini arttırdığı bilinmektedir (Turgunbayer ve İsi, 2021).

Kırmızı, başta verem, zatüre, kronik bronşit, kalp-damar hastalıkları ve bazı tür kadın hastalıklarının yanında (Üstün, 2009), kansızlık ve hazımsızlık üzerinde de olumlu etkileri olduğu ve diğer bazı hastalıkların tedavisinde kullanılabileceği bildirilmektedir (Yaygın, 1996). Ayrıca, kan yapıcı organları destekleme, böbrek fonksiyonlarını iyileştirme, iç salgı bezlerini düzenleme, bağışıklık sistemini güçlendirme, dolaşım sistemini hızlandırma, sinir sistemini dengeleme ve sindirim kanalı aktivitesini artırma gibi olumlu etkileri de bulunmaktadır (Gülmez, 2018).

Ayrıca kırmızın, sinir ve şeker hastalıklarına karşı da olumlu etkileri olduğu bildirilmiştir. Hepatit, kronik ülser ve tüberküloz gibi hastalıkların tedavisine yardımcı olduğu düşünülerek Çin'de 'Kırmızı tedavi yöntemi' ve 'Kırmızı terapi merkezi' geliştirilmiştir (Çelik-Kiş, 2023). Günümüzde kısrak sütünün metabolik ve alerjik hastalıklar üzerinde tedavi edici etkileri olduğu tespit

edilmesiyle kozmetik ve ilaç endüstrisinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu durum Avrupa’da, kısrak sütüne olan talebi arttırmıştır ve bu ilgiden dolayı kısrak sütü fiyatlarında ciddi artış yaşanmıştır. İtalya’da, inek sütüne karşı alerjisi olan çocuklar için inek sütünün yerine kısrak sütünün kullanılması üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Topuz, 2005).

Kımızın tüm bu terapötik ve tedavi edici etkileri kımızın elde edildiği süte, içerdiği süt asidine, alkol, karbondioksit ve fermantasyon sonrası oluşan diğer metabolitler ile mikroorganizmalardan kaynaklanmaktadır (Yangılar vd., 2013; Durlu-Özkaya, 2015). Bakteriler, özellikle B12 vitaminini olmak üzere bazı B grubu vitaminlerini üretebilirler. Kımızın ayrıca *Escherichia coli*, *Mycobacterium tuberculosis* vb. bakterilere karşı antibiyotik etkileri olduğu da belirtilmiştir (Topuz, 2005).

#### 4. Boza

Fermente gıdalar, gıda ve içeceklerin kontrollü mikrobiyal büyüme ve enzimatik aktivite ile dönüştürülmesini ifade eder. Tarih boyunca, bu tür ürünler insan diyetinin önemli bir parçası olmuştur (Ayar vd., 2023). Fermente gıda üretimi, çeşitli hammaddelerin kullanılmasını içerir. Bu süreç, hammaddeleri daha dayanıklı yeni ürünler haline getirmektedir. Boza, bu tür ürünlere bir örnektir (Sağlam vd., 2018). Tahıl bazlı fermente bir içecek olan boza; darı, mısır, çavdar, pirinç, buğday, yulaf gibi tahılların öğütülmesi, (Levent ve Cavuldak, 2017) su katılarak pişirilmesi ve süzülükten sonra şeker eklenmesiyle ve laktik asit fermantasyonunun gerçekleştirilmesi sonucu hazırlanan alkolsüz, viskozitesi yüksek ve hafif asitli kreme yakın beyaz renkte, koyu kıvamlı ekşimsi-tatlı lezzette ve asidik-alkollü bir kokuya sahip olan fermente bir içecektir (Birer, 1987; Kavruk vd., 2021; (Levent ve Cavuldak, 2017). İnsanların boza türü içecekleri deneme yanılma yoluyla keşfettiği bilinmektedir (Feyiz, 2021). Bozanın kalite özellikleri fermantasyon proseslerine ve kullanılan hammaddelere göre değişim gösterebilmektedir (Ertaş vd., 2019).

“Boza”, birçok dilde farklı adlandırılır. İngilizce, İtalyanca, İspanyolca, Portekizce, Bulgarca, Sırpça, Hırvatça, Macarca ve Arnavutça’da “Boza” olarak bilinir. Rumence’de “Bozan”, Yunanca’da “Bozas”, Rusça, Lehçe ve Çekçe’de “Buza” olarak adlandırılır. Fransızca’da “Bouza” veya “Bosan” ve Almanca’da “Busa” olarak geçer (Uymaz Tezel ve Şanlıbaba, 2019). “Boza” ismi Balkan ülkeleri, Kafkasya, Türki devletler ile İran, Mısır, Arap ülkeleri ve bazı Afrika kabilelerinde “Merissa” ve “Buha” gibi isimlerle de bilinmektedir (Levent ve

Cavuldak, 2017). Esasında boza kelimesinin kökeni Farsça'daki "darı" anlamına gelen "buze"dir (Birer, 1987).

Boza'nın kökeni hakkında bazı tarım uzmanları, bu içeceğin tarihini 9000 yıl öncesine, Mezopotamya dönemine kadar uzandığını belirtmektedir. İnsanların yerleşik hayata geçip toprağı kullanmayı öğrendikleri bu dönemde boza'nın ortaya çıktığı düşünülmektedir (Feyiz, 2021). Bu dönemlerde boza, özellikle darı olmak üzere buğday, arpa, haşlanmış pirinç unu ve irmik gibi malzemelerin maya ile laktik asit fermantasyonu sürecine tabi tutulmasıyla üretilmekteydi (İğüs, 2016). Orta Asya Türklerinin bozayı çok eski zamanlardan beri ürettiği düşünülmektedir (Levent ve Cavuldak, 2017). Boza'nın, Türklerin yoğun olarak yaşadığı Anadolu, Kırım, Kafkasya, Türkistan ile Balkanlar ve bazı Arap ülkelerinde 11. yüzyıldan itibaren tüketildiği bilinmektedir (Uymaz Tezel ve Şanlıbaba, 2019). Türkler, Orta Asya'dan göç ettikleri farklı coğrafyalardaki bölgelerde bozayı tanıtmışlar ve günümüzdeki coğrafi yayılımını da sağlamışlardır (Levent ve Cavuldak, 2017). Boza bulunduğu bölgelere göre farklı isimlerle bilinmektedir. Boza günümüzde de Balkan ülkelerinden Türkmenistan ve Kırgızistan'a kadar farklı coğrafyalarda farklı malzemelerle üretilmektedir (Kavruk vd., 2021). Ülkemizde ve diğer ülkelerde üretilen bozalar arasında farklılıkların bulunmasının nedeni kullanılan hammaddeler, üretim metodu ve alkol içeriğidir (Levent ve Cavuldak, 2017).

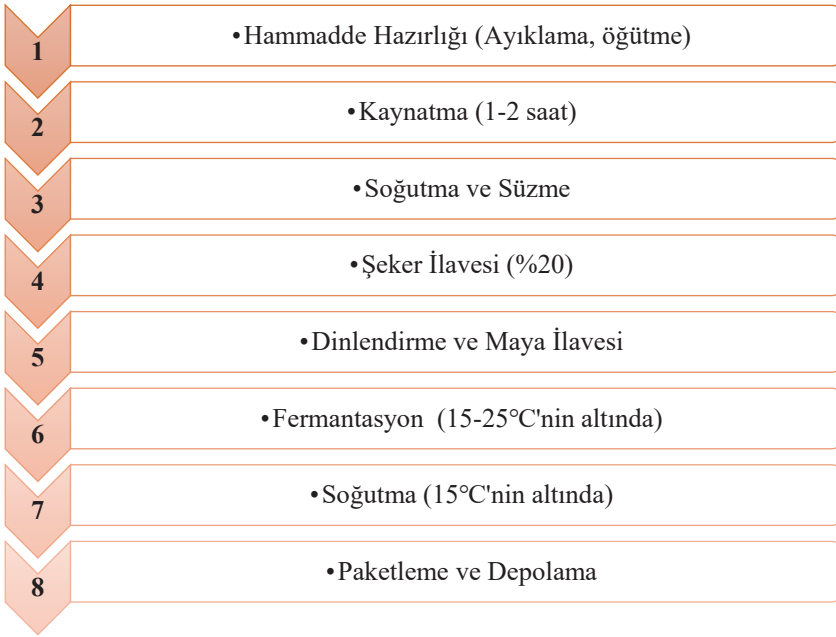
#### ***4.1. Boza Üretim Teknolojisi***

Boza, darı, mısır, buğday, pirinç, gibi tahıllardan yapılan fermente ve geleneksel bir içecektir (Levent ve Cavuldak, 2017). Boza, çeşitli tahılların kaynatılması ve şeker eklenmesiyle başlayan bir sürecin ardından asidik ve alkollü fermantasyonla elde edilen bir tahıl içeceğidir (Songür vd., 2016). Açık sarı bir renge sahip olan boza, koyu sıvı bir kıvama karakteristik tatlı-ekşimsi bir tada, asidik-alkollü bir kokuya sahiptir (Levent ve Cavuldak, 2017).

Boza, laktik asit fermantasyonu ile çeşitli tahıllardan üretilen bir içecektir. Ancak, alkol ve asit oranlarına göre farklılaşabilen çeşitleri bulunmaktadır. Bu nedenle, tek bir kalıba uyabilecek bir içecek olarak görülmemektedir (Doğan ve Özalın, 2022). Boza, hammaddesi ülkeye göre değişen bir içecektir. Türkiye'de genellikle darı unu kullanılırken, diğer tahıllar ve tohumlar da (karabuğday, ekmek, kenevir tohumu, parmak darı, sorgum ve karamuk) boza yapımında tercih edilmektedir (Karakurt, 2021)

Boza, Kırım'dan başlamak üzere Volga ve Kafkaslar dahil olmak üzere birçok Balkan ülkesine kadar yayılmış bir içecektir. Ayrıca İran, Mısır ve Arap

Yarımadası'nda da popülerdir. Bozanın ana maddesi genellikle darı, arpa, buğday, çavdar, yulaf, mısır ve pirinç gibi tahıllardır. Ancak, farklı bölgelerde boza yapımında çeşitli hammadde kullanımları da gözlemlenmektedir (Uymaz Tezel ve Şanlıbaba, 2019). Boza, Türkiye'de çoğunlukla darıdan yapılırken, diğer ülkelerde üretildiği bölgenin ürünlerine göre değişiklik göstermektedir. Örneğin, Kırım ve Türkistan'da boza ham maddesi olarak pirinç ve darı, Kazan Rjasan Tatar Türklerinde yarı yarıya darı, buğday ve yulaf unu, Oset'lerde arpa maltı katılarak pişmiş ve kızartılmış ekmekten, Kırgızlar ise buğday yarması kullanmaktadır (Birer, 1987). Bazı bölgelerde, boza yapımında belirli tahılların unları da tercih edilmektedir. Boza yapımında kullanılan diğer önemli bileşenler arasında kristal şeker, içme suyu ve maya bulunmaktadır. Maya genellikle önceki boza üretiminden elde edilir, ancak yoğurt veya fermente olmuş ekmek hamuru da kullanılabilir (Demirkol, 2015). Bozanın üretim şeması Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Boza Üretim Basamakları (Uymaz Tezel ve Şanlıbaba, 2019).

#### 4.2. Bozanın Kimyasal ve Mikrobiyolojik Özellikleri

Boza, çeşitli tahılların fermantasyonu sonucu elde edilen, kış aylarında popüler olan, kendine özgü bir kokuya ve hafif ekşi bir tada sahip, besleyici bir

içecektir. İçeriğinde laktik asit bakterileri ve mayalar bulunmaktadır (Kılmanoğlu vd., 2022). Tahılların kaynatılması sonucu elde edilen mayşe adı verilen ham bozanın, kuru madde miktarı daha düşük bir içeriğe sahiptir. Uzun süreli kaynatma işlemi, hammaddenin kimyasal ve fiziksel yapısında değişikliklere yol açmaktadır. Bu süreçte kuru madde miktarı %6-13 oranında azalırken, kül ve diğer bileşenlerde bir değişiklik olmamaktadır (Birer, 1987). Boza üretiminde belirli bir yöntem veya kültür eklemesi olmaması, farklı sıcaklık ve sürelerin uygulanması gibi faktörler, boza örneklerinin fizikokimyasal ve mikrobiyolojik içeriklerinde farklılıklar oluşmasına neden olmaktadır (Atabay, 2023).

Fermantasyon ürünlerinden olan laktik asit ve CO<sub>2</sub> bozaya lezzet ve rahatlatıcı bir özellik kazandırmaktadır (Levent ve Cavuldak, 2017). Boza fermantasyonunda laktik asit bakterileri (LAB) ve mayalar homofermantatif ve heterofermantatif özellikte olup heterojen boza mikroflorasını oluşturmaktadırlar (Atabay, 2023). Bozada, LAB patojenik bakterilerin büyümesini engelleyerek mikrobiyolojik hasarı önler ve aroma bileşenlerinin oluşumunda kilit bir rol oynamaktadır (Todorov ve Dicks, 2006). Boza mikroflorasındaki çeşitlilik, kullanılan farklı hammaddeler, üretim teknikleri ve depolama koşullarındaki değişkenliklerden kaynaklanmaktadır (Kavruk vd., 2021). Bozanın viskozitesi ve kuru madde içeriği, kullanılan hammaddelerin özelliklerine bağlıdır. Özellikle tahıl irmikleri ve unlarındaki kepek parçacıkları, bozanın viskozitesinde önemli bir artışa yol açabilmektedir (Songür vd., 2016). Kullanılan tahıl çeşitleri, oranları ve fermantasyon koşullarının kontrolsüz olması, bozanın bileşiminde çeşitliliklere neden olabilmektedir (Levent ve Cavuldak, 2017).

Bakteri ve maya popülasyonlarındaki değişikliklerin, boza üretiminin tüm işlem basamakları için değişebileceği bildirilmiştir. En uygun başlangıç kültür kombinasyonu olarak *S. cerevisia*, *L. mesenteroides subsp. mesenteroides*, *L. confuses*, *L. acidophilus* ve *L. casei Shirota*'nın birlikte kullanıldığı fermantasyon işlemi kabul edilebilir bir boza üretimi sağlamaktadır (Atabay, 2023). Ayrıca boza da bulunan *Lactobacillus pentosus*, *Lb. paracasei*, *Lb. plantarum*, *Lb. rhamnosus* ve *Lb. brevis probiyotik* özellik gösterdiği ve *Lb. pentosus*'un bakteriyosin üreticisi olduğu da ortaya konulmuştur (Kavruk vd., 2021).

### **4.3. Bozanın Sağlık Üzerine Etkileri**

Teknoloji ilerledikçe, insanlar daha kaliteli ve sağlıklı gıda tüketme eğilimindedir. Fonksiyonel gıdalar, yaşam süresini uzatma, sağlığı koruma ve iyileştirme potansiyeli nedeniyle popüler hale gelmiştir (Kılmanoğlu vd., 2022). Fermente ürünler, sağlık yararlarının yanı sıra, besin değerini artırma

ve bağımsızlık sistemini destekleme gibi çeşitli olumlu etkilere sahiptir (Sağlam vd., 2018). Fermentasyon süreci, gıdanın işlevsel niteliklerini güçlendirir. Bu süreç, gıdaların tat, koku ve görünüm gibi algılanabilir özelliklerini, protein ve karbonhidratların sindirilebilirliğini, vitamin ve minerallerin biyoyararlılığını artırmaktadır (Ertaş vd., 2019). Boza, tahıl fermentasyonu sonucu elde edilen bir içecektir ve tahılın doğal florasında bulunan bazı probiyotik mikroorganizmalar nedeniyle fonksiyonel içecekler kategorisine dahil edilmektedir (Karakurt, 2021). Dünya genelindeki tüm kültürler, çeşitli fermente gıdaları tüketmektedir. Boza, bu kategoriye dahil olan, maya ve laktik asit bakterileri tarafından fermente edilen ve yüksek viskoziteye sahip bir tahıl içeceğidir (Ayar vd., 2023).

Boza, insan sağlığına birçok fayda sağlamaktadır. Fermentasyon süreci, gıdanın miktarını ve biyoyararlılığını artırmaktadır, ayrıca ürünün tat ve sindirilebilirliği üzerinde de olumlu etkileri olduğu bilinmektedir (Arıcı ve Dağlıoğlu, 2002). Tahıllar hem ucuz ve erişilebilir olmaları hem de prebiyotik bileşenler içermeleri nedeniyle, probiyotik gıdaların oluşumu için mükemmel bir kaynaktır. Bu bağlamda, tahıl bazlı bir probiyotik gıda olan bozanın üretimi ve tüketimi, halk sağlığı ve beslenme açısından büyük önem taşımaktadır (Songür vd., 2016). Probiyotik gıdaların alımı, bağırsak mikrobiyotasını düzenleyerek insan sağlığı ve gelişimine katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, bu mikrobiyotanın beyin gelişimi ve psikolojik durum üzerinde de etkileri mevcuttur (Kavruk vd., 2021). Boza, içerdiği laktik asit sayesinde sindirim sistemine yardımcı olmakta ve bağırsak florasını düzenlemektedir. Ayrıca, düşük pH değerlerinde bakteri oluşumunu önlemektedir (Karakurt, 2021). Boza, içeriğinde bulunan zengin yağ, protein, karbonhidrat, lif, vitaminler, amino asitler ve laktik asit içermesi sebebiyle sağlıklı ve besleyici bir içecektir (Ayar vd., 2023). Boza, yaklaşık 1000 kcal/lt enerji içerdiği için, fiziksel aktivite gerektiren işlerde çalışanlar ve yüksek kalorili diyetlere ihtiyaç duyanlar için ideal bir fermente içecek olmaktadır. (Songür vd., 2016). Boza besleyici içeriği nedeniyle, sporculara, hamile ve emziren kadınlara da önerilmektedir (Bayram 2005).

## 5. Sonuç

Fermentasyon, gıdaların korunması açısından oldukça önemlidir. Fermentasyon sayesinde gıdalar sağlık açısından daha yararlı ve daha az mikrobiyolojik risk taşıyan ve daha farklı lezzete sahip ürünlere dönüşmektedir. Türkiye’de farklı üniversitelerde yürütülen tezler incelendiğinde, “Ulusal Tez Merkezi” verilerine göre; Kefir kelimesi içeren 218 adet, boza kelimesi içeren 69 adet ve kimiz kelimesi içeren 10 adet tez tespit edilmiştir. Yapılan tezler yeni

ürün geliştirme (ekmek, dondurma, kek vb.), kimyasal, besleyici ve duyuşal özelliklerinin tespit edilmesi, tüketici alışkanlıkları, sağlık özellikleri üzerine yapılan araştırmaları içermektedir. Son dönemlerde fermente gıdaların ulusal diyet önerilerine dahil edilmesi gerektiği ile ilgili çalışmalar yürütölmektedir. Bu gelişmeler fermente gıdaların insan sağlığı açısından önemini ortaya koymakta ve kullanımı açısından teşvik edilmesi gerektiğini göstermektedir.

### Kaynakça

Akay Yüce, M. (2022). Kefir tanelerinden izole edilen bazı mikroorganizmaların probiyotik özelliklerinin in vitro karakterizasyonu (*Yüksek Lisans Tezi*). Ege Üniversitesi, İzmir.

Akçelik, N. & Akçelik, M. (2019). Gıda Fermantasyonlarında Rol Oynayan Mikroorganizmalar, R. E. Anlı, P. Şanlıbaba İçinde, *Fermente Gıdalar* (233-249) Ankara: Nobel.

Arıcı, M. & Dağlıoğlu, O. (2002). Boza: A lactic acid fermented cereal beverage as a traditional Turkish food. *Food Review International*, 18, 39-48.

Atabay, S. (2023). *Farklı tahıl çeşitlerinden endüstriyel olarak üretilmiş bozaların fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van.

Ayar, B., B., Gümüő, T., Altan Kamer, D., D. & Karadaő, Ö. (2023). Fermente bir içecek olan bozanın dondurmanın bazı kalite özelliklerine etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 47-59.

Bayram, B. (2005). *Laktik asit bakterilerinin sakkaroz parçalama aktivitelerinin bozada incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Birer, S. (1987). Boza yapımı ve özellikleri. *Gıda*, 12(5).

Çelik Kiş, Ş. (2023). *Farklı süt kaynaklarından elde edilen kefirlerin duyuşal analiz yöntemi ile incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Topkapı Üniversitesi, İstanbul.

Çınar, İ. & Dayısoylu, K. S. (2005). Sağlık ve beslenmede sinbiyotikler. *Gıda*, 30(4), 239-244.

Demirkol, O. (2015). Fermentasyon Teknolojisi, F. Durlu Özkaya, S. Coşansu, K, Ayhan İçinde, *Her Yönüyle Gıda* (187-203) İzmir: Sidas Medya Ltd. Şti.

Doğan, M. & Özaltın, E. (2022). Bozanın Türk gastronomisindeki yeri ve önemi: Geleneksel boza üreticileri üzerine bir araştırma. *Uluslararası Türk Dünyası Turizm Araştırmaları Dergisi*, 7(2) , 1-13.

Durlu Özkaya, F. (2015). Süt ve Süt Ürünleri Teknolojisi, F. Durlu Özkaya, S. Coşansu, K. Ayhan İçinde, *Her Yönüyle Gıda* (39-82) İzmir: Sidas Medya Ltd. Şti.

Esmek, E., M. & Güzeler N. (2015). Kefir ve kefir kullanılarak yapılan bazı ürünler. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 19(4), 250-258.

Feyiz, F. (2021). Osmanlı şehir mekânlarına bir örnek: Bozahaneler. *Uluslararası Ekonomi Siyaset İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi*, 4(1), 1-9.

Gülmez, C. (2018). *Tümöre yatkın mikro çevrede, kanser sinyal yolları ile ilişkili sirt2 ve sirt3 proteinleri ve e-kaderin,  $\beta$ -katenin yüzey adezyon moleküllerinin ekspresyonu ile oksidatif stres üzerine kırmızın etkisinin araştırılması* (Doktora Tezi). Kafkas Üniversitesi, Kars.

Gündüz, G. (2017). Mikrobiyom, kefir ve yaşlanma. *Batı Karadeniz Tıp Dergisi*, 119-124.

Güzel Seydim, Z., B. & Kök Taş, Z. (2019). Kefir, R. E. Anlı, P. Şanlıbaba İçinde, *Fermente Gıdalar* (233-249) Ankara: Nobel.

Güzel Seydim, Z., B., Kök-Taş, T., Greene, A., K. & Seydim, A., (2011). Review: Functional properties of kefir. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51: 261–268.

İgüs, E. (2016). Balkanlar'dan Anadolu'ya boza ve Türleri ile Türkiye'deki Balkan kökenli bozacılar. *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 101-111.

Karaçıl, M., Ş. & Tek, N., A. (2013). Dünyada üretilen fermente ürünler: Tarihsel süreç ve sağlık ile ilişkileri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(2), 163-174.

Karakurt, C. (2021). *Fermente içecekler boza ve kvas'ın kimyasal ve duyuşsal özelliklerinin karşılaştırmalı incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Ayvansaray Üniversitesi, İstanbul.

Kavruk, M., Yurt, M., N., Z., Taşbaşı, B., B., Acar, E., E., Soyuçok, A., Altunbaş, O., Özalp, V., C. & Sudağdan, M. (2021). Boza mikrobiyotasının fermantasyon sürecindeki değişimi. *Kocatepe Veterinary Journal*, 14(2) , 238-246.

Kılmanoğlu, H., Akbaş, M., Kumcuoğlu, S. & Tavman, Ş. (2022). The effect of the use of fresh and lyophilized boza on bread quality properties. *Gıda*, 47 (6) , 1083-1091.

Koçak, C. & Gürsel A. (1981). Kefir. *Gıda*, 6:(4), 11-14.

Koroğlu, Ö., Bakır, E., Uludağı, G., Koroğlu, S. & Dayısoylu, K., S. (2015) Kefir ve sağlık. *KSÜ Doğa Bil. Derg.*, 18(1), 26-30.



- Kurdal, E. (1993). Kımız. *Alatürk Ü. Zir. Fak. Der.*, 24(1), 233 - 225.
- Levent, H. & Algan Cavuldak, Ö. (2017). Geleneksel fermente bir içecek: Boza. *Akademik Gıda*, 15 (3), 300-307.
- Öner, Z., Karahan, A., G. & Çakmakçı, M., L. (2010). Effects of different milk types and starter cultures on kefir. *Gıda*, 35(3), 177-182.
- Sağlam, H., Öztürk, F., Yayla, F. & Uyansız, N. (2018). Kakaonun boza üretimine etkisi ve bozanın bazı özelliklerinin incelenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 22(3), 390-402.
- Songür, A., N., Çakıroğlu, F., P. & Haklı, G. (2016). From tradition to functionality: Boza. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, (4):35, 492-500.
- Tarakçı, Z., Karaağaç, M. & Çelik, Ö., F. (2015). Ordu il merkezindeki tüketicilerin fermente süt ürünleri tüketim alışkanlıkları. *Akademik Ziraat Dergisi*, 4(2), 71-80.
- Tegin, R., A, A. ve Gönülalan, Z. (2014) Bütün yönleriyle doğal fermente ürün, kımız. *MANAS Journal of Engineering*, 2(1), 23-34.
- Todorov, S., D. & Dicks, L., M., T. (2006). Screening for bacteriocin-producing lactic acid bacteria from boza, a traditional cereal beverage from Bulgaria comparison of the bacteriocins. *Process Biochemistry*, (41), 11-19.
- Tomar, O., Çağlar, A. & Akarca, G. (2017). Kefir ve sağlık açısından önemi. *AKÜ FEMÜBİD*, 17: 027202, 834-853.
- Topuz, O., K. (2005). *Farklı starter kültürler ve geleneksel kımız mayası ile üretilen kıızların özellikleri üzerine araştırmalar (Yüksek Lisans Tezi)*. Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Turgunbayer, C. & İsi, H. (2021). Kısrak sütünden şaraba eski Türk kültüründe süçig kelimesi üzerine değerlendirmeler. *Türkbilig*, (42), 79-94.
- Uymaz Tezel, B. & Şanlıbaba, P. (2019). Boza, R. E. Anlı, P. Şanlıbaba İçinde, *Fermente Gıdalar* (233-249) Ankara: Nobel.
- Üstün, Ç. (2009). Eski bir Türk içeceği: Kımız (Koumiss). *Türklük Bilimi Araştırmaları*, 247-255.
- Vefa Boza, (2023). Vefa Bozası, Erişim Tarihi: 18.11.2023, <https://vefa.com.tr/index.php?dil=tr&sayfa=anasayfa>
- Yangılar, F., Oğuzhan, P. & Çelik, P.(2013). *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 223 – 234.
- Yaygın, H. (1991). Kımızın nitelikleri ve sağlıkla ilgili özellikleri. *Gıda*, 16 (2), 111-115.
- Yaygın, H. (1996). Kımız ve kefir. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 25(1): 48-52.

## BÖLÜM XV

# ENDÜSTRİYEL TASARIMDA AHŞAP MALZEME KULLANIM ALANLARI

### *Wood Material Usage Areas in Industrial Design*

**Raşit ESEN**

*(Doç. Dr.) Karabük Üniversitesi*

*E-mail: resen@karabuk.edu.tr*

*ORCID: 0000-0003-1710-7915*

### 1. Giriş

Ahşap malzeme insanoğlu var olduğundan beri değişmeyen ve yeri doldurulamayan en önemli malzemelerden birisidir. Bu çalışmada; ahşap malzeme ve ahşap malzemeden üretilen yarı mamullerin endüstriyel tasarımda kullanım alanlarını araştırmak hedeflenmiştir. Bu amaçla endüstriyel tasarım alanlarında ürün tasarımı, uygulaması veya üretiminde kullanılan ahşap malzemelerin araştırması yapılarak çıkarımlarda bulunulmuştur.

1760-1860 yıllarında İngiltere’de sanayi devriminin başlaması ile toplumun her alanında olduğu gibi, buhar gücü ile çalışan makineleşme, makinelerin günlük hayata yerleşmesi sanat ve tasarım anlayışını da değiştirmiştir (Dilmaç 2015). Nüfus artışına bağlı olarak ortaya çıkan talep artışı, endüstriyel üretime olan gereksinim gibi gelişmeler endüstriyel ürün tasarımına olan ihtiyacı doğurmuştur. 19. yy. boyunca İngiltere’de çeşitli Tasarım Okulları (School of Design) açıldığı, 1852 sonrasında Güzel Sanatlar Okulları (School of Art) olarak yeniden isimlendirildikleri ve ardından desen derslerinin ilkokullarda ders olarak verildiği görülmektedir (Özsoy 2003).

Endüstri çok geniş bir yelpazeye sahip olan üretim alanlarının tümüdür. Endüstriyel tasarım gelişen üretim teknolojileri, insan ihtiyaçları, problem çözüm ve yöntemlerinin tümünü kapsamaktadır. Kaşıktan gözlüğe, spor aletlerinden mobilyaya, elektrikli süpürgeден çay makinesine, bisiklet ve taşıt gibi birçok

ürün endüstriyel tasarımının konusuna girmektedir (Ertaş D. G., 2018). Bu kadar geniş bir alan sahip olan endüstriyel tasarımı etkileyen en önemli faktörlerden birisi de malzeme seçimidir (Ashby ve Jhonson 2002). Malzeme seçimi sadece ürün bazında değil aynı zamanda model-prototip, maket yapımı vb. nihai son ürün aşamasına kadar geçen birçok süreç için çok önemlidir. Endüstriyel tasarımda ahşap malzeme veya ahşap malzemedan üretilen yarı mamullerin kullanımı bazen zorunluluk bazen ise kullanıcıyı etkilemeye dayalı tercih sebebi olabilmektedir.

Ahşap malzeme insanoğlunun; barınma, avlanma, ısınma, el aletleri, ulaşım gibi hayatta kalabilmek için kullandığı en temel malzemedir. Doğadan temin edilebilmesi, kolay işlenebilmesi, organik bir malzeme olması, üretim aşamasında karbon salınımı olmaması, üretim aşamasında oluşan fire ve atıkların da değerlendirilebilmesi gibi birçok üstün özelliğe sahip olan ahşap malzeme geçmişten günümüze kadar yeri doldurulamayan nadir malzemelerden bir tanesidir. Günümüzde ahşap malzeme yalnızca ham olarak değil, çeşitli işlemler uygulanarak yeni malzemeler elde edilebilmesi, dilimlenen ve öğütülen ham madde, yapıştırıcı yardımı ile farklı yenilikçi malzemelere dönüştürülebilmektedir (Özcan ve Erol 2018). Plastik, sentetik lifler, yapıştırıcı, fonksiyonel bileşikler gibi farklı malzemelerin sıcaklık ve basınç altında bir araya getirilmesi ile ahşap kompozit malzemeler elde edilmektedir. Ahşap kompozit malzemeler ahşap malzemenin bazı dezavantajlarını ortadan kaldırmakta, kullanım alanına göre daha uzun ömürlü, estetik görünüm kazandırmak, istenilen şekil ve formda üretim esnekliği kazandırmak gibi birçok avantaj sağlamaktadır.

Malzeme ve ekoloji ilişkisi, ekolojik tasarım kriterleri ile birebir uygun malzemelerin başında ahşap malzeme gelmektedir. Ahşap kendisini yenileyebilen, havayı temizleyebilen, geri dönüştürülebilir en önemli yapı malzemesidir (Bostancıoğlu ve Birer 2004). Endüstriyel tasarım ve ahşap kullanımı denilince akla ilk gelen ürün mobilyadır. Ahşap malzemenin uzun ömürlü ve estetik olması, doğal olması sayesinde çekicilik ve bütünlüştürücü yapısı ile güven duygusunu kullanıcıya hissettirmesi mobilya tasarımında benzersiz bir kullanım sunmaktadır (Namichev ve Petrovski 2019). Endüstriyel tasarımda ahşap ve ahşap türevli malzemelerin kullanımı sadece mobilya ile sınırlı kalmamaktadır. İç ve dış mekân donatı ürünleri, mutfak el aletleri, taşımacılık sektörü, ambalaj tasarımı, deniz araçları tasarımı gibi birçok büyük ölçekli veya küçük ölçekli ürünlerde geniş kullanım alanına sahiptir.

Endüstriyel tasarım alanında ve sektörel odaklı ahşap malzemelerin kullanım alanlarının belirlenmesi, kullanım alanlarında ahşap malzemenin

avantajlarını incelemek hedeflenmiştir. Ahşap malzeme veya ahşaptan üretilen yarı mamullerin ürünler arasındaki ilişkiler, ahşap malzemenin ürünlere katkıları, mukavemet, hafiflik, esneklik, sürdürülebilirlik, geri dönüşümü gibi konulara değinilmiştir. Ahşap malzemelerin kullanımı, ürün tasarımı açısından ele alınmıştır.

## 2. Yöntem

Bu çalışmada endüstriyel tasarım ile tasarımcıların faaliyet gösterdiği alanlar, bu alanlarda ürün tasarımlarında yer alan ahşap malzemelerin kullanımı, kullanılan ahşap malzemelerin sınıflandırılması literatür araştırması ve örnekler üzerinden değerlendirilmiştir. Ahşap malzemeler; masif ahşap malzeme, melamin kaplı yonga levha (Sunta-suntalam) veya melamin kaplı lif levha (MDF veya MDF lam), lamine ahşap malzeme (laminasyon), kontrplak ve ahşap kaplama (en fazla 5mm kadar) türleri üzerinden değerlendirilmiştir.

## 3. Endüstriyel Tasarım Faaliyet Alanları

Endüstriyel tasarım meslek olarak kurumsallaşması ile kendi var oluş iddiasını, insan ihtiyaç ve isteklerini tatmin eden nesnelere yaratarak yaşam kalitesini artırmak olarak ortaya koyar (Yavuz ve Güneş 2022). Seri üretim için kullanıcı ihtiyaç ve problemlerine teknik, estetik, yaratıcılık, işlevsellik, ergonomik, pazarlanabilir, sürdürülebilir açıdan yaklaşarak güncel ve geleceğe dair konuları ele alıp üretim yöntemi ve malzeme bilgisi ile çözüm üreten sektörlerle faaliyet göstermektedir. Endüstriyel tasarım teknolojik, bilimsel, ekonomik, mühendislik ve mimarlık gibi birçok alanın değişmesi ve gelişmesinden doğrudan etkilenmektedir. Bu gelişmeler doğrultusunda kullanıcı ihtiyaç ve talepleri değişkenlik göstermesi ile endüstriyel tasarım alanı kullanıcı-ürün-çevre odaklı ürün tasarımı yaparken günümüzde sistem, deneyim, kullanıcının kendisini tasarım dahil etme, kişiselleştirilebilir tasarım, ürün stant veya tanıtım ürünleri gibi çok geniş bir yelpazede varlık göstermektedir. Bu geniş alana sahip olan disiplini belirli bir çerçeveye sığdırmak ya da sınırlandırmak mümkün değildir. Ülkemiz endüstrisinde tasarımcıların çalıştığı sektör, ulusal ve uluslararası ödül sistemlerine göre sektörel sınıflandırma Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Endüstriyel Tasarım Faaliyet Gösterdiği Sektörler (Hasdoğan 2007)

Ana sınıf	2003-06 ETMK Sergi kataloglarındaki Tasarımlar		2000-02 Tescilli Tasarımlar		Sektörde Çalışan Tasarımcılar		Tasarım Faaliyet Yapan Firmalar	
	Sayı	%	Sayı	%	Sayı	%	Sayı	%
Ambalaj	9	5.26	1865	13.2	12	4.44	25	6.53
Aydınlatma	11	6.43	169	1.2	7	2.59	19	4.96
Elektronik ürünler	11	6.43	215	1.52	32	11.9	12	3.13
Ev cihazları	9	5.26	309	2.19	21	7.78	14	3.66
Ev ve ofis gereçleri	45	26.3	2414	17.1	13	4.81	25	6.53
Kamusal ve ticari	0	0	331	2.34	23	8.52	46	12
Kişisel ürünler	12	7.02	1447	10.3	18	6.67	24	6.27
Mobilya	31	18.1	3225	22.8	73	27	102	26.6
Spor, hobi, oyun	11	6.43	473	3.35	2	0.74	12	3.13
Ulaşım ve taşıma	6	3.51	425	3.01	25	9.26	40	10.4
Yapı gereçleri	21	12.3	2720	19.3	37	13.7	41	10.7
Yatırım ürünleri	5	2.92	530	3.75	7	2.59	23	6.01
Toplam	171		14,123		270		383	

Hasdoğan (2007) yaptığı araştırmada; Endüstriyel Tasarım Meslek Kuruluşu tarafından yapılan sergiler, tescil edilen tasarımlar, sektörde üretilen tasarım ürünlerinin nicelikleri ile ilgili araştırma yapmıştır. Araştırma sonucunda nitelikli başvurulara, sektörlerin yerelde ve uluslararası anlaşılabilir olması göz önüne alınarak ana sınıflandırmalar oluşturulduğu belirtilmiştir. Bu sektörel sınıflandırmadaki alanlarda uygulanan ürünlerin analizleri yapılarak kullanılan ahşap malzemeler analiz edilmiştir.

#### 4. Sektörel Alanlara Göre Endüstriyel Tasarım Ürünlerinde Ahşap Malzeme Kullanımı

Endüstriyel tasarım alanındaki ana sınıflandırmada malzeme tercihi ve seçimi kullanıcıyı etkilediği gibi tasarım sürecini de etkilemektedir. Arman (2023) CMF (Color, Material, Finish) etkisi ve dokunsallık, yüzeylerin niteliği ve malzeme özelliğinin dokunma yoluyla zihnimizde bıraktığı duyuşsal hissi ifade ettiğini belirtmiştir. Ürünün fiziksel niteliklerini algılamamızı, geçmiş deneyimlerimizle ilişkilendirerek anlamlandırmamızı sağlar. Bu unsurları tasarıma dahil etmek, kullanıcı için daha ilgi çekici ve akılda kalıcı bir deneyim

yaratılabileceğini aktarmıştır. Ayrıca bir ürünün malzeme seçimi, ürünün işlevselliği, kullanım alanı ve koşullarına göre belirlendiğini ifade etmiştir (Arman 2023).

#### 4.1. Ambalaj

Ürünleri korumak, sunmak, taşımak amacıyla kullanılan ürünlerin tamamına ambalaj denir. Bu ürünler karton, cam, plastik, metal, ağaç gibi malzemelerden olabileceği gibi farklı türden malzemelerden de tasarlanıp üretilmektedir. Temel hedef, içindeki ürün veya ürünlerin dış etkenlerden zarar görmesini engellemek, hijyenik koşullarda saklanmasını veya taşınmasını sağlamaktadır. Ayrıca ambalaj; içindeki ürün ile alakalı bilgi verebilir veya kullanıcıya sunum, sergileme, tüketicinin doğru ürünü tercih etmesi gibi özel anlamlar içerebilir. Ahşap malzeme kullanılarak tasarlanan veya üretilen ambalaj örnekleri tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Ambalaj Ürünlerinde Kullanılan Ahşap Malzeme Analizi

Örnekler ve Kullanılan Malzeme Türleri					
Uygulama	M. A.M.	M.K. YL M.K.LL.	L. A. M.	A. K.	Kaplama
Ambalaj veya Taşıma					

*M.A.M: Masif Ahşap Malzeme, M.K. YL: Melamin Kaplı Yonga Levha, M.K.L.L: Melamin Kaplı Lif Levha, L.A.M: Lamine Ahşap Malzeme, A.K: Ahşap Kontrplak.*

Tablo 2’de verilen bazı örneklerde masif ahşap malzeme, lif levha, lamine ahşap malzeme, kontrplak ve kaplama ahşap malzeme türlerinin tamamı ambalaj tasarımı ve üretimi uygulamalarında kullanılmaktadır.

#### 4.2. Aydınlatma

Işık yüzbinlerce yıldır canlıların hayatını etkileyen en önemli unsurlardan birisi olmuştur. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak ışığın form değiştirmesi, kullanılan kaynağın üretim veya kullanım şekli değişse de kullanım temeline bakıldığında aynı olarak kalmıştır. Endüstriyel tasarım bağlamında iç ve dış

mekân aydınlatması olarak konu ele alınmıştır. İç mekân aydınlatmalarında kullanılan ahşap malzeme örnekleri ve analizi Tablo 3’te verilmiştir.

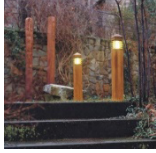

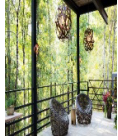



**Tablo 3.** İç Mekân Aydınlatmada Kullanılan Ahşap Malzeme Analizi

Örnekler ve Kullanılan Malzeme Türleri					
Uygulama	M. A.M.	M.K. YL M.K.LL.	L. A. M.	A. K.	Kaplama
Tavan	 (Tacer 2023)	 (Kozaydınlatma 2023)	 Tannlamp (2023)	 Kazanes (2023)	 Wescover (2023)
Duvar	 (İnce 2023)	 (Işıklı 2023)	 (Youtube 2023)	 (Pamono 2023)	 (Etsy 2023)
Zemin Üstü	 (Atölye 2023)	 (Çiçeksepeti 2023)	 (Lightingcollective 2023)	 (Etsy 2023 a)	 (Kuntsbaron 2023)

*M.A.M: Masif Ahşap Malzeme, M.K. YL: Melamin Kaplı Yonga Levha, M.K.L.L: Melamin Kaplı Lif Levha, L.A.M: Lamine Ahşap Malzeme, A.K: Ahşap Kontrplak.*

İç mekân aydınlatma türleri gelişen üretim ve çeşitli aydınlatma teknolojileri ile mekanların birçok alanında kullanıcı ihtiyaçlarına, zevklerine veya mecburiyete dayalı uygulamalar yapılmaktadır. Tablo 3’te temel aydınlatma ürünleri, temel ihtiyaçlar doğrultusunda tavan, duvar ve belirli zemin üzerine yerleştirilen aydınlatma başlıkları altında incelenmiştir. 3 alana uygulanan iç mekân aydınlatma ürünlerinde de masif, yonga levha veya lif levhalar, lamine ahşap malzeme, kontrplak ve kaplama türlerinin yoğun şekilde kullanıldığı tespit edilmiştir. Dış mekân aydınlatma ürünlerinde ahşap malzemenin kullanımı Tablo 4’te verilmiştir.

**Tablo 4.** Dış Mekân Aydınlatma Ürünlerinde Ahşap Malzeme Kullanım Analizi

Örnekler ve Kullanılan Malzeme Türleri					
Uygulama	M. A.M.	M.K. YL M.K.LL.	L. A. M.	A. K.	Kaplama
Zemin Üstü	 Hedef (2023)		 Thelightyard 2023)		 (Armut 2023)
Üstü Kapalı Mekân	 (Gazikuluçka 2023)				
Aydınlatma Bileşeni					

*M.A.M: Masif Ahşap Malzeme, M.K. YL: Melamin Kaplı Yonga Levha, M.K.L.L: Melamin Kaplı Lif Levha, L.A.M: Lamine Ahşap Malzeme, A.K: Ahşap Kontrplak.*

Uygulama yapılan veya satışı yapılan ürünler tablo 4’te incelendiğinde; dış mekân aydınlatma ürünü için kullanılan ürünlerin büyük bir çoğunluğu ahşap masif malzemedен üretilmiş ve tasarlanmıştır. Melamin kaplı yonga levha (Sunta) veya Lif levha (MDF) tercih edilmediği görülmüştür. Dış ortamda maruz kalacağı yağmur, kar, nem, güneş etkileri bu levhaları kısa sürede etkileyebileceği için kullanılmadığı sonucuna varılmıştır. Laminasyon teknolojisi ile üretilen ahşap lamine malzemelerin tanınırlığı ve üretim esnekliği ile dış mekanlarda ürün tasarımında kullanıldığı görülmektedir. Kontrplak ve ahşap kaplamaların dış mekânda direkt etkilere maruz kalmaması için üstü kapalı etrafı açık veranda gibi mekanlarda tercih edildiği görülmektedir.









### 4.3. Elektronik Ürünler

Elektrik veya elektronik bileşenlerin kullanıldığı bir cihaz veya ekipmanların tümüne elektronik ürün denilebilir. Bu ürünler genelde elektrik



enerjisi kullanılarak işlevlerini yerine getirebilmektedir. Elektronik ürün denildiğinde ilk akla gelen teknolojik ürünler olmaktadır. Ancak teknolojik ürünler genellikle yeni ve gelişmiş özelliklere sahip ve kullanıcıya daha fazla işlevsellik ve imkân tanıyan ürünlerdir. Elektronik veya teknolojik ürünlerin bazen bileşenlerinde, bazen zorunluluk, dış kabuk veya kasa tasarımı gibi birçok alanda ahşap malzeme veya ahşaptan elde edilen yarı mamuller kullanıldığı görülmektedir. Yapılan araştırma sonucunda elektronik ürünlerde kullanılan ahşap malzeme örnekleri tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5.** Elektronik Ürünlerde Ahşap Malzeme Kullanım Analizi

Örnekler ve Kullanılan Malzeme Türleri					
Uygulama	M. A.M.	M.K. YL M.K.LL	L. A. M.	A. K.	Kaplama
Kabuk veya Dış Tasarım	 (Desingfloor 2023)		 (Probos 20223)	 (Desingfloor 2023)	 (Fastcompany 2023)
Bileşen	 (Rdreletronik 2023)		 (Fruugo 2023)		 (Computerworld 2023)

*M.A.M: Masif Ahşap Malzeme, M.K. YL: Melamin Kaplı Yonga Levha, M.K.L.L: Melamin Kaplı Lif Levha, L.A.M: Lamine Ahşap Malzeme, A.K: Ahşap Kontrplak.*

Üretimi gerçekleştirilen veya uygulama alanlarına göre tespit edilen bazı elektronik ürünlerde ahşap malzemenin kullanımı araştırılmıştır (Tablo 5). Özel ürün tasarımlarında elektronik ev aletlerinde dış kabuk tasarımı, bazı elektrikli aletlerin tutma yerleri, stantlarda veya dış yüzey kaplamalarında masif ahşap malzeme, kontrplak, melamin kaplamalı yonga levha gibi malzemelerin tamamının kullanıldığı görülmüştür.

#### 4.4. Ev ve Ofis Gereçleri

Günlük yaşam içinde kullanıcılar tarafından kullanılan ürün veya eşyaları ev-ofis gereçleri olarak tanımlamak mümkündür. Bu gereçler ofislerde veya

evlerde kişisel ihtiyaçlara göre değişiklik gösterebilir. Tablo 6’da ev-ofis gereçlerinde kullanılan ahşap veya ahşap malzeme örnekleri verilmiştir.

**Tablo 6.** Ev ve Ofis Gereçlerinde Ahşap Malzeme Kullanım Analizi

Örnekler ve Kullanılan Malzeme Türleri					
Uygulama	M. A.M.	M.K. YL M.K.LL.	L. A. M.	A. K.	Kaplama
Ev Gereçleri	 (Monofe 2023)		 (Grandado 2023)	 (Evidea 2023)	
Ofis Gereçleri	 (Aliexpress 2023)	 (Kocak 2023)	 (Leeingho 2023)	 (Allesgo 2023)	 (Seven 2023)

*M.A.M: Masif Ahşap Malzeme, M.K. YL: Melamin Kaplı Yonga Levha, M.K.L.L.: Melamin Kaplı Lif Levha, L.A.M: Lamine Ahşap Malzeme, A.K: Ahşap Kontrplak.*

Ev ve ofis ürünlerinde ahşap malzemeden tasarlanan ve üretilen ürün örnekleri incelenmiştir (Tablo 6). Ev ve ofislerde kullanılan ürünler çok geniş yelpazeye sahiptir. Masif ahşap malzeme, melamin kaplı yonga levha ve lif levhalar, kontrplak, lamine ahşap malzemeler birçok ürün tasarımı ve uygulamalarında kullanılmıştır. Ahşap kaplamanın dayanım gücünden dolayı direkt ürün tasarımında veya uygulamasında tercih edilmemiştir. Ancak tasarlanan ürünlerin dış kaplama veya ofis gereçlerinde kapı, masa, duvar gibi ürünlerin görüntü bütünlüğü için uygulandığı görülmüştür.

#### 4.5. Kişisel Ürünler

Kişisel ürün veya ürünler, kişinin bakım veya yaşam tarzını desteklemek için kullanılan ürünler olarak tanımlanabilir. Bu ürünler genellikle kişisel hijyen, bakım, sağlık, güzellik veya rahatlama amaçlarına hizmet eden ürünler olabilir. Tasarlanan ürün kullanıcı tek kullanıcıya ait bir ürün ise kişisel ürün kategorisinde ele alınabilir. Kişisel ürün tasarımı veya uygulama alanlarında kullanılan ahşap malzeme veya örnekleri tablo 7’de verilmiştir.

**Tablo 7.** Kişisel Ürünlerde Ahşap Malzeme Kullanım Analizi






Örnekler ve Kullanılan Malzeme Türleri					
Uygulama	M. A.M.	M.K. YL M.K.LL.	L. A. M.	A. K.	Kaplama
Kişisel Ürünler					
					

*M.A.M: Masif Ahşap Malzeme, M.K. YL: Melamin Kaplı Yonga Levha, M.K.LL: Melamin Kaplı Lif Levha, L.A.M: Lamine Ahşap Malzeme, A.K: Ahşap Kontrplak.*

#### 4.6. Mobilya

İç ve dış mekanlarda yaşam alanlarının düzenlenmesi ve bu alanlarda kullanılan ürünlerin tamamına mobilya adı verilmektedir. Oturma, yemek yeme, uyuma, dinlenme, çalışma, depolama gibi farklı amaçları gerçekleştirmek için tasarlanan ürünlerin bütünüdür. Mobilyalar, eylem veya amaçlardan bağımsız olarak mekanlarda yaşam tarzı, kullanıcı tercihine bağlı olarak dekoratif amaçla kullanılabilir. Günlük yaşantımızın vazgeçilmez ürünleri arasında olan mobilya tasarımında ilk akla gelen malzemelerin başında ahşap gelmektedir. Mobilya tasarımı ve uygulama alanları için örnekler aşağıda verilmiştir (Tablo 8).

**Tablo 8.** Mobilyada Ahşap Malzeme Kullanım Analizi

Örnekler ve Kullanılan Malzeme Türleri					
Uygulama	M. A.M.	M.K. YL M.K.LL.	L. A. M.	A. K.	Kaplama
Ürün veya Bileşenleri	 (Greenwood 2023)	 (Elnaz 2023)	 (Birmilyon 2023)	 (Ege 2023)	 (Türkiz 2023)








*M.A.M: Masif Ahşap Malzeme, M.K. YL: Melamin Kaplı Yonga Levha, M.K.LL: Melamin Kaplı Lif Levha, L.A.M: Lamine Ahşap Malzeme, A.K: Ahşap Kontrplak.*

Mobilya tasarımı, üretimi, üretim kolaylığı ve sürdürülebilir çevre dostu olan ahşap malzemenin kullanımı büyük anlam ifade etmektedir. Tablo 8’deki sınırlı örnekler üzerinde de görüldüğü gibi ahşap malzeme ve ahşap malzemeden elde edilen yarı mamullerin tamamı mobilya tasarımı ve üretiminde kullanılabilir.

#### 4.7. Spor, Hobi, Oyun

Belirli kurallar ve tekniğe dayalı olarak insanların eğlenme, yarışma veya bedensel gelişimi için yapılan aktiviteler spor olarak tanımlanabilir. Spor ekipmanları, giysiler, sporcuların amaçlarına yönelik ekipman tasarımları endüstriyel tasarım ile ele alınabilir. Kullanıcıların profesyonel meslekleri dışında keyif aldıkları, boş zamanlarını değerlendirdikleri, kendilerini geliştirmek istedikleri aktiviteler “hobi” olarak ifade edilebilir. Eğlence araçlarının tümüne oyun, oyunun oynandığı ürüne ise oyuncak adı verilmektedir. Spor, hobi ve oyun araçlarının tasarımında ahşap malzeme kullanımı tablo 9’da verilmiştir.

**Tablo 9.** Spor, Hobi ve Oyun Araçları Ürünlerinde Ahşap Malzeme Kullanım Analizi

Örnekler ve Kullanılan Malzeme Türleri					
Uygulama	M. A.M.	M.K. YL M.K.LL.	L. A. M.	A. K.	Kaplama
Spor	 (Woodsman 2023)	 (Duyumarket 2023)	 (Cocoshmama 2023)	 (Cocoshmama 2023)	
Hobi Oyun					

*M.A.M: Masif Ahşap Malzeme, M.K. YL: Melamin Kaplı Yonga Levha, M.K.L.L: Melamin Kaplı Lif Levha, L.A.M: Lamine Ahşap Malzeme, A.K: Ahşap Kontrplak.*

Spor aletleri, hobi veya oyun ürünleri tasarımında ahşap malzeme ve ahşaptan üretilen yarı mamullerin tasarım-üretim aşamasında tercih edildiği görülmektedir (Tablo 9). Spor aletlerinin tasarımı veya üretiminde kaplama ahşap malzemenin dayanıksızlığı sebebi ile tercih edilmediği düşünülmektedir.

#### 4.8. Ulaşım ve Taşıma

Kullanıcıların bir yerden başka bir yere ulaşmak için kullandığı araçlara veya yöntemlere ulaşım denir. Bir eşya veya canlıyı bir noktadan alıp başka noktaya götürme eylemine taşıma denebilir. Taşıma ve ulaşım birbiri ile yakın ilişki içindedir. Endüstriyel tasarım, taşıma sistemi, sistem içindeki araçlar ile yakından ilgilenmektedir. Ulaşım ve taşıma konusunda yapılan bazı endüstriyel tasarım ürünlerinin ahşap malzeme ile olan ilişki analizi tablo 10’da verilmiştir.

**Tablo 10.** Ulaşım ve Taşımada Ahşap Malzeme Kullanım Analizi






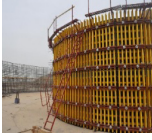


Örnekler ve Kullanılan Malzeme Türleri					
Uygulama	M. A.M.	M.K. YL M.K.L.L.	L. A. M.	A. K.	Kaplama
Araç veya Araç Parçaları	 (Mimarizm 2023)	 (Amazon 2023)	 (Dezeen 2023)	 (İnditoys 2023)	 (Funon 2023)

*M.A.M: Masif Ahşap Malzeme, M.K. YL: Melamin Kaplı Yonga Levha, M.K.L.L: Melamin Kaplı Lif Levha, L.A.M: Lamine Ahşap Malzeme, A.K: Ahşap Kontrplak.*

#### 4.9. Yapı Gereçleri

İnşaat, tamir bakım malzemeleri, el aletleri, elektrikli el aletleri, yapı levhaları, merdiven veya geçiş üniteleri gibi yapılarda kullanılan malzeme ve ürünlerin tamamına yapı gereçleri adı verilmektedir. Ev, bina kamusal alan inşaatları, alt yapı onarım bakım işlerinin tamamında kullanılan ürünleri kapsadığı gibi, canlıların barınma, yaşamlarını sürdürme için gereken yapıları oluşturan ürünler de yapı gereçleri içinde ele alınmaktadır. Yapı gereçlerinde kullanılan bazı ürünler ve ahşap malzeme kullanımı tablo 11’de verilmiştir.

**Tablo 11.** Yapı Gereçlerinde Ahşap Malzeme Kullanım Analizi

Örnekler ve Kullanılan Malzeme Türleri					
Uygulama	M. A.M.	M.K. YL M.K.LL.	L. A. M.	A. K.	Kaplama
Yapı					
Yapı Gereci					

*M.A.M: Masif Ahşap Malzeme, M.K. YL: Melamin Kaplı Yonga Levha, M.K.L.L.: Melamin Kaplı Lif Levha, L.A.M: Lamine Ahşap Malzeme, A.K: Ahşap Kontrplak.*

Masif ahşap malzeme ev, bina yapımında ve iş aletlerinin sap kısımlarında kullanımı en eski çağlardan beri kullanılmaktadır (Tablo 10). Yarı mamul olarak üretilen yonga levha, lif levha, suya ve neme dayanıklı olarak özel üretim yonga levhalar ile inşaat alanında kalıp uygulamalarında tercih edilmektedir. İç mekân veya kötü hava şartları ile direkt temas etmeyen hayvan evleri yapımında da yonga levha, lif levha, kaplamalı yonga-lif levha uygulamaları oldukça yaygındır. Laminasyon teknolojilerinin gelişmesi ile yapı tasarım uygulamalarında, kesici aletlerin saplarında, çeşitli elektronik veya el aletlerinin sap kısımlarında uzun ömürlü ve estetik olması ile lamine edilmiş ahşap tercih edilmektedir. Aynı zamanda ev hayvanlarının eğlence araçlarında, ev içi barınma ürünlerinin tasarım ve üretimlerinde kontrplak malzemelerden üretilen ürün uygulamaları mevcuttur.

## 5. Sonuç

Doğal bir kaynak olan ahşap malzeme, enerji yoğunluğu olmadan işlenebilmesi, sürdürülebilir çevre dostu malzeme olması, kimyasal veya sentetik bileşenler içermemesi, sıcak bir görüntü ve estetik işlemlerin uygulanabilmesi, farklı boyutlar ve şekillerde üretilebilmesi gibi avantajlarından dolayı tüm alanlarda tercih edilen malzeme olmuştur.

Gelişen teknolojik ve üretim teknoloji, maliyetler ve ekolojik sistem veya zorunluluklar dikkate alınarak ahşap malzemeye alternatif ahşap malzemeden

üretilen yonga levha, lif levha, kontrplak, lamine ahşap, ahşap kaplama gibi başlıca yarı mamuller üretilmiştir. Bu yarı mamuller veya masif ahşap malzemenin endüstriyel tasarım uygulamalarında kullanım amaçları incelendiğinde;

1. Endüstriyel tasarım süreci içinde model-prototip yaparken kullanılan masif ahşap, kontrplak, yonga ve lif levhalar, bazen ürünün prototipi bazen ise ürün için kalıp ya da kılavuz olarak tercih edilebilmektedir.

2. Ürün tasarımında son kullanıcıyı etkileme çabası, son zamanların doğal, sürdürülebilir veya geri dönüştürülebilir malzemelerden tasarım ve üretim yapma kaygıları, ham masif ahşap malzeme kullanımını arttırmaktadır. Özellikle çocuk oyuncakları, organik yiyecek ambalajları gibi insan sağlığı için önemli noktalarda tercih sebebi olmaktadır.

3. Ürün tasarımı veya üretilen son ürünlerin sektörlere bakıldığında, ambalaj, iç mekân aydınlatma, ev ve ofis gereçleri, kişisel ürünler, mobilya, spor-hobi, oyun-oyuncak ulaşım ve taşıma ürünlerinin tasarımı ve üretiminde masif ahşap, yonga levha-lif levha (Sunta-MDF), melamin kaplı yonga levha-melamin kaplı yonga levha (Suntalam-MDF lam), Lamine ahşap malzeme (Laminasyon), kontrplak, ahşap kaplama (max:5mm) malzemelerinin tercih edildiği belirlenmiştir.

4. Dış mekân aydınlatma ürünlerinde, masif ahşap malzeme, lamine ahşap malzeme, tasarım ve üretim açısından esneklik sağlaması, dış ortamdan etkilenmemesi için gerekli işlemlerin yapılabilir olması gibi avantajlardan dolayı tercih edildiği düşünülmektedir. Yonga levha-lif levha, kontrplak veya kaplama ahşap malzemelerin tasarım ve üretim örneklerine rastlanamamıştır. Dış ortam şartlarına uygun olmayan bu malzemelerin, koruyucu veya kaplayıcı ürünler kullanılarak uygun hale getirilebilir.

5. Yapı gereçleri sektöründe ahşap kaplama dışındaki ahşap malzeme ve yarı mamullerden üretilen malzemeler tercih edilmektedir. Ahşap kaplamaların ince ve mukavemet özelliği bulunmaması, dış ortamdan direkt etkilenebilmesinden dolayı yapı gereçlerinde kullanımı sınırlandırmaktadır.

6. Elektronik ürünlerin tasarım ve uygulamalarında bazı ürünlerin kasaları, taşıyıcıları, bazı elektrik iletkenliği istenen kullanıcı ile etkileşimde olan bileşenleri masif ahşap malzeme veya ahşaptan üretilen kompozit malzemelerden üretilmektedir. Son yıllarda kişisel elektronik ürünü olan bazı firmalar ahşap kaplama, ahşap görünümlü veya ahşap bileşenler kullanarak kullanıcıyı etkiledikleri görülmektedir.

7. Araç iç mekân tasarımı, fuar ve tanıtım stantları, hava aracı veya deniz aracı iç mekân tasarımları, askeri silah ve savunma sanayi bileşenleri, müzik

aletleri, Şehir donatıları, oyun-oyuncak, kamusal i ve dış mekanlar, iş yeri iç mekân ve donatı tasarımları gibi birçok konuda aĖŐap malzeme veya aĖŐap esaslı ürünler kullanılabilmektedir. Endüstriyel tasarım alanı gibi çok geniş alanda tasarım, üretim, uygulama alanlarının tamamında kullanılan aĖŐap malzemenin önemi çok büyüktür.

Sonuç olarak değişen yaşam biçimleri veya kullanıcı gereksinimleri, endüstrideki üretim teknolojilerin gelişmesi ile ürün tasarımlarında zaman zaman zorunluluk, bazen ise kullanıcıyı etkileme giriŐimleri aĖŐap malzemenin kullanımı etkilemektedir.

### Kaynakça

Aliexpress (2023), Ekim 2023 tarihinden alışveriş sitesi: [https://tr.aliexpress.com/w/wholesale-Wooden-3-Compartment-Office.html?aff\\_fcid=c3cea065d68a460db677738443327a67-1699428085696-03048-\\_olJ6bwr&tt=API&aff\\_fsk=\\_olJ6bwr&aff\\_platform=api-new-link-generate&sk=\\_olJ6bwr&aff\\_trace\\_key=c3cea065d68a460db677738443327a67-1699428085696-03048-\\_olJ6bwr&dp=7-2774&terminal\\_id=a173bfl3a8dc476e94dc42adcfb22094](https://tr.aliexpress.com/w/wholesale-Wooden-3-Compartment-Office.html?aff_fcid=c3cea065d68a460db677738443327a67-1699428085696-03048-_olJ6bwr&tt=API&aff_fsk=_olJ6bwr&aff_platform=api-new-link-generate&sk=_olJ6bwr&aff_trace_key=c3cea065d68a460db677738443327a67-1699428085696-03048-_olJ6bwr&dp=7-2774&terminal_id=a173bfl3a8dc476e94dc42adcfb22094) adresinden alındı.

Allesgo (2023), Aralık 2023 tarihinde: <https://www.allesgo.com/b2c/ahsap-masa-ustu-isimlik-seti-kisiye-ozel-5ef8524bc8352a56d3d98fb8> adresinden alındı.

Amazon (2023), Kasım 2023 sitesinde internet alışveriş sitesi: <https://www.amazon.com/ibasenice-Electronics-Automatic-Equipment-Checkerboard/dp/B0CCM88DC1> adresinden alındı.

Arman (2023), Eylöl 2023 tarihinde firma sitesi: <https://www.armantasarim.com/tasarimda-cmf-etkisi-ve-dokunsallik/>

Armut (2023), Eylöl 2023 tarihinde web sitesi: <https://blog2.armut.com/blog/dis-mekan-aydinlatmasi-icin-en-iyi-7-fikir>

Ashby M., Johnson K., (2002), ‘‘Materials and design: the art and science of material selection in product design’’, *Butterworth, Heinemann, Jordan Hill, Oxford*, 17, 22, P: 9-15.

Atölve (2023), Kasım 2023 tarihinde firma sitesi: <https://atolyestore.com/products/ahsap-dort-ayakli-lambader> adresinden alındı.

Bostancıoğlu E., Birer D. E., (2004), ‘‘Ekoloji ve aĖŐap-Türkiye’de aĖŐap malzemenin geleceği’’, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Faköltesi Dergisi*, Cilt 9, Sayı 2.



Birmilyon (2023), Eylül 2023 tarihinde: <https://birmilyonnokta.com/firmalar/has-lamine-ahsap-urunleri-san-ve-tic-ltd-sti> adresinden alındı.

Computerworld (2023), Ekim 2023 tarihinde: <https://www.computerworld.com/article/2683920/new-moto-x-leather-wood-plastic.html> adresinden alındı.

Cocoshmama (2023), Kasım 2023 tarihinde: <https://cocoshmama.com/spor-oyuncaklari> adresinden alındı.

Çiçeksepeti (2023), Eylül 2023 tarihinde internet alışveriş sitesi: <https://www.ciceksepeti.com/kahverengi-desenli-dekoratif-mdf-modern-lambader-kcm76662763> adresinden alındı.

Designfloor (2023), Kasım 2023 tarihinde firma satış sitesi: <https://designfloor.com.tr/blog/ahsap-elektronik-aletler> adresinden alındı.

Dezeen (2023), Kasım 2023 tarihinde: <https://www.dezeen.com/2015/05/15/aero-wooden-composite-bicycle-layered-lamellas-martino-hutz-atanas-zhelev-mariya-korolova/> adresinden alındı.

Dilmaç O., (2015), “Tasarım tarihi ve william morris” *İdil*, (4), 16, Sf:1-16.

Duyumarket (2023), Eylül 2023 tarihinde: <https://duyumarket.com.tr/yurume-basamaklari-4-parca-dm2439> adresinden alındı.

Egekontrplak (2023), Temmuz 2023 tarihinde: <https://egekontrplak.com/kontrplak-nedir-ve-nerelerde-kullanilir/> adresinden alındı.

Elnaz (2023), Haziran 2023 tarihinde: <https://www.ellnaz.com.tr/lucimdf-zigon-sehpa-3lu/> adresinden alındı.

Erdin N., (2003), “Ağaç malzeme kullanımı ve çevreye etkisi”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, TMH, Sayı 427/5.

Ertaş D. G., (2018), “Kompozit malzemelerin endüstri ürünleri tasarımındaki yeri”, *1st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials*, 509-510, (ISLAC’18) March, 22-24, Karabük, Turkey.

Etsy (2023’a), Ekim 2023 tarihinde ilgili firma sitesi: <https://www.etsy.com/listing/921848274/home-office-or-dorm-entryway-living-or> adresinden alındı.

Evidea (2023), Ekim 2023 firma sitesi: <https://www.evidea.com/mutfak-ahsap-mutfak-urunleri/> adresinden alındı.

Fastcompany (2023), Kasım 2023 tarihinde: <https://www.fastcompany.com/1672838/why-arent-our-gadgets-still-covered-in-wood> adresinden alındı.

Funon (2023), Ağustos 2023 tarihinde: <https://www.funon2wheels.co.uk/store1/Boardy-Premium-Kick-Scooter-Walnut-p143438209> adresinden alındı.

Fruugo (2023), Kasım 2023 tarihinde: <https://www.fruugo.co.il/%25D7%25A7%25D7%2595%25D7%259C%25D7%2591> adresinden alındı.

Gazikuluçka (2023), Eylül 2023 tarihinde firma sitesi: <https://gazikulucka.com/magaza/elektrik-avize-aydinlatma-modelleri/aydinlatma/aplik-ahsap-duvar-lambasi-ev-cafe-otel-restoran-dekor-avizesi-ceviz-renk-aydinlatma/>

Grandado (2023), Ağustos 2023 tarihinde: <https://tur.grandado.com/products/dogal-bambu-kesme-tahtasi-ahsap-mutfak-kaymaz-et-pisirme-kurulu-ev-mutfak-aletleri-dograma-yeni-sebze-bo-o2f2> adresinden alındı.

Greenwood (2023), Mayıs 2023 tarihinde: <https://greenwoodtr.com/masif-c-sehpa.html> adresinden alındı.

Hasdoğan G., (2007), “Türkiye endüstriyel tasarım markası ve ödülleri tasarımıyla ilgili sektörler hakkında durum analizi”, Endüstriyel Tasarımcılar Meslek Kuruluşu Raporu.

Hedef (2023), Kasım 2023 tarihinde firma sitesi: [https://www.hedefaydinlatma.com/dis-aydinlatma/siva-ustu/yer-tipi-aliminyum/yer-tipi-ahsap-dis-mekan-aydinlatma\\_HE-30180\\_22](https://www.hedefaydinlatma.com/dis-aydinlatma/siva-ustu/yer-tipi-aliminyum/yer-tipi-ahsap-dis-mekan-aydinlatma_HE-30180_22) adresinden alındı.

Işıklı (2023), Ekim 2023 tarihinde internet satış sitesi: <https://www.hepsiburada.com/cocuk-odasi-dekoratif-ahsap-gece-lambasi-ledli-aydinlatma-pm-HBC000022S8RA> adresinden alındı.

İnce (2023), Eylül 2023 tarihinde firma sitesi: <https://www.inctablo.com/ahsap-duvar-aydinlatma-aplik-440> adresinden alındı.

İnditoys (2023), Eylül 2023 tarihinde: <https://www.inditoys.com/RideMe-Denge-Bisikleti,PR-69.html> adresinden alındı.

Kazanes (2023), Kasım 2023 tarihinde internet satış sitesi: <https://www.trendyol.com/kazanes/viking-kozalak-avize-sarkit-avize-dogal-ahsap-avize-rustik-sik-avize-p-765024256> adresinden alındı.

Koz Aydınlatma (2023), Ekim 2023 tarihinde Koz Aydınlatma sitesi: <https://www.kozaydinlatma.com/urun/goya-26-watt-samsung-ledli-ahsap-gorunumlu-dekoratif-sarkit-linear-armatur-gy-8032-60-3000-k-gun-isigi-acik-ton-ahsap-baffle-tavan-montaj> adresinden alındı.

Kuntsbaron (2023), Ağustos 2023 tarihinde: <https://kunstbaron.de/en/table-lamp-design-desk-nightstand-nature-wood-lsax03.html> adresinden alındı.

Kupon Ahşap (2023), Temmuz 2023 tarihinde: <https://www.kuponahsap.com/urun/kisisel-bakim-kutusu/> adresinden alındı.

Koçak (2023), Ekim 2023 tarihinde: <https://kocakofisser.com.tr/> adresinden alındı.

Leeingho (2023), Eylül 2023 tarihinde: <https://leelingho.com/desk-1> adresinden alındı.

Mimarizm (2023), Temmuz 2023 tarihinde: [https://www.mimarizm.com/haberler/gundem/kestane-agacindan-elektrikli-scooter-ily-ai\\_131629](https://www.mimarizm.com/haberler/gundem/kestane-agacindan-elektrikli-scooter-ily-ai_131629) adresinden alındı.

Monofe (2023), Ağustos 2023 tarihinde: <https://www.monofe.com/urun/72668/aiuhi-ahsap-mutfak-gerecleri-seti8-parca-kahverengi.html> adresinden alındı.

Namichev P., Petrovski M., (2019), “Wood as a primary selection of material for furnitureproduction”, (JPMNT) *Journal of Process Management – New Technologies*, International, Vol. 7, No 4.

Özcan U., Erol İ., (2018), “Mimari tasarımda endüstriyel ahşap yapı elemanları” *II. Uluslararası Multidisipliner Akademik Çalışmalar Sempozyumu*, İstanbul/Türkiye.

Özsoy V., (2003), “Görsel sanatlar eğitimi; resim-iş eğitiminin tarihsel ve düşünsel temelleri”, *Gündüz Eğitim ve Yayıncılık*, Ankara, sf: 62.

Pamono (2023), Ağustos 2023 tarihinde firma sitesi: <https://www.pamono.com/plywood-metal-wall-lights-by-louis-c-kalff-for-philips-1950s-set-of-2> adresinden alındı.

Probospromotions (2023), Kasım 2023 tarihinde: <https://www.probspromotions.com/products/charging-cable-nuskir-tps-1977?formtype=samplerequest> adresinden alındı.

Rdrelektronik (2023), Eylül 2023 tarihinde firma sitesi: <https://www.rdrelektronik.com/rdr.asp?page=rdr-75-watt-agac-ahsap-yakma-havyasi> adresinden alındı.

Seven (2023), Eylül 2023 tarihinde: <https://seven.edu.vn/decorative-veneer-sheets-hn19xess/> adresinden alındı.

Tacer (2023), Ekim 2023 tarihinde firma sitesi: <https://tacer.com.tr/tr/sistemler> adresinden alındı.

Tannlamp (2023), Eylül 2023 tarihinde: <https://www.amazon.com.tr/lambas%C4%B1-k%C4%B1s%C4%B1labilir-dekoratif-yuvarlak-ayd%C4%B1latma/dp/B085ZZV3KF> adresinden alındı.

Thelightyard (2023), Eylül 2023 tarihinde firma sitesi: <https://www.thelightyard.com/products/eco-city-700-led-bollard-light> adresinden alındı.

Türkiz (2023), Haziran 2023 tarihinde: <https://www.turkizormanurunleri.com.tr/kaplamali-mdf-ve-sunta-uretimi/> adresinden alındı.

Wescover (2023), Ağustos 2023 tarihinde firma sitesi: <https://www.wescover.com/p/blume-drei-lighting-wood-venner-wood-light-by-traum-wood-at-garden-mercado-vegetariano-1--PHklNTfWdY> adresinden alındı.

Woodsman (2023), Eylül 2023 tarihinde: <https://www.woodsmanfitness.com/jungle-gym> adresinden alındı.

Yavuz M., Güneş S., (2022), “Geçmişten günümüze endüstriyel tasarım eleştirisine genel bir bakış”, *Tasarım Kuram*, 18(35):206-222, doi: 10.14744/tasarimkuram.2022.22043.

Youtube (2023), Ekim 2023 tarihinde video içerik sitesi: [https://www.youtube.com/watch?v=\\_FhiuWyjKYY](https://www.youtube.com/watch?v=_FhiuWyjKYY) adresinden alındı.



ISBN 978-2-38236-643-1



9 782382 366431



LIVRE DE LYON



[livedelyon.com](http://livedelyon.com)



[livedelyon](https://twitter.com/livedelyon)



[livedelyon](https://www.instagram.com/livedelyon)



[livedelyon](https://www.linkedin.com/company/livedelyon)