

# BİLİMSEL GELİŞMELER: YENİLİKÇİ ARAŞTIRMALARDAN PRATİK UYGULAMALARA

EDİTÖR  
Dr. Öğr. Üyesi Serkan GÜLDAL



İKSAD  
Publishing House

# **BİLİMSEL GELİŞMELER: YENİLİKÇİ ARAŞTIRMALARDAN PRATİK UYGULAMALARA**

## **EDİTÖR**

Dr. Öğr. Üyesi Serkan GÜLDAL

## **YAZARLAR**

Prof. Dr. Hüseyin PEKER

Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL

Prof. Dr. Mustafa YÜKSEK

Doç. Dr. Abdul Vahap KORKMAZ

Doç. Dr. Hatice ULUSOY

Dr. Öğr. Üyesi İkbal Demet NANE

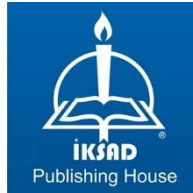
Dr. Öğr. Üyesi Kağan CEBE

Dr. Öğr. Üyesi Nazlı KARAMAN

Dr. Olcay GÜLÇİÇEK UYSAL

Yük. Müh. Tahir Nezihi ÖZDEMİR

Mehmet Fatih YASUL



Copyright © 2023 by iksad publishing house  
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

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

[www.iksadyayinevi.com](http://www.iksadyayinevi.com)

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

Iksad Publications – 2023©

**ISBN: 978-625-367-545-5**

Cover Design: İbrahim KAYA

December / 2023

Ankara / Türkiye

Size = 16x24 cm

# İÇİNDEKİLER

## ÖNSÖZ

*Dr. Öğr. Üyesi Serkan GÜLDAL*.....1

## BÖLÜM 1

### ANADOLU KESTANESİ (CASTANEA SATIVA MILL.) ODUNUNDA BAZI YÜZEY ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ATIK BİTKİSEL YAĞLARININ ETKİLERİ

*Doç. Dr. Hatice ULUSOY*

*Prof. Dr. Hüseyin PEKER*.....3

## BÖLÜM 2

### AHŞAP AÇARTICI KİMYASALLARI UYGULANMIŞ YALANCI AKASYA (ROBINIA PSEUDOACACIA L.) ODUNUNDA BAZI YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

*Doç. Dr. Hatice ULUSOY*

*Prof. Dr. Hüseyin PEKER* .....19

## BÖLÜM 3

### KİTOSANIN CİLT VE SAÇ BAKIMINDA KULLANIM ALANLARI

*Dr. Öğr. Üyesi İkbal Demet NANE*.....35

## BÖLÜM 4

### KOZMETİK UYGULAMALARDA AHA'LAR VE ETKİ MEKANİZMALARI

*Dr. Öğr. Üyesi İkbal Demet NANE*.....55

## BÖLÜM 5

### ÇİMENTO ÜRETİM SÜRECİNDE YENİ NESİL ALTERNATİF HAMMADDELERİN KULLANIMINA İLİŞKİN SON GELİŞMELER

*Doç. Dr. Abdul Vahap KORKMAZ*.....67

## **BÖLÜM 6**

### **GEMİLERDE UYGULANAN ISITMA, HAVALANDIRMA VE SOĞUTMA SİSTEM VE YÖNTEMLERİ**

*Yük. Müh. Tahir Nezihi ÖZDEMİR*

*Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL.....95*

## **BÖLÜM 7**

### **HATP-10 YILDIZ SİSTEMİNİN ADYU60 TELESKOBU İLE YAPILAN 3 YENİ GEÇİŞ GÖZLEMLERİNİN İNCELENMESİ VE BU GEÇİŞLERİN MİNİMUM ZAMANLARININ BELİRLENMESİ**

*Dr. Öğr. Üyesi Nazlı KARAMAN.....119*

## **BÖLÜM 8**

### **NİKOTİNAMİDLİ Cu(II), Zn(II), Co(II) ve Ni(II) 2,4-Dihidroksibenzoat KOMPLEKSLERİNİN NİTROAROMATİK PATLAYICI DEDEKSİYONU İÇİN POTANSİYELLERİNİN İNCELENMESİ**

*Mehmet Fatih YASUL*

*Prof. Dr. Mustafa YÜKSEK.....133*

## **BÖLÜM 9**

### **THORNTHWAITTE METODU İLE KESİKKÖPRÜ BARAJ GÖLÜ HAVZASI'NA AİT SU BÜTÇESİ ELEMANLARININ BELİRLENMESİ**

*Dr. Olcay GÜLÇİÇEK UYSAL*

*Dr. Öğr. Üyesi Kağan CEBE.....149*

## ÖNSÖZ

Değerli Okuyucular,

Sizlere sunulan bu eser, çeşitli disiplinlerdeki uzmanlık alanlarında gerçekleştirilmiş önemli araştırmaların derlemesini içermektedir. Kitabımız, farklı bilimsel bakış açılarını bir araya getirerek, her biri kendi alanında öncü olan bilim insanlarının katkılarıyla şekillenmiştir. Her bir bölüm, kendi başlığı altında özenle seçilmiş konuları ele almakta ve katkıda bulunan yazarların titiz çalışmalarını yansıtmaktadır.

İlk bölümde, "Ahşap Ağartıcı Kimyasalları Uygulanmış Yalancı Akasya Odununda Bazı Yüzeysel Özelliklerinin Belirlenmesi" başlığı altında, ahşap yüzeysel özelliklerinin kimyasal işlemler sonrasında nasıl değiştiği incelenmiştir. Ardından, "The Effects of Waste Vegetable Oils on Some Surface Properties of Anatolian Chestnut (*Castanea Sativa* Mill.) Wood" başlıklı bölümde, atık bitkisel yağların Anadolu kestanesi odunu üzerindeki etkilerine odaklanılmıştır.

Kitosanın cilt ve saç bakımındaki kullanım alanları, çevre dostu ve doğal bir polimerin özellikleriyle "Kitosanın Cilt ve Saç Bakımında Kullanım Alanları" bölümünde detaylıca ele alınmıştır. Cilt bakımında yaygın olarak kullanılan AHA'ların etki mekanizmaları ve olumlu etkileri, "Kozmetik Uygulamalarda AHA'lar ve Etki Mekanizmaları" başlıklı bölümde incelenmiştir.

Çimento üretim sürecindeki yenilikler ve alternatif hammaddelerin kullanımına dair güncel gelişmeler, "Çimento Üretim Sürecinde Yeni Nesil Alternatif Hammaddelerin Kullanımına İlişkin Son Gelişmeler" bölümünde detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Gemi içindeki yaşam ve çalışma koşullarını düzenleyen ısıtma, havalandırma ve soğutma sistemleri, "Gemilerde Uygulanan Isıtma, Havalandırma ve Soğutma Sistem ve Yöntemleri" başlıklı bölümde vurgulanmıştır.

Astronomi alanındaki önemli bir çalışma, "HATP-10 Yıldız Sisteminin ADYU60 Teleskobu ile Yapılan 3 Yeni Geçiş Gözlemlerinin İncelenmesi ve Bu Geçişlerin Minimum Zamanlarının Belirlenmesi" başlıklı bölümde sunulmuştur. Diğer bir bölüm, "Nikotinamidli Cu(II), Zn(II), Co(II) ve Ni(II) 2,4-Dihidroksibenzoat Komplekslerinin Nitroaromatik Patlayıcı Dedeksiyonu için Potansiyellerinin İncelenmesi" optik soğurma ve floresans özellikleri üzerinden nitroaromatik patlayıcıları tespit etme potansiyellerini

araştırmaktadır. Son olarak, "Thorntwaite Metodu ile Kesikköprü Baraj Gölü Havzası'na Ait Su Bütçesi Elemanlarının Belirlenmesi" başlıklı bölümde, Ankara'nın Kesikköprü Baraj Gölü ve Havzası'na ait su bütçesi elemanları, Thorntwaite iklim sınıflandırma yöntemi kullanılarak belirlenmeye çalışılmaktadır.

Ayrıca, belirtilmelidir ki, kitapta ifade edilen fikirler ve görüşler yazarların kişisel görüşleri ve uzmanlık alanlarına dayanmaktadır. Bu görüşler, kitabın editörü veya yayının evinin resmi görüşlerini yansıtmamaktadır. Kitap, yazarların bağımsız araştırmalarına ve bilimsel çalışmalarına dayalı olarak hazırlanmıştır ve bu nedenle yazarlar, kitap içeriğinin doğruluğundan ve güvenilirliğinden sorumludur. Editör ve Yayınevi, bu içeriklerin oluşturulması ve düzenlenmesi süreçlerinde rehberlik etmiş olabilir, ancak kitapta ifade edilen her fikir yazarlara aittir.

Bu kitap projesi, tamamlanması için yoğun çaba ve özveri gerektiren bir sürecin sonucunda ortaya çıkmıştır. Yazarlar, uzmanlık alanlarındaki derin bilgilerini ve deneyimlerini bu kitapta paylaşarak teknik bilgiye katkı sağlamışlardır. Aynı zamanda, İKSAD Yayınevi'nin destek ve katkıları, bu kitabın yayınlanmasını mümkün kılmıştır. İKSAD Yayınevi'ne içten teşekkürlerimizi sunarız; onların profesyonellikleri ve kitap projemize verdikleri destek, bu çalışmanın başarılı bir şekilde tamamlanmasında büyük önem taşımıştır.

Bu eser, her biri kendi alanında uzmanlıkla yürütülen bilimsel çalışmaların bir araya getirilmesiyle ortaya çıkan bir derlemedir. Umarız bu kitap, siz değerli okuyucularımız için bilgiye ulaşma ve bilimin derinliklerine inme yolunda bir rehber olur.

Saygılarımla,

Dr. Öğr. Üyesi Serkan Güldal

Editör

## BÖLÜM 1

### ANADOLU KESTANESİ (*CASTANEA SATIVA* MİLL.) ODUNUNDA BAZI YÜZEY ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ATIK BİTKİSEL YAĞLARININ ETKİLERİ<sup>1</sup>

Doç. Dr. Hatice ULUSOY<sup>2</sup>

Prof. Dr. Hüseyin PEKER<sup>3</sup>

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10435174>

---

<sup>1</sup> Bu çalışma; 8.Asya Pasifik Kongresi'nde özet metin olarak sunulmuştur.

<sup>2</sup> Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Köyceğiz Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, Muğla, Türkiye. E-mail: [haticеulusoy@mu.edu.tr](mailto:haticеulusoy@mu.edu.tr). ORCID ID: 0000-0003-0960-3388

<sup>3</sup> Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Artvin, Türkiye. E-mail: [peker100@artvin.edu.tr](mailto:peker100@artvin.edu.tr). ORCID ID: 0000-0002-7771-6993





## 1. GİRİŞ

Ahşap ve kereste ürünleri, iyi belgelenmiş performansla açıkça tanımlanmış ölçülebilir özelliklere sahip olmalıdır. Ahşabın bugün mevcut olandan daha kesin bir malzeme tanımının elde edilmesi, ahşabın endüstriyel ürünler için iyi tanımlanmış bir mühendislik malzemesi olarak görülmesini sağlayabilir (Holmberg ve ark., 1999).

Ahşap mükemmel bir ışık emicidir. Ahşapta renk bozulmasına yol açan fotokimyasal reaksiyonları başlatmak için birkaç farklı elektromanyetik radyasyon dalga boyunu soğurma yeteneğine sahiptir. Ahşap polimer harmanı selüloz, hemiselüloz, lignin ve ekstraktifler içerir (Nzokou ve Kamdem, 2006).

Ahşabın rengi, bireysel odunsu bitkilerin ahşabının görsel olarak farklılık gösterdiği makroskopik özellikler grubuna ait olan temel bir fiziksel-optik özelliktir (Dzurenda ve ark., 2022).

Bu ağaç türü, eski Yunanlıların meyve ve kereste için aktif tarıma başladıkları zamandan beri önemli birçok amaçlı ağaç olmuştur. Bu uygulama daha sonra Romalılar tarafından İmparatorluk boyunca yayılmıştır (Zohary ve Hopf, 2000; Adua, 1999; Blom ve ark., 2009).

Anadolu kestanesi (*Castanea sativa Mill.*) meyve, odun ve tanen üretimi ile dolaylı olarak bal üretimi ile ilişkili ekonomik değeri ve aynı zamanda kültürel değeri nedeniyle Avrupa'da önemli bir kaynaktır (Beccaro ve ark., 2020).

Kestane, Hazar Denizi'nden Atlantik Okyanusu'na kadar Akdeniz bölgesinde dağıtılmaktadır. Türün son buzul çağında güney Avrupa, Türkiye'nin kuzeydoğusunda ve Kafkasya'da birkaç sığınakta hayatta kaldığı düşünülmektedir. Asit topraklarda, baltalıklarda ve meyve bahçelerinde yüzbinlerce hektarlık alanı kaplayan süreksiz, dağınık bir yayılışa sahiptir. Kestane önemli birçok amaçlı ağaç türüdür. Kestane genetik kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir kullanımının sağlanması önemlidir (Idžojtić ve ark., 2009). Bu ağaç türü yaygın olarak Avrupa kestanesi olarak da bilinir ve Fransa, İspanya, Yunanistan, İtalya, Portekiz ve Türkiye'de geniş bir dağılıma sahiptir (Choupina, 2019).

Anadolu kestanesi (*Castanea sativa Mill.*) odununda, kül %0.82, holoselüloz %71.34, lignin %25.32, alfa selüloz %39.56, sıcak suda

çözünürlük %11.12, alkol-benzen çözünürlüğü %12.50, %1'lik NaOH çözünürlüğü %31.15, soğuk suda çözünürlük %9.86, (Aytekin, 2011), ağırlık kaybı *Gloeophyllum trabeum* için %0.80, *Pleurotus ostreatus* için %0.44, *Postia placenta* için %2.74, *Trametes versicolor* için %8.99 (Çolak, 2014), 1 yıl deniz suyunda bekletildikten sonraki ağırlık kaybı %38.67 (Şen ve Yalçın, 2010), liflere paralel basınç direnci 38.70 N/mm<sup>2</sup>, elastikiyet modülü 7729.76 N/mm<sup>2</sup>, eğilme direnci 77.57 N/mm<sup>2</sup> (Aytaşkın, 2009), tam kuru yoğunluk 0.508 gr/cm<sup>3</sup>, en yüksek su miktarı %156.54, hacim yoğunluk 0.448 gr/cm<sup>3</sup>, hava kurusu 0.540 gr/cm<sup>3</sup>, (Ay ve Şahin, 2002), ısı iletkenlik değeri 0.114 W/m.K (Çavuş ve ark., 2019), shore D sertlik 59.00 HD (Türk ve Ayata, 2021) ve teğet yüzey için vida tutma kapasitesi 22.95 N/mm<sup>2</sup> (Bal ve ark., 2018) olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada, Anadolu kestanesi (*Castanea sativa Mill.*) odununda bazı yüzey özellikleri (renk, parlaklık ve beyazlık indeksi) üzerine atık bitkisel yağlarının (zeytin, mısır ve ceviz) etkileri incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Anadolu kestanesi (*Castanea sativa Mill.*) ahşabı seçilmiştir. Deney malzemesi 1. sınıf kalitede 10 x 10 x 2 cm olarak ticari bir işletmeden alınmıştır. Deney örnekleri rastgele seçilen, çatlaksız, ardaksız, düzgün liflere sahip, budaksız, renk ve yoğunluk farkı olmayan özellikte olunmasına dikkat edilmiştir. Daha sonra örnekler TS ISO 13061-1, (2021) standardına göre hazır hale getirilmiştir.

### 2.1. Atık Bitkisel Yağlar ve Ahşap Malzeme Yüzeylerine Uygulanması

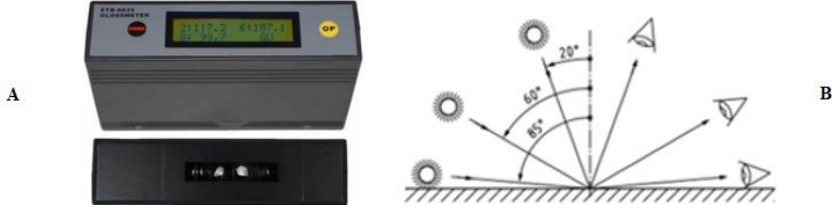
Bu çalışmada ceviz, mısır ve zeytin türlerine ait atık bitkisel yağlar kullanılmıştır. Bu yağlar ahşap malzeme yüzeylerine sürme tekniği ile uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan atık bitkisel yağlara ait bazı önemli özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Atık bitkisel yağlara ait bazı önemli özellikler

Özellik	Zeytin (100 g için)	Mısır (100 g için)	Ceviz (100 g için)
Doymuş yağ asidi	15.15	12.00	9.10
Tekli doymamış yağ asidi	74.00	28.00	-
Çoklu doymamış yağ asidi	10.50	51.00	-

## 2.2. Parlaklık Özelliklerinin Belirlenmesi

Parlaklık testleri ISO 2813, (1994) standardının kullanılması ile ETB-0833 model gloss meter cihazında üç farklı açıda olacak şekilde (20°, 60° ve 85°) liflere dik ve paralel yönlerde olacak şekilde yapılmıştır (Şekil 1A).



Şekil 1. Parlaklık ölçüm cihazı (A) ve ölçüm açıları (ISO 2813, 2014) (B)

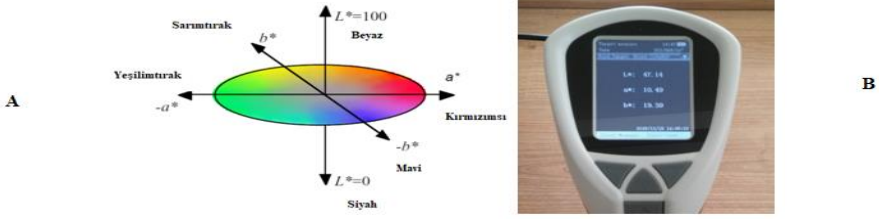
**Beyazlık İndeksi Ölçümleri:** Bu çalışmada, Whiteness Meter BDY-1 (Şekil 2) cihazının kullanılması beyazlık indeksi ( $WI^*$ ) değerleri liflere dik ve paralel yönlerde belirlenmiştir (ASTM E313-15e1, 2015).



Şekil 2. Beyazlık indeksi ölçüm cihazı

## 2.3. Renk Ölçümlerinin Belirlenmesi

Numunelerin renk değişimi, ASTM D 2244-3, (2007) standardına göre, CIELAB renk sistemi ile bir CS-10 (CHN Spec, Çin) [CIE 10° standart gözlemci; CIE D65 ışık kaynağı, aydınlatma sistemi: 8/d (8°/dağınlık aydınlatma)] cihazı (Şekil 3B) kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 3. CIELAB renk uzayı (Molino ve ark., 2013) (A) ve renk ölçüm cihazı (B)

$\Delta E^*$  renk farkının görsel değerlendirilmesi için kıyaslama kriterleri (Cividini ve ark., 2007) Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.**  $\Delta E^*$  değerlendirmesi için kıyaslama kriterleri (Cividini ve ark., 2007)

Toplam renk farkı ( $\Delta E^*$ )	Renk farkı oranı
$\Delta E^* < 0.2$	Görünür fark yok
$2 > \Delta E^* > 0.2$	Küçük fark
$3 > \Delta E^* > 2$	Yüksek kaliteli ekranda görülen renk farkı
$6 > \Delta E^* > 3$	Orta kalitede ekranda görülen renk farkı
$12 > \Delta E^* > 6$	Yüksek renk farkı
$\Delta E^* > 12$	Farklı renk

## 2.4. İstatistiksel Analiz

SPSS rogramı ile ortalamaları, minimum değerleri, maksimum değerleri, homojenlik grupları, standart sapmaları, çok değişkenli varyans analizleri ve yüzde (%) değişim oranları hesaplanmıştır.

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Üst yüzey işlemlerinden renk değişiklik değeri aşağıda verilmiştir.

### 3.1. Renk Değişikliği

Toplam renk farklılıklarına ait sonuçları Tablo 3’te sunulmuştur. Bütün atık yağlarda  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$ ,  $\Delta C^*$ ,  $\Delta H^*$  ve  $\Delta E^*$  değerleri birbirlerine çok yakın elde edilmiştir. Bütün atık yağların uygulanması sonrasında  $\Delta L^*$  değerleri negatif,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$  ve  $\Delta C^*$  değerleri ise pozitif olarak bulunmuştur. Renk değiştirme kriterleri (Cividini ve ark., 2007) ile elde edilen sonuçlar kıyaslandığında bütün atık yağlarda Farklı renk ( $\Delta E^* > 12$ ) kriterlerinin elde edildiği görülmektedir.  $\Delta E^*$  değerleri atık ceviz yağında 16.99 atık mısır yağında 17.61 ve atık zeytin yağında 17.88 olarak bulunmuştur (bkz. Tablo 3).

Belirlenmiş olan çok değişkenli varyans analizi sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Bu sonuçlara göre, bütün renk parametreleri, bütün beyazlık indeksi değerleri ve bütün parlaklık değerleri için bitkisel atık yağ türü anlamlı olarak elde edilmiştir (Tablo 4).

Bütün testlere ait belirlenmiş olan ölçüm sonuçları Tablo 5'te görülmektedir. Bu sonuçlara göre;

L\* değerlerinde bütün atık yağlar birbirlerine çok yakın azalış sonuçları vermiştir. L\* değerinde en yüksek azalma oranı atık zeytin yağı uygulanmış örneklerde (%20.43) belirlenirken, en düşük atık ceviz yağı uygulanmış deney grubunda (%19.16) elde edilmiştir. L\* değerinde en yüksek sonuç kontrol örneğinde (69.93) belirlenirken, en düşük sonuç atık zeytin yağına sahip deney örneklerinde (55.64) elde edilmiştir (Tablo 5).

a\* değerinde en yüksek sonuç atık zeytin yağı uygulanmış örneklerde (13.16) bulunurken, en düşük sonuç kontrol örneklerinde (6.02) belirlenmiştir. a\* değerinde en yüksek artış oranı atık zeytin yağı uygulanmış örneklerde (%118.60) elde edilirken, en düşük atık ceviz yağı uygulanmış deney grubunda (%113.95) belirlenmiştir (Tablo 5).

b\* değerinde en yüksek artış oranı atık zeytin yağı uygulanmış örneklerde (%50.55) tespit edilirken, en düşük atık ceviz yağı uygulanmış deney grubunda (%49.35) görülmüştür. b\* değerlerinde bütün atık yağlar birbirlerine çok yakın artış sonuçları vermiştir. b\* değerinde en düşük sonuç kontrol örneğinde (19.11) görülürken, en yüksek sonuç atık zeytin yağına sahip deney örneklerinde (27.15) bulunmuştur (Tablo 5).

C\* değerlerinde bütün atık yağlar birbirlerine çok yakın artış sonuçları verdiği görülmektedir. C\* değerinde en yüksek artış oranı atık zeytin yağı uygulanmış örneklerde (%20.43) belirlenirken, en düşük atık ceviz yağı uygulanmış deney grubunda (%19.16) bulunmuştur. C\* değerinde en düşük sonuç kontrol örneğinde (20.04) elde edilirken, en yüksek sonuç atık zeytin yağına sahip deney örneklerinde (30.17) tespit edilmiştir (Tablo 5).

ho değerinde en yüksek sonuç kontrol örneğinde (72.51) tespit edilirken, en düşük sonuç atık zeytin yağına sahip deney örneklerinde (64.15) elde edilmiştir. ho değerinde en yüksek azalma oranı atık zeytin yağı uygulanmış örneklerde (%11.53) görülürken, en düşük atık ceviz yağı uygulanmış deney grubunda (%11.14) tespit edilmiştir. ho değerlerinde de

bütün atık yağların uygulanması sonrasında birbirlerine çok yakın azalma sonuçları verdiği görülmektedir (Tablo 5).

Liflere dik ( $\perp$ ) ve paralel ( $\parallel$ ) yönlerdeki beyazlık indeksi değerleri ( $WI^*$ ) için her 3 atık yağ türlerinde yapılan uygulamalar sonrasında azalmalar elde edilmiştir.  $WI^*$   $\perp$  için en yüksek azalış oranı %54.17 ile atık zeytin yağına sahip örneklerde, en düşük azalış oranı %47.59 ile atık ceviz yağına sahip deney grubunda tespit edilmiştir.  $WI^*$   $\parallel$  değerleri bakıldığında en yüksek azalış oranı %68.86 atık mısır yağına sahip örneklerde, en düşük azalış oranı %61.86 ile atık ceviz yağına sahip deney grubunda elde edilmiştir (Tablo 5).

Parlaklık değerlerinde ise bütün yağların uygulanması sonrasında liflere paralel ve dik yönlerdeki 20°'lik ölçümlerde azalışlar belirlenirken, liflere paralel ve dik yönlerdeki 60° ve 85°'lik ölçümlerde artışlar elde edilmiştir. (Tablo 5).

**Tablo 3.** Toplam Renk Farklılıklarına Ait Sonuçlar

Atık Bitkisel Yağ Türü	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta C^*$	$\Delta H^*$	$\Delta E^*$	Renk değiştirme kriteri (Cividini ve ark., 2007)
Ceviz	-13.40	6.86	7.88	9.89	3.37	16.99	Farklı renk ( $\Delta E^* > 12$ )
Mısır	-14.01	7.09	7.97	10.06	3.57	17.61	

**Tablo 4.** Bütün Testlere Ait Belirlenmiş Olan Çok Değişkenli Varyans Analizi Sonuçları

Varyans Kaynağı	Test	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$
Atık Bitkisel Yağ Türü	Işıklılık ( $L^*$ ) değeri	1453.765	3	484.588	559.798	0.000*
	Kırmızı ( $a^*$ ) renk tonu	371.223	3	123.741	1436.599	0.000*
	Sarı ( $b^*$ ) renk tonu	475.695	3	158.565	1645.884	0.000*
	Kroma ( $C^*$ ) değeri	754.064	3	251.355	3387.087	0.000*
	Ton ( $h^\circ$ ) açısı değeri	512.546	3	170.849	394.041	0.000*
	$\perp 20^\circ$ 'de parlaklık	0.099	3	0.033	37.125	0.000*
	$\perp 60^\circ$ 'de parlaklık	29.508	3	9.836	449.360	0.000*
	$\perp 85^\circ$ 'de parlaklık	165.699	3	55.233	279.857	0.000*
	$\parallel 20^\circ$ 'de parlaklık	0.108	3	0.036	40.500	0.000*
	$\parallel 60^\circ$ 'de parlaklık	20.612	3	6.871	114.937	0.000*
	$\parallel 85^\circ$ 'de parlaklık	241.480	3	80.493	1382.519	0.000*
	Beyazlık indeksi ( $\perp$ )	1587.122	3	529.041	5322.936	0.000*
Beyazlık indeksi ( $\parallel$ )	1850.543	3	616.848	5866.978	0.000*	
Hata	Işıklılık ( $L^*$ ) değeri	31.163	36	0.866		
	Kırmızı ( $a^*$ ) renk tonu	3.101	36	0.086		
	Sarı ( $b^*$ ) renk tonu	3.468	36	0.096		
	Kroma ( $C^*$ ) değeri	2.672	36	0.074		

	Ton ( $h^\circ$ ) açısı değeri	15.609	36	0.434		
	$\perp 20^\circ$ 'de parlaklık	0.032	36	0.001		
	$\perp 60^\circ$ 'de parlaklık	0.788	36	0.022		
	$\perp 85^\circ$ 'de parlaklık	7.105	36	0.197		
	$\parallel 20^\circ$ 'de parlaklık	0.032	36	0.001		
	$\parallel 60^\circ$ 'de parlaklık	2.152	36	0.060		
	$\parallel 85^\circ$ 'de parlaklık	2.096	36	0.058		
	Beyazlık indeksi ( $\perp$ )	3.578	36	0.099		
	Beyazlık indeksi ( $\parallel$ )	3.785	36	0.105		
Toplam	Işıklılık ( $L^*$ ) değeri	143109.209	40			
	Kırmızı ( $a^*$ ) renk tonu	5477.631	40			
	Sarı ( $b^*$ ) renk tonu	25647.947	40			
	Kroma ( $C^*$ ) değeri	31133.919	40			
	Ton ( $h^\circ$ ) açısı değeri	176435.324	40			
	$\perp 20^\circ$ 'de parlaklık	7.020	40			
	$\perp 60^\circ$ 'de parlaklık	437.340	40			
	$\perp 85^\circ$ 'de parlaklık	841.110	40			
	$\parallel 20^\circ$ 'de parlaklık	8.240	40			
	$\parallel 60^\circ$ 'de parlaklık	440.080	40			
	$\parallel 85^\circ$ 'de parlaklık	1607.800	40			
	Beyazlık indeksi ( $\perp$ )	13981.100	40			
Beyazlık indeksi ( $\parallel$ )	7583.170	40				
Düzeltilmiş Toplam	Işıklılık ( $L^*$ ) değeri	1484.929	39			
	Kırmızı ( $a^*$ ) renk tonu	374.324	39			
	Sarı ( $b^*$ ) renk tonu	479.163	39			
	Kroma ( $C^*$ ) değeri	756.736	39			
	Ton ( $h^\circ$ ) açısı değeri	528.155	39			
	$\perp 20^\circ$ 'de parlaklık	0.131	39			
	$\perp 60^\circ$ 'de parlaklık	30.296	39			
	$\perp 85^\circ$ 'de parlaklık	172.804	39			
	$\parallel 20^\circ$ 'de parlaklık	0.140	39			
	$\parallel 60^\circ$ 'de parlaklık	22.764	39			
	$\parallel 85^\circ$ 'de parlaklık	243.576	39			
	Beyazlık indeksi ( $\perp$ )	1590.700	39			
	Beyazlık indeksi ( $\parallel$ )	1854.328	39			

\*: Anlamlı

Tablo 5. Bütün Testlere Ait Belirlenmiş Olan Ölçüm Sonuçları

Test	Ahşap Ağartıcı Kimyasal Türü	Ölçüm Sayısı	Ortalama	Değişim Oranları(%)	Homojenlik Grubu	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Varyasyon Katsayısı
$L^*$	Ağartılmamış	10	65,99	-	C**	0.65	65.27	66.95	0.98
	Tek Komponentli	10	71,54	↑8.41	B	2.58	68.64	77.67	3.60
	Çift Komponentli	10	80,24	↑21.59	A*	1.37	77.37	82.07	1.71
$C^*$	Ağartılmamış	10	23,43	-	A*	0.30	23.06	23.96	1.29
	Tek	10	23,20	↓0.98	A	1.06	21.90	24.67	4.58



	Komponentli								
	Çift Komponentli	10	20,36	↓13.10	B**	1.54	18.28	23.18	7.55
<b>b*</b>	Ağartılmamış	10	22,00	-	A	0.25	21.65	22.39	1.16
	Tek Komponentli	10	22,18	↑0.82	A*	0.89	20.93	23.50	4.02
	Çift Komponentli	10	20,36	↓7.45	B**	1.75	18.13	22.99	8.57
<b>a*</b>	Ağartılmamış	10	8,07	-	A*	0.35	7.30	8.51	4.38
	Tek Komponentli	10	6,78	↓15.99	B	0.79	5.82	7.81	11.63
	Çift Komponentli	10	2,84	↓64.81	C**	0.40	2.20	3.26	13.98
<b>h°</b>	Ağartılmamış	10	69,86	-	C**	0.77	68.94	71.61	1.10
	Tek Komponentli	10	73,03	↑4.54	B	1.33	71.26	74.81	1.82
	Çift Komponentli	10	82,08	↑17.49	A*	0.77	80.93	83.20	0.93
<b>WI* (⊥)</b>	Ağartılmamış	10	33,32	-	A*	0.20	33.00	33.60	0.60
	Tek Komponentli	10	26,82	↓19.51	C**	2.49	24.00	29.60	9.28
	Çift Komponentli	10	30,56	↓8.28	B	1.99	29.30	34.50	6.52
<b>WI* (  )</b>	Ağartılmamış	10	14,27	-	C**	1.25	12.90	15.90	8.79
	Tek Komponentli	10	22,62	↑58.51	B	0.51	22.00	23.20	2.23
	Çift Komponentli	10	40,67	↑185.0	A*	2.15	37.80	42.50	5.29
<b>   20°</b>	Ağartılmamış	10	0,62	-	B**	0.04	0.60	0.70	6.80
	Tek Komponentli	10	0,74	↑19.35	A	0.12	0.60	0.90	15.86
	Çift Komponentli	10	0,80	↑29.03	A*	0.11	0.70	0.90	13.18
<b>   60°</b>	Ağartılmamış	10	4,65	-	A*	0.24	4.30	5.00	5.19
	Tek Komponentli	10	3,58	↓23.01	B	0.30	3.10	3.80	8.41
	Çift Komponentli	10	3,05	↓34.41	C**	0.16	2.90	3.20	5.18
<b>   85°</b>	Ağartılmamış	10	10,10	-	A*	1.15	8.70	11.80	11.43
	Tek Komponentli	10	4,30	↓57.43	B	0.56	3.30	4.70	12.97
	Çift Komponentli	10	0,82	↓91.88	C**	0.17	0.70	1.10	20.57
<b>⊥ 20°</b>	Ağartılmamış	10	0,70	-	B**	0.00	0.70	0.70	0.00
	Tek Komponentli	10	0,70	0.00	B**	0.16	0.50	0.90	22.34
	Çift Komponentli	10	0,82	↑17.14	A*	0.04	0.80	0.90	5.14
<b>⊥ 60°</b>	Ağartılmamış	10	4,36	-	A*	0.20	4.20	4.70	4.48
	Tek Komponentli	10	2,62	↓39.91	B	0.10	2.50	2.80	3.94
	Çift Komponentli	10	2,48	↓43.12	C**	0.14	2.30	2.70	5.64

	Komponentli								
<b>185°</b>	Ağartılmamış	10	3,70	-	A*	0.32	3.30	4.20	8.64
	Tek Komponentli	10	0,10	↓97.30	B**	0.00	0.10	0.10	0.00
	Çift Komponentli	10	0,18	↓95.14	B	0.12	0.10	0.40	68.29

\*: En yüksek değeri ifade etmektedir, \*\*: En düşük değeri ifade etmektedir.

**Tablo 5.** Bütün testlere ait belirlenmiş olan ölçüm sonuçları

Test	Atık Yağ Türü	N	Ortalama	Değişim Oranı (%)	HG	SS	Minimum	Maksimum	Varyasyon Katsayısı
<b>L*</b>	<b>Kontrol</b>	<b>10</b>	69.93	-	A*	0.41	69.22	70.39	0.59
	<b>Ceviz</b>	<b>10</b>	56.53	↓19.16	B	1.19	54.30	58.16	2.11
	<b>Mısır</b>	<b>10</b>	55.92	↓20.03	BC	0.89	54.90	57.82	1.58
	<b>Zeytin</b>	<b>10</b>	55.64	↓20.43	C**	1.04	53.94	57.01	1.87
<b>a*</b>	<b>Kontrol</b>	<b>10</b>	6.02	-	C**	0.24	5.49	6.42	4.06
	<b>Ceviz</b>	<b>10</b>	12.88	↑113.95	B	0.40	11.99	13.34	3.07
	<b>Mısır</b>	<b>10</b>	13.12	↑117.94	AB	0.28	12.70	13.60	2.17
	<b>Zeytin</b>	<b>10</b>	13.16	↑118.60	A*	0.22	12.81	13.51	1.65
<b>b*</b>	<b>Kontrol</b>	<b>10</b>	19.11	-	B**	0.20	18.77	19.39	1.02
	<b>Ceviz</b>	<b>10</b>	26.99	↑41.23	A	0.32	26.52	27.48	1.17
	<b>Mısır</b>	<b>10</b>	27.08	↑41.71	A	0.41	26.67	27.97	1.50
	<b>Zeytin</b>	<b>10</b>	27.15	↑42.07	A*	0.29	26.76	27.51	1.06
<b>C*</b>	<b>Kontrol</b>	<b>10</b>	20.04	-	B**	0.24	19.56	20.39	1.20
	<b>Ceviz</b>	<b>10</b>	29.93	↑49.35	A	0.26	29.61	30.36	0.86
	<b>Mısır</b>	<b>10</b>	30.10	↑50.20	A	0.35	29.73	30.79	1.16
	<b>Zeytin</b>	<b>10</b>	30.17	↑50.55	A*	0.23	29.85	30.46	0.75
<b>h°</b>	<b>Kontrol</b>	<b>10</b>	72.51	-	A*	0.56	71.47	73.69	0.78
	<b>Ceviz</b>	<b>10</b>	64.43	↓11.14	B	0.81	63.49	66.23	1.26
	<b>Mısır</b>	<b>10</b>	64.17	↓11.50	B	0.66	63.44	65.29	1.03
	<b>Zeytin</b>	<b>10</b>	64.15	↓11.53	B**	0.56	63.21	65.14	0.88
<b>120°</b>	<b>Kontrol</b>	<b>10</b>	0.50	-	A*	0.00	0.50	0.50	0.00
	<b>Ceviz</b>	<b>10</b>	0.40	↓20.00	B	0.00	0.40	0.40	0.00
	<b>Mısır</b>	<b>10</b>	0.38	↓24.00	B**	0.04	0.30	0.40	11.10
	<b>Zeytin</b>	<b>10</b>	0.38	↓24.00	B**	0.04	0.30	0.40	11.10
<b>160°</b>	<b>Kontrol</b>	<b>10</b>	1.74	-	C**	0.12	1.60	1.90	6.75
	<b>Ceviz</b>	<b>10</b>	3.82	↑119.54	A	0.15	3.60	4.00	4.06
	<b>Mısır</b>	<b>10</b>	3.84	↑120.69	A*	0.17	3.60	4.00	4.46
	<b>Zeytin</b>	<b>10</b>	3.36	↑93.10	B	0.14	3.20	3.50	4.26
<b>185°</b>	<b>Kontrol</b>	<b>10</b>	0.57	-	B**	0.09	0.50	0.70	16.64
	<b>Ceviz</b>	<b>10</b>	5.06	↑787.72	A	0.49	4.60	5.80	9.65
	<b>Mısır</b>	<b>10</b>	5.44	↑854.39	A*	0.33	5.00	5.90	6.08
	<b>Zeytin</b>	<b>10</b>	5.28	↑826.32	A	0.66	4.70	6.40	12.46
<b>   20°</b>	<b>Kontrol</b>	<b>10</b>	0.52	-	A*	0.04	0.50	0.60	8.11
	<b>Ceviz</b>	<b>10</b>	0.48	↓7.69	B	0.04	0.40	0.50	8.78
	<b>Mısır</b>	<b>10</b>	0.40	↓23.08	C**	0.00	0.40	0.40	0.00
	<b>Zeytin</b>	<b>10</b>	0.40	↓23.08	C**	0.00	0.40	0.40	0.00
<b>   60°</b>	<b>Kontrol</b>	<b>10</b>	2.12	-	C**	0.04	2.10	2.20	1.99

	<b>Ceviz</b>	<b>10</b>	3.08	↑45.28	B	0.45	2.40	3.50	14.58
	<b>Mısır</b>	<b>10</b>	3.94	↑85.85	A*	0.18	3.80	4.20	4.66
	<b>Zeytin</b>	<b>10</b>	3.78	↑78.30	A	0.04	3.70	3.80	1.12
	<b>Kontrol</b>	<b>10</b>	1.72	-	D**	0.28	1.50	2.20	16.17
85°	<b>Ceviz</b>	<b>10</b>	6.36	↑269.77	C	0.11	6.20	6.50	1.69
	<b>Mısır</b>	<b>10</b>	8.10	↑370.93	A*	0.36	7.70	8.70	4.43
	<b>Zeytin</b>	<b>10</b>	7.18	↑317.44	B	0.12	7.10	7.40	1.71
	<b>Kontrol</b>	<b>10</b>	28.45	-	A*	0.48	27.60	28.90	1.70
WI* (⊥)	<b>Ceviz</b>	<b>10</b>	14.91	↓47.59	B	0.14	14.70	15.10	0.92
	<b>Mısır</b>	<b>10</b>	14.00	↓50.79	C	0.31	13.70	14.40	2.23
	<b>Zeytin</b>	<b>10</b>	13.04	↓54.17	D**	0.22	12.80	13.40	1.66
	<b>Kontrol</b>	<b>10</b>	23.70	-	A*	0.39	23.40	24.50	1.66
WI* (  )	<b>Ceviz</b>	<b>10</b>	9.04	↓61.86	B	0.46	8.20	9.50	5.14
	<b>Mısır</b>	<b>10</b>	7.38	↓68.86	D**	0.19	7.20	7.70	2.54
	<b>Zeytin</b>	<b>10</b>	7.75	↓67.30	C	0.12	7.60	7.90	1.52
	<b>Kontrol</b>	<b>10</b>	23.70	-	A*	0.39	23.40	24.50	1.66
<b>HG: Homojenlik Grubu, N: Ölçüm Sayısı, SS: Standart Sapma, *: En yüksek değer, **: En düşük değer</b>									

Ulay ve Ayata (2023a) tarafından Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) odununda bazı yüzey özellikleri üzerine sodyum hipoklorit (NaClO), aseton, selülozik tiner, dezenfektan ve sentetik tiner kimyasalları uygulanmasıyla ve Ulay ve Ayata (2023b) tarafından yine bu ahşap türü için yapılan 3 aylık doğal yaşlandırma uygulamaları sonrasında renk parametrelerinin değiştiği bildirilmiştir.

#### 4. SONUÇLAR

Bütün atık yağların ahşap malzeme yüzeylerine uygulanması ile L\* ve ho değerlerinde azalışlar, b\*, C\* ve a\* değerlerinde artışlar elde edilmiştir.

- ΔE\* değerleri atık mısır yağında 17.61, atık ceviz yağında 16.99 ve atık zeytinyağında 17.88 olarak elde edilmiştir.

- Beyazlık indeksi değerlerinde (WI\*) liflere dik (⊥) ve paralel (||) yönlerde bütün atık yağ türlerinde azalmalar görülmüştür.

- Parlaklık değerlerinde ise her iki yönlerde 20 derecelerde azalışlar 60 ve 85 derecelerde ise artışlar belirlenmiştir.

#### Teşekkür

Çalışmada kullanılan cihazların temin edilmesinde Doç. Dr. Ümit AYATA'ya teşekkür ederiz.

## KAYNAKÇA

- Holmberg, S., Persson, K., and Petersson, H. (1999). Nonlinear mechanical behaviour and analysis of wood and fibre materials, *Computers & Structures*, 72(4-5): 459-480. DOI: 10.1016/S0045-7949(98)00331-9.
- Nzokou, P., and Kamdem, D.P. (2006). Influence of wood extractives on the photo-discoloration of wood surfaces exposed to artificial weathering. *Color Research & Application: Endorsed by Inter-Society Color Council, The Colour Group (Great Britain), Canadian Society for Color, Color Science Association of Japan, Dutch Society for the Study of Color, The Swedish Colour Centre Foundation, Colour Society of Australia, Centre Français de la Couleur*, 31(5): 425-434.
- Dzurenda, L., Dudiak, M., and Výbohová, E. (2022). Influence of UV radiation on the color change of the surface of steamed maple wood with saturated water steam, *Polymers*, 14(1): 217. DOI: 10.3390/polym14010217.
- Zohary, D., and Hopf, M., (2000). *Domestication of plants in the Old World*, 3rd edn. Oxford University Press, New York.
- Adua, M., (1999). The sweet chestnut throughout history from the Miocene to the third millennium, II International Symposium on Chestnut, *Acta Hortic*, 494: 29-36.
- Blom, J.M., Vannini, A., Vettraino, A.M., Hale, M.D., and Godbold, D.L. (2009). Ectomycorrhizal community structure in a healthy and a Phytophthora-infected chestnut (*Castanea sativa* Mill.) stand in central Italy, *Mycorrhiza*, 20: 25-38.
- Beccaro, G.L., Donno, D., Lione, G.G., De Biaggi, M., Gamba, G., Rapalino, S., Riondato, I., Gonthier, P., and Mellano, M.G. (2020). *Castanea* spp. Agrobiodiversity Conservation: Genotype Influence on Chemical and Sensorial Traits of Cultivars Grown on the Same Clonal Rootstock, *Foods*, 9(8): 1062.

- Idžojić, M., Zebec, M., Poljak, I., and Medak, J. (2009). Variation of sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) populations in Croatia according to the morphology of fruits. *Na*, 323-333.
- Choupina, A.B. (2019). Nutritional and health potential of European chestnut, *Revista de Ciências Agrárias*, 42(3): 801-807.
- Aytekin, E. (2011). Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) ve Türk fıncığı (*Carylus colurna* L.) odunlarından modifiye kraft yöntemi ile kâğıt hamuru üretimi olanaklarının araştırılması, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Düzce.
- Çolak, G. (2014). Isıl işlemin (ThermoWood yöntemi) bazı ağaç türlerinin fiziksel özellikleri, çürüklük ve hava koşullarına karşı dayanıklılığı üzerine etkileri, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce.
- Şen, S., ve Yalçın, M. (2010). Türkiye denizlerinde bazı tropik ve yerli ağaç türlerinde oluşan tahribatın incelenmesi, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs, Artvin, Türkiye, Cilt: IV, Sayfa: 1631-1638
- Aytaşkın, A. (2009). Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş ağaç malzemelerin bazı teknolojik özellikleri, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Karabük.
- Ay, N., ve Şahin, H., (2002). Maçka-Çatak bölgesi Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* mill.) odununun bazı fiziksel özellikleri, Kafkas Üniversitesi, Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 1: 63-71.
- Çavuş, V., Sahin, S., Esteves, B., and Ayata, U., (2019). Determination of thermal conductivity properties in some wood species obtained from Turkey, *Bioresources*, 14(3): 6709-6715. DOI: 10.15376/biores.14.3.6709-6715.
- Türk, M., ve Ayata, Ü., (2021). Türkiye’de yetişen bazı ağaç türlerine ait odunlarda shore D sertlik değerleri üzerine ısıl işlemin etkisi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4(2): 166-173. DOI: 10.33725/mamad.1005127.
- Yüksek Lisans Tezi, Düzce.

- Bal, B.C., Ayata, Ü., Çavuş, V., ve Efe, F.T., (2018). Ceviz, maun, kestane ve ıhlamur odunlarında vida tutma kapasitesinin belirlenmesi, 5. Uluslararası Multidisipliner Çalışmaları Kongresi, 02-03 Kasım, Antalya, Türkiye, 1(1): 383-396.
- TS ISO 13061-1, (2021). Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 1: Fiziksel ve mekanik deneyler için nem muhtevasının belirlenmesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- ISO 2813, (1994). Paints and varnishes - determination of specular gloss of non-metallic paint films at 20 degrees, 60 degrees and 85 degrees, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ASTM D 2244-3, (2007). Standard practice for calculation of color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Molino, J.A., Kennedy, J.F., Beuse, P.A., Miller, C.C., Davis, W., and Andersen, C.K., (2013). Daytime color appearance of retroreflective traffic control sign materials (No. FHWA-HRT-13-018). United States. Federal Highway Administration.
- Cividini, R., Travan, L., and Allegretti, O., (2007). White beech: A tricky problem in drying process, in: International Scientific Conference on Hardwood Processing (ISCHP), Québec City, Canada, pp. 135-140.
- ASTM E313-15e1, (2015). Standard practice for calculating yellowness and whiteness indices from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ISO 2813, (2014). Paints and varnishes - Determination of gloss value at 20°, 60° and 85°, Standard, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 554, (1976). Standard atmospheres for conditioning and/or testing, International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.



## BÖLÜM 2

### AHŞAP AĞARTICI KİMYASALLARI UYGULANMIŞ YALANCI AKASYA (*ROBINIA PSEUDOACACIA* L.) ODUNUNDA BAZI YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ<sup>1</sup>

Doç. Dr. Hatice ULUSOY<sup>2</sup>

Prof. Dr. Hüseyin PEKER<sup>3</sup>

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10435202>

---

<sup>1</sup> Bu çalışma 8.Asya Pasifik Kongresinde özet bildiri olarak sunulmuştur.

<sup>2</sup> Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Köyceğiz Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, Muğla, Türkiye. E-mail: [haticefulsoy@mu.edu.tr](mailto:haticefulsoy@mu.edu.tr). ORCID ID: 0000-0003-0960-3388

<sup>3</sup> Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Artvin, Türkiye. E-mail: [peker100@artvin.edu.tr](mailto:peker100@artvin.edu.tr). ORCID ID: 0000-0002-7771-6993





## 1. GİRİŞ

İnsan ahşabın iyi doğal malzeme özellikleri vardır ve ahşap ürünlerde, kontrplakta, mobilya ve iç dekorasyonda, inşaat yapı malzemelerinde vb. yaygın olarak kullanılır (Toumpanaki ve ark., 2021; Wu ve ark., 2018; 2021). Ahşabın rengi, dokusu ve doğal kusurları ticari değerini etkileyen önemli faktörlerdir. Ahşabın yüzey renginin değiştirilmesi, değerini artırmanın birincil yoludur (Hu ve ark., 2020). Bazı ağır sert ağaçlarda diri odun ve öz odun arasında renk ayrımı yoktur, ancak çoğunluğunda öz odun daha koyu renklidir (Desch, 1981). 1601'de Jean Robin tarafından Fransa'da tanıtılmasından bu yana, yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) çoğu kıtanın ılıman bölgelerine yayılmıştır. Hızlı büyüme oranları, önemli çiçeklenme ve tohum üretme yetenekleri ile karakterize edilen bu türün ayrıca çok çeşitli çevre koşullarına iyi adapte olduğu kanıtlanmış ve dünya çapında odunu için hasat edilen üçüncü sert ağaç türü olmuştur (Barbier ve ark., 2016). Bu ağaç (Fabaceae), Kuzey Amerika'nın doğu kesiminde doğal olarak bulunan, ışık isteyen, orta boylu, öncü bir ağaç türüdür (Little, 1971). Yüksek kuraklık toleransı, fiziksel-kimyasal koşullar açısından son derece çeşitli topraklarda büyüme yeteneği ve N sabitleme yeteneği, Robinia'yı bozulmuş toprakların restorasyonu için uygun kılmaktadır (Zhang ve ark., 2015). Tohum üretimine yaklaşık 6 yaşında başlar. 1 ila 2 yıllık aralıklarla iyi mahsul verir. Tohum üretimi en iyi 15-40 yaşları arasında olur ve 60 yaşına kadar devam eder. Ağaç, 45 kg meyve başına 7-15 kg tohum verir ve tohumlar ortalama 52.900/kg'dır (Olson, 1974; Roach, 1965). Bu ağaç türü çok çeşitli topraklarda ve topoğrafyada doğal olarak yetişir. Doğal en yaygın toprak takımları Ultisols, Inceptisols ve Alfisols'tur ve en yaygın toprak büyük grupları Hapludults, Dystrochrepts, Paleudults ve Eutrochrepts'dir (Anonim, 1970). Hızlı büyümesi ve atmosferik nitrojeni sabitleme yeteneği nedeniyle yeniden ağaçlandırma için umut verici bir ağaç olarak kabul edilmiştir (Zheng, 1985). Sağlam bir oduna sahip olmakla kalmayıp aynı zamanda hızlı büyüyen bir ağaç türüdür. Öz odun ise yeşilimsi sarı ile koyu kahverengi arasında değişmektedir. Diri odunu dar ve sarımsı beyaz renktedir. Çok ağır, çok sert, çok yüksek şok mukavemetini haiz olup çok yüksek mukavemet ve elastikiyete sahiptir. Öz odunu çürümeye karşı çok dayanıklıdır. Çalışması orta derecededir (Bozkurt, 1993).

Tel direği, maden direği, iskele direkleri ve su içi inşaat, travers, çit kazığı, ağaç malzemenin açık havada kullanılma mecburiyeti olan yerler, direnç isteyen ambalaj konstrüksiyonları, araba tekerleği, dok kapakları,

yapılarda konstrüksiyon materyali olarak, ağaç malzemeden yapılmış gereçler, tel direklerinde takas olarak, yakacak odunudur. Kısa lifli olması nedeniyle kâğıt üretimi bakımından uygun bulunmadığı bildirilmiştir (Göker, 1982). Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) ahşabında olgun odunda öz odunda soğuk su çözünürlüğü %6.80 (Hart, 1968), sıcak su çözünürlüğü %5.90, holoselüloz %64.60 (Ahn, 1985), eğilme direnci 173.02 N/mm<sup>2</sup>, elastikiyet modülü 18122.41 N/mm<sup>2</sup> (Vasiliki ve ark., 2016), hemiselüloz %21.00, selüloz %40.00, kül miktarı %0.32, lignin %30.00 (Koloc, 1953), teğet yönde yarıılma 6.2 kp/cm<sup>2</sup>, şok direnci 1.35 kp/cm<sup>2</sup>, liflere dik yönde brinell sertlik 3.35 kp/cm<sup>2</sup>, liflere paralel yönde brinell sertlik 7.82 kp/cm<sup>2</sup>, makaslama direnci 128 kp/cm<sup>2</sup> (Göker, 1982), shore D sertlik değeri 79.35 HD (Ayata ve Bal, 2020) ve ısı iletkenlik değeri 0.166 W/m.K (Çavuş ve ark., 2019) olarak bulunmuştur. Bu çalışmada, ahşap ağartıcı kimyasalları uygulanmış yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) odununda bazı yüzey özellikleri belirlenmiştir. (Bozkurt ve ark. 1993).

Emprenye işlemlerinde yenilikçi yöntemler geliştirilmeye devam edilmektedir. Emprenye işlemlerinde retense düzeyini artırmak emprenye maddesinin permeabilitesini güçlendirmek için ve fiziksel, mekaniksel, biyolojik işlemler yapılmakta ayrıca buharlama, oyma, kurutma ve vakum basınçları uygulanmaktadır. Çevreyle dost, maliyeti düşük çok çeşitli içerikli (fosfor,azot vb), yangın geciktirici dostu olması, etkinliği artırmaktadır (Baysal 1994)

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

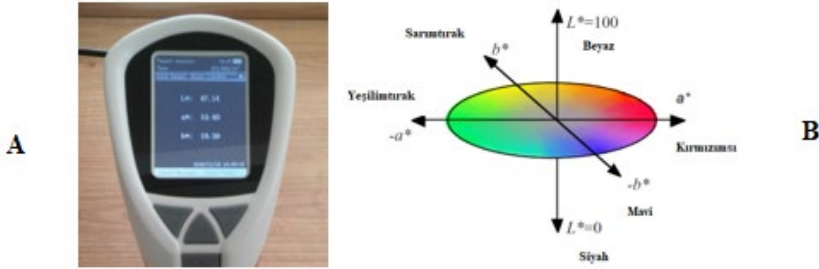
Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) odunu bu çalışmada seçilmiştir. Deney malzemesi 1. sınıf kalitede 10 x 10 x 2 cm olarak ticari bir işletmeden alınmıştır. Deney örnekleri rastgele seçilen, çatlaksız, ardaksız, düzgün liflere sahip, budaksız, renk ve yoğunluk farkı olmayan özellikte olunmasına dikkat edilmiştir. Daha sonra örnekler TS ISO 13061-1, (2021) standardına göre hazır hale getirilmiştir.

### 2.1. Ağartma işlemlerinin uygulanması

Araştırmada su bazlı tek komponentli (sıvı, renksiz, kokusuz, pH değeri 2.0±0.5) ve ikincisi çift komponentli (sıvı, renksiz, kokusuz, çözünür, seyreltici maddesi su, kataliz oranı: A bileşeni için 100 gram ve B bileşeni için 50 gram, B bileşeni sodyum hidroksit ve hidrojen peroksit içermektedir) olmak üzere iki farklı ağartıcı kimyasalları kullanılmıştır. Sürme tekniği ile bu kimyasallar ahşap malzeme yüzeylerine uygulanmıştır.

## 2.2. Testler

Araştırmada Renk ölçümleri: Numunelerin renk değişimi, ASTM D 2244-3, (2007) standardına göre, CIELAB renk sistemi ile bir CS-10 (CHN Spec, Çin) [CIE 10° standart gözlemci; CIE D65 ışık kaynağı, aydınlatma sistemi: 8/d (8°/dağınmık aydınlatma)] cihazı (Şekil 1A) kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 1. Renk ölçüm cihazı (A) ve CIELAB renk uzayı (Molino ve ark., 2013) (B)

$\Delta E^*$  renk farkının görsel değerlendirilmesi için kıyaslama kriterleri (Cividini ve ark., 2007) Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.**  $\Delta E^*$  değerlendirmesi için kıyaslama kriterleri (Cividini ve ark., 2007)

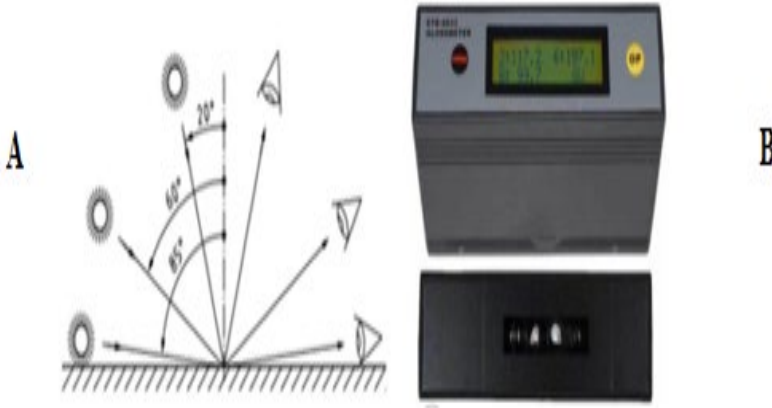
Toplam renk farkı ( $\Delta E^*$ )	Renk farkı oranı
$\Delta E^* < 0.2$	Görünür fark yok
$2 > \Delta E^* > 0.2$	Küçük fark
$3 > \Delta E^* > 2$	Yüksek kaliteli ekranda görülen renk farkı
$6 > \Delta E^* > 3$	Orta kalitede ekranda görülen renk farkı
$12 > \Delta E^* > 6$	Yüksek renk farkı
$\Delta E^* > 12$	Farklı renk

**Beyazlık İndeksi Ölçümleri:** Bu çalışmada, Whiteness Meter BDY-1 (Şekil 2) cihazının kullanılması beyazlık indeksi ( $W^*$ ) değerleri liflere dik ve paralel yönlerde belirlenmiştir (ASTM E313-15e1, 2015).



Şekil 2. Beyazlık indeksi ölçüm cihazı

**Parlaklık Ölçümleri:** Parlaklık testleri ISO 2813, (1994) standardının kullanılması ile ETB-0833 model gloss meter cihazında üç farklı açıda olacak şekilde ( $20^\circ$ ,  $60^\circ$  ve  $85^\circ$ ) liflere dik ve paralel yönlerde olacak şekilde yapılmıştır (Şekil 3B).



Şekil 3. Ölçüm açıları (ISO 2813, 2014) (A) ve Parlaklık ölçüm cihazı (B)

### 2.3. İstatistiksel Analiz

SPSS istatistik programı ile ortalamaları, minimum değerleri, maksimum değerleri, homojenlik grupları, standart sapmaları, çok değişkenli varyans analizleri ve yüzde (%) değişim oranları hesaplanmıştır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Renk değışiklik değlendirmeleri aşağıda verilmiştir.

#### 3.1. Renk Değişikliği

Toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar Tablo 2’de sunulmuştur. Bu sonuçlara göre, her iki kimyasalda  $\Delta L^*$  (referanstan daha açık) değeri pozitif ve  $\Delta a^*$  (referanstan daha yeşil) ve  $\Delta C^*$  (örnek mat, referanstan daha bulanık) değeri ise negatif olarak belirlenmiştir.  $\Delta b^*$  değeri tek komponentlide pozitif (referanstan daha sarı) olarak tespit edilirken, çift komponentlide negatif (referanstan daha mavi) olarak bulunmuştur. Ayrıca tek komponentli kimyasalda  $\Delta E^*$  değeri 5.71 olarak elde edilmiş olup, çift komponentli kimyasalda  $\Delta E^*$  değeri 15.27 olarak bulunmuştur (Tablo 2). Cividini ve ark., (2007)’ye göre elde edilen veriler kıyaslandığında tek komponentli ağartıcı kimyasalı “orta kalitede ekranda görülen renk farkı ( $6 > \Delta E^* > 3$ )” kriterini verdiği ve çift komponentli kimyasalın ise “farklı renk ( $\Delta E^* > 12$ )” kategorisi sergilediği görölmüştür. Bütün testlere ait belirlenmiş olan çok değişkenli varyans analizi sonuçları Tablo 3’de verilmiştir. Bütün testler için ahşap ağartıcı kimyasal türü anlamlı olarak elde edilmiştir (Tablo 3). Bütün testlere ait olan ölçüm sonuçları Tablo 4’de verilmiştir. Bu sonuçlar şu şekilde belirlenmiştir;  $L^*$  değeri bakıldığında en düşük kontrol örneklerinde (65.99) belirlenirken, en yüksek çift komponentli uygulamada (80.24) elde edilmiştir.  $L^*$ ’de tek komponentli uygulamada %8.41 oranında ve çift komponentli uygulamada %21.59 oranında artışlar görölmüştür.  $L^*$  değeri kontrol örnekleri ağartılmış örneklerinden düşük olarak bulunmuştur (Tablo 4).  $a^*$  değeri bakıldığında en yüksek kontrol örneklerinde (8.07) bulunurken, en düşük çift komponentli uygulamada (2.84) belirlenmiştir.  $a^*$  değeri tek komponentli uygulamada %15.99 oranında ve çift komponentli uygulamada %64.81 oranında azalışlar elde edilmiştir.  $a^*$  değeri kontrol örnekleri ağartılmış örneklerinden yüksek olarak görölmüştür (Tablo 4).  $b^*$  değeri göre, en yüksek tek komponentli örneklerde (22.18) elde edilirken, en düşük çift komponentli uygulamada (20.36) tespit edilmiştir.  $b^*$ ’de tek komponentli uygulamada %0.82 oranında artış ve çift komponentli uygulamada %7.45 oranında azalış belirlenmiştir (Tablo 4).  $C^*$  değeri ise en düşük çift komponentli uygulamaya sahip deney örneklerinde (20.36) görölrken, en yüksek ağartılmamış deney gurubu örneklerinde (23.43) bulunmuştur.  $C^*$ ’de tek komponentli uygulamada %0.98 oranında ve çift komponentli uygulamada %13.10 oranında azalışlar bulunmuştur.  $C^*$  değeri kontrol örnekleri ağartılmış örneklerinden yüksek

olarak elde edilmiştir (Tablo 4).  $h_o$  değerlerine bakıldığında en düşük kontrol örneklerinde (69.86) belirlenirken, en yüksek çift komponentli uygulamada (82.08) görülmüştür.  $h_o$  değerinde tek komponentli uygulamada %4,54 oranında ve çift komponentli uygulamada %17, 49 oranında artışlar belirlenmiştir.  $h_o$  değerinde kontrol örnekleri ağartılmış örneklerinden düşük olarak tespit edilmiştir (Tablo 4). Her iki komponentli kimyasal uygulaması sonrasında  $60^\circ$  ve  $85^\circ$ 'lerde parlaklık değerleri her iki yönde de azalışlar göstermiştir. Liflere paralel yöndeki  $20^\circ$ 'de parlaklık değeri ise her iki kimyasal uygulamada artış sergilemiştir (tek komponentlide %19.35 ve çift komponentlide %29.03). Kontrol örnekleri için  $60^\circ$  ve  $85^\circ$ 'lere ait parlaklık değerlerinde liflere dik ölçüm değerleri, liflere paralel yöndekilerden düşük elde edilmiştir (Tablo 4). Her iki kimyasal uygulaması sonrasında  $WI^*$  değerlerinde liflere dik yönde azalmalar elde edilirken (tek komponentlide %19.51 ve çift komponentlide %8.58), liflere paralel yönde ise artışlar belirlenmiştir (tek komponentlide %58.51 ve çift komponentlide %185.00) (Tablo 4).

**Tablo 2.** Toplam Renk Farklılıklarına Ait Sonuçlar

Ahşap Ağartıcı Kimyasal Türü	$\Delta L^*$	$\Delta H^*$	$\Delta b^*$	$\Delta C^*$	$\Delta a^*$	$\Delta E^*$	Renk değiştirme Kriterleri (Cividini ve ark., 2007)
Tek Komponentli	5.56	1.28	0.18	-0.23	-1.28	5.71	Orta kalitede ekranda görülen renk farkı ( $6 > \Delta E^* > 3$ )
Çift Komponentli	14.25	4.53	-1.64	-3.07	-5.22	15.27	Farklı renk ( $\Delta E^* > 12$ )

**Tablo 3.** Bütün Testlere Ait Belirlenmiş Olan Çok Değişkenli Varyans Analizi Sonuçları

Varyans Kaynağı	Test	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$
Ahşap Ağartıcı Kimyasal Türü	Işıklılık ( $L^*$ )	1031.571	2	515.786	173.026	0.000*
	Kırmızı ( $a^*$ ) renk tonu	148.208	2	74.104	245.654	0.000*
	Sarı ( $b^*$ ) renk tonu	20.157	2	10.079	7.739	0.002*
	Kroma ( $C^*$ )	58.500	2	29.250	24.479	0.000*
	Ton ( $h^\circ$ ) açısı	804.393	2	402.196	410.644	0.000*
	$120^\circ$ 'de parlaklık	0.096	2	0.048	5.492	0.010*
	$160^\circ$ 'de parlaklık	21.939	2	10.969	480.799	0.000*
	$185^\circ$ 'de parlaklık	84.523	2	42.261	1080.545	0.000*
	$20^\circ$ 'de parlaklık	0.168	2	0.084	9.450	0.001*
	$60^\circ$ 'de parlaklık	13.286	2	6.643	114.534	0.000*

	85° de parlaklık	439.563	2	219.781	394.135	0.000*
	WT* dik (⊥)	212.851	2	106.425	31.317	0.000*
	WT* paralel (  )	3641.617	2	1820.808	846.771	0.000*
Hata	Işıklık (L*)	80.486	27	2.981		
	Kırmızı (a*) renk tonu	8.145	27	0.302		
	Sarı (b*) renk tonu	35.164	27	1.302		
	Kroma (C*)	32.262	27	1.195		
	Ton (h°) açısı	26.445	27	0.979		
	120° de parlaklık	0.236	27	0.009		
	160° de parlaklık	0.616	27	0.023		
	185° de parlaklık	1.056	27	0.039		
	20° de parlaklık	0.240	27	0.009		
	60° de parlaklık	1.566	27	0.058		
	85° de parlaklık	15.056	27	0.558		
	WT* dik (⊥)	91.756	27	3.398		
	WT* paralel (  )	58.058	27	2.150		
Toplam	Işıklık (L*)	159181.138	30			
	Kırmızı (a*) renk tonu	1199.827	30			
	Sarı (b*) renk tonu	13936.585	30			
	Kroma (C*)	15048.736	30			
	Ton (h°) açısı	169544.839	30			
	120° de parlaklık	16.760	30			
	160° de parlaklık	320.860	30			
	185° de parlaklık	138.380	30			
	20° de parlaklık	15.960	30			
	60° de parlaklık	438.980	30			
	85° de parlaklık	1226.780	30			
	WT* dik (⊥)	27726.240	30			
	WT* paralel (  )	23751.520	30			
Düzeltilmiş Toplam	Işıklık (L*)	1112.058	29			
	Kırmızı (a*) renk tonu	156.353	29			
	Sarı (b*) renk tonu	55.321	29			
	Kroma (C*)	90.762	29			
	Ton (h°) açısı	830.837	29			
	120° de parlaklık	0.332	29			
	160° de parlaklık	22.555	29			
	185° de parlaklık	85.579	29			
	20° de parlaklık	0.408	29			
	60° de parlaklık	14.852	29			
	85° de parlaklık	454.619	29			
	WT* dik (⊥)	304.607	29			
	WT* paralel (  )	3699.675	29			
*: Anlamlı						



**Tablo 4.** Bütün Testlere Ait Belirlenmiş Olan Ölçüm Sonuçları

Test	Ahşap Ağartıcı Kimyasal Türü	Ölçüm Sayısı	Ortalama	Değişim Oranları(%)	Homojenlik Grubu	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Varyasyon Katsayısı
<b>L*</b>	Ağartılmamış	10	65,99	-	C**	0.65	65.27	66.95	0.98
	Tek Komponentli	10	71,54	↑8.41	B	2.58	68.64	77.67	3.60
	Çift Komponentli	10	80,24	↑21.59	A*	1.37	77.37	82.07	1.71
<b>C*</b>	Ağartılmamış	10	23,43	-	A*	0.30	23.06	23.96	1.29
	Tek Komponentli	10	23,20	↓0.98	A	1.06	21.90	24.67	4.58
	Çift Komponentli	10	20,36	↓13.10	B**	1.54	18.28	23.18	7.55
<b>b*</b>	Ağartılmamış	10	22,00	-	A	0.25	21.65	22.39	1.16
	Tek Komponentli	10	22,18	↑0.82	A*	0.89	20.93	23.50	4.02
	Çift Komponentli	10	20,36	↓7.45	B**	1.75	18.13	22.99	8.57
<b>a*</b>	Ağartılmamış	10	8,07	-	A*	0.35	7.30	8.51	4.38
	Tek Komponentli	10	6,78	↓15.99	B	0.79	5.82	7.81	11.63
	Çift Komponentli	10	2,84	↓64.81	C**	0.40	2.20	3.26	13.98
<b>h°</b>	Ağartılmamış	10	69,86	-	C**	0.77	68.94	71.61	1.10
	Tek Komponentli	10	73,03	↑4.54	B	1.33	71.26	74.81	1.82
	Çift Komponentli	10	82,08	↑17.49	A*	0.77	80.93	83.20	0.93
<b>WI* (⊥)</b>	Ağartılmamış	10	33,32	-	A*	0.20	33.00	33.60	0.60
	Tek Komponentli	10	26,82	↓19.51	C**	2.49	24.00	29.60	9.28
	Çift Komponentli	10	30,56	↓8.28	B	1.99	29.30	34.50	6.52
<b>WI* (∥)</b>	Ağartılmamış	10	14,27	-	C**	1.25	12.90	15.90	8.79
	Tek Komponentli	10	22,62	↑58.51	B	0.51	22.00	23.20	2.23
	Çift Komponentli	10	40,67	↑185.0	A*	2.15	37.80	42.50	5.29
<b>∥20°</b>	Ağartılmamış	10	0,62	-	B**	0.04	0.60	0.70	6.80
	Tek Komponentli	10	0,74	↑19.35	A	0.12	0.60	0.90	15.86
	Çift Komponentli	10	0,80	↑29.03	A*	0.11	0.70	0.90	13.18
<b>∥60°</b>	Ağartılmamış	10	4,65	-	A*	0.24	4.30	5.00	5.19
	Tek	10	3,58	↓23.01	B	0.30	3.10	3.80	8.41

	Komponentli								
	Çift Komponentli	10	3,05	↓34.41	C**	0.16	2.90	3.20	5.18
85°	Ağartılmamış	10	10,10	-	A*	1.15	8.70	11.80	11.43
	Tek Komponentli	10	4,30	↓57.43	B	0.56	3.30	4.70	12.97
	Çift Komponentli	10	0,82	↓91.88	C**	0.17	0.70	1.10	20.57
⊥20°	Ağartılmamış	10	0,70	-	B**	0.00	0.70	0.70	0.00
	Tek Komponentli	10	0,70	0.00	B**	0.16	0.50	0.90	22.34
	Çift Komponentli	10	0,82	↑17.14	A*	0.04	0.80	0.90	5.14
⊥60°	Ağartılmamış	10	4,36	-	A*	0.20	4.20	4.70	4.48
	Tek Komponentli	10	2,62	↓39.91	B	0.10	2.50	2.80	3.94
	Çift Komponentli	10	2,48	↓43.12	C**	0.14	2.30	2.70	5.64
⊥85°	Ağartılmamış	10	3,70	-	A*	0.32	3.30	4.20	8.64
	Tek Komponentli	10	0,10	↓97.30	B**	0.00	0.10	0.10	0.00
	Çift Komponentli	10	0,18	↓95.14	B	0.12	0.10	0.40	68.29
*: En yüksek değeri ifade etmektedir, **: En düşük değeri ifade etmektedir.									

Literatürde yapılan ahşap malzemeler üzerindeki ağartma çalışmalarına bakıldığında;

NaClO kimyasalı uygulamasına sahip sapelli (*Entandrophragma cylindricum*) (Ulay ve Ayata, 2023b), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) (Ulay ve Ayata, 2023c), sipo (*Entandrophragma utile*) (Ulay ve Ayata, 2023a), Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) (Ulay ve Ayata, 2023d) ahşaplarda,

- NaOH kimyasalı uygulamasına sahip sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve doğu kayını (*Fagus orientalis*) (Özçifçi ve Özbay, 2010), ayous (*Triplochiton scleroxylon*), ıhlamur (*Tilia spp.*) ve kavak (*Populus* L.) (Lu ve ark., 2023) ahşaplarında,

- H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kimyasalı uygulamasına sahip sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve doğu kayını (*Fagus orientalis*) (Özçifçi ve Özbay, 2010), Japon melez (*Larix kaempferi*) ve Moğol meşesi (*Quercus mongolica*) (Park ve ark., 2022), ladin (*Picea orientalis* L. Link.) ve meşe (*Quercus sessiliflora* Salisb.) (Ozcifci ve ark., 2009), huş (*Betula platyphylla* Suk.) (Liu ve ark., 2015), bambu (*Indosasa angustata*) (Nguyen ve ark., 2019), Maritime çamı (*Pinus pinaster*) (Mehats ve ark., 2021) ahşaplarında, renk parametrelerinin değiştiği bildirilmiştir.

#### 4. SONUÇLAR

Her iki ahşap ağartıcı kimyasallarına ait uygulamalar sonralarında  $a^*$  ve  $C^*$  değerlerinde azalışlar görülürken,  $L^*$  ve  $h_0$  değerlerinde artışlar tespit edilmiştir.  $60^\circ$  ve  $85^\circ$ 'lerde parlaklık değerleri her iki komponentli kimyasal uygulaması sonrasında her iki yönde de azalışlar vermiştir. -  $WI^*$  değerinde her iki kimyasal uygulaması sonrasında liflere dik yönde azalmalar elde bulunurken, liflere paralel yönde artışlar tespit edilmiştir.

#### Teşekkür

Çalışmada kullanılan cihazların temin edilmesinde Doç. Dr. Ümit AYATA'ya teşekkür ederiz.

## KAYNAKÇA

- Toumpanaki, E., Shah, D.U., and Eichhorn, S.J. (2021). Beyond what meets the eye: Imaging and imagining wood mechanical-structural properties, *Advanced Materials*, 33(28): 2001613. DOI: 10.1002/adma.202001613.
- Wu, Y., Tang, C., Wu, J., and Huang, Q. (2018). Research progress of transparent wood: a review, *Journal of Forestry Engineering*, 3(4): 12-18. DOI: 10.13360/j.issn.2096-1359.2018.04.002
- Hu, J., Liu, Y., and Wu, Z. (2020). Structural color for wood coloring: A Review, *BioResources*, 15(4): 9917-9934. DOI: 10.15376/biores.15.4.Hu.
- Desch, H.E. (1981). *Timber: Its Structure, Properties and Utilisation*, The Macmillan Press Ltd, 6<sup>th</sup> ed: London.
- Barbier, C., Merzeau, D., Pastuszka, P., and Charpentier, J.-P. (2016). Une première collection nationale de robiniers. *Forêt-Entreprise* 226, 10–19.
- Little, E.L.J. (1971). *Atlas of United States trees, volume 1, conifers and important hardwoods*. U.S. Department of Agriculture Miscellaneous Publication.
- Zhang, L., Wang, J., Bai, Z., and LV, C. (2015). Effects of vegetation on runoff and soil erosion on reclaimed land in an opencast coal-mine dump in a loess area. *Catena*, 128, 44-53. DOI: 10.1016/j.catena.2015.01.016.
- Olson, D.F. (1974). *Robinia L., locust*. In *Seeds of woody plants in the United States*. p. 728-731. C. S. Schopmeyer, tech. coord. U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook* 450. Washington, DC. 883 p
- Roach, B.A. (1965). *Black locust (Robinia pseudoacacia L.)*. In *Silvics of forest trees of the United States*. p. 642-648. H. A. Fowells, comp. U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook* 271. Washington, DC.
- Anonim (1970). Soil Conservation Service, camp., *Distribution of principal kinds of soils: orders, suborders, and great groups*. In *The National Atlas*, p. 86. U.S. Department of the Interior, Geological Survey, Washington, DC.
- Zheng, W.J. (1985). *Tree flora of China, vol. 2*. China Forestry Publishing House, Beijing.

- Bozkurt, A.Y., Göker, Y., Erdin, N. (1993). Emprenye Tekniği, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, İ.Ü. Yayın No: 3779, O.F. Yayın No: 425, ISBN 975-404-327-2 İstanbul.
- Göker, Y. (1982). Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.)'nın teknolojik özellikleri ve kullanım yerleri, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 99-104.
- Hart, J.H. (1968). Morphological and chemical differences between sapwood, discolored sapwood, and heartwood in black locust and osage orange, *Forest Science*, 14(3): 334-338.
- Ahn, W.Y. (1985). Strength properties and chemical composition of black locust, *Robinia pseudoacacia* L. wood, *Science and Technology (Mogjæe-Conghak)*, Korea Republic, 13(6): 3-8.
- Vasiliki, K., Ioannis, B., and Vassilios, V. (2016). Prospects for the utilization of black locust wood (*Robinia pseudoacacia* L.) coming from plantations in furniture manufacturing, 27<sup>th</sup> International Conference on Wood Modification and Tehnology 2016 Implementation of Wood Science in Woodworking Sector, 123-128.
- Koloc, K. (1953). Werkstoff, Kartei Holz Grundmappe.
- Ayata, Ü., ve Bal, B.C. (2020). Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) odununda bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, *Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Teori ve Araştırmalar II*, Gece Kitaplığı Yayınevi, Ankara. ISBN: 978-625-7319-11-9.
- Cavus, V., Sahin, S., Esteves, B., and Ayata, U. (2019). Determination of thermal conductivity properties in some wood species obtained from Turkey, *Bioresources*, 14(3): 6709-6715. DOI: 10.15376/biores.14.3.6709-6715.
- Baysal, E. (1994). Çeşitli Borlu ve WR Bileşiklerin Kızılcam Odununun Bazı Fiziksel Özelliklerine Etkisi, K.T.Ü. Fen Bil. Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- TS ISO 13061-1 (2021). Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 1: Fiziksel ve mekanik deneyler için nem muhtevasının belirlenmesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- ASTM D 2244-3 (2007). Standard practice for calculation or color tolerances and color, differences from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Molino, J.A., Kennedy, J.F., Beuse, P.A., Miller, C.C., Davis, W., and Andersen, C.K. (2013). Daytime color appearance of retroreflective

- traffic control sign materials (No. FHWA-HRT-13-018). United States. Federal Highway Administration.
- Cividini, R., Travan, L., and Allegretti, O. (2007). White beech: A tricky problem in drying process, in: International Scientific Conference on Hardwood Processing (ISCHP), Québec City, Canada, pp. 135-140.
- ASTM E313-15e1 (2015). Standard practice for calculating yellowness and whiteness indices from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ISO 2813 (2014). Paints and varnishes - Determination of gloss value at 20°, 60° and 85°, Standard, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 2813 (1994). Paints and varnishes - determination of specular gloss of non-metallic paint films at 20 degrees, 60 degrees and 85 degrees, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Ulay, G., ve Ayata, Ü., (2023b). İç mekân temizlik kimyasalına maruz kalmış sapelli (*Entandrophragma cylindricum*) odununda renk parametrelerinin incelenmesi, Duvar Kitapevi, Küreselleşen Dünyada Ziraat, Orman Ve Su Ürünleri, Editör: Prof. Dr. Alaeddin BOBAT, Bölüm Sayfaları: 61-75. ISBN: 978-625-6945-39-5.
- Ulay, G., ve Ayata, Ü. (2023c). Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odununda renk parametreleri üzerine sodyum hipoklorit (NaClO) kimyasalının etkisi, Karadeniz 12. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, 3-5 Mart 2023, Rize, 380-388.
- Ulay, G., ve Ayata, Ü. (2023a). Farklı uygulama yöntemleri kullanılarak iç mekân temizlik kimyasalı ile muamele edilmiş sipo (*Entandrophragma utile*) odununda renk parametrelerinin araştırılması, ICHEAS 4. Uluslararası Sağlık, Mühendislik Ve Uygulamalı Bilimler Kongresi, 14-16 Nisan 2023, Dubai, 24-31.
- Ulay, G., ve Ayata, Ü. (2023d). Isıl işlem görmüş Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) odununda bazı yüzey özellikleri üzerine çeşitli kimyasalların etkileri, Latin Amerika 5. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Medellin, 17-19 Mart 2023, 114-124.
- Özçifçi, A., and Özbay, G. (2010). Impacts of bleaching chemicals and outdoor exposure on changes in the color of some varnished woods, BioResources, 5(2): 586-597. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2006.2014.03.024.

- Lu, D., Xiong, X., Lu, G., Gui, C., and Pang, X., (2023). Effects of NaOH/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> bleaching pretreatment method on wood dyeing Properties, *Coatings*, 13(2): 233. DOI: 10.3390/coatings13020233.
- Park, K.C., Kim, B., Park, H., and Park, S.Y. (2022). Peracetic acid treatment as an effective method to protect wood discoloration by UV light, *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 50(4): 283-298. DOI: 10.5658/WOOD.2022.50.4.283.
- Ozcifci, A., Yapici, F., Altun, S., Toker, H., Baysal, E., Senel, A., and Simsek, H. (2009). Glossiness, color stability, and surface roughness of wood treated with some bleaching chemicals, *Wood Research*, 54(2): 83-94.
- Liu, Y., Guo, H., Gao, J., Zhang, F., Shao, L., and Via, B.K. (2015). Effect of bleach pretreatment on surface discoloration of dyed wood veneer exposed to artificial light irradiation, *BioResources*, 10(3): 5607-5619. DOI: 10.15376/biores.10.3.5607-5619.
- Nguyen, Q.T., Nguyen, T., and Nguyen, N.B. (2019). Effects of bleaching and heat treatments on *Indosasa angustata* bamboo in Vietnam, *Bioresources*, 14(3): 6608-6618. DOI: 10.15376/biores.14.3.6608-6618.
- Mehats, J., Castets, L., Grau, E., and Grelier, S. (2021). Homogenization of maritime pine wood color by alkaline hydrogen peroxide treatment, *Coatings*, 11(7): 839. DOI: 10.3390/coatings11070839.

**BÖLÜM 3**  
**KİTOSANIN CİLT VE SAÇ BAKIMINDA KULLANIM**  
**ALANLARI**

Dr. Öğr. Üyesi İkbal Demet NANE<sup>1</sup>

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10435215>

---

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kozmetik Teknolojileri Programı, Türkiye, [ikbalnane@isparta.edu.tr](mailto:ikbalnane@isparta.edu.tr)





## 1. GİRİŞ

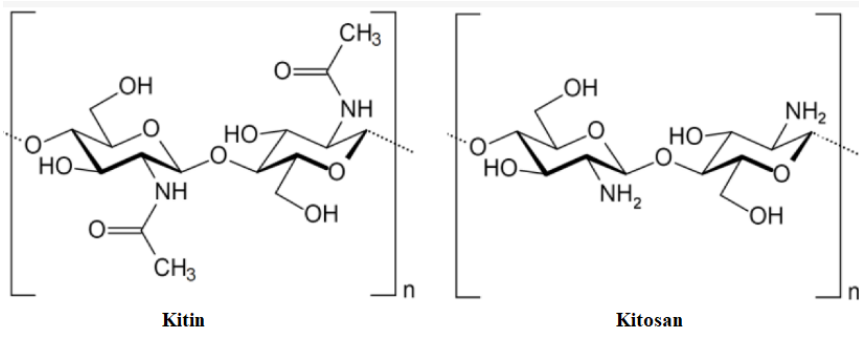
Mevcut uluslararası düzenlemeler, birçok kimyasalın kozmetik ürünlerinde kullanımını yasaklamaktadır. Bu düzenlemeler, kozmetik endüstrisini "yeşil kozmetiğe" yönlendirmekte ve eko-sürdürülebilirliği geliştirilmiş ürünlere olan talebi artırmaktadır. Bu durum kozmetik malzemelerde zararsız içerik maddelerinin bulunması için kapsamlı araştırmaların yapılmasına neden olmaktadır. Bu araştırmalar, geleneksel petrokimya kaynaklı maddelerin yerini daha çevre dostu seçeneklerin alması konusunda çalışmaları sürdürmektedir (Llamas vd., 2015; Mahesh vd., 2019; Luengo vd., 2021). Petrokimya endüstrisi ise kozmetik ürünlerde kullanılan sentetik kimyasallar için bir altlık görevi görmektedir. Bu sektörün önemli ürünlerinden biri de polimerlerdir. Petrokimya türevli olarak üretilen polimerler, kozmetik malzemelerde sıklıkla modifiye edici, emülgatör, film oluşturucu, fiksatif ve köpük stabilizatörleri gibi çeşitli işlevleri yerine getirmek amaçlı kullanılmaktadır (Savary vd., 2016; Alves vd., 2020; Tafuro vd., 2021). Polimerler dört gruba ayrılmaktadır; sentetik polimerler, polisakkarit bazlı polimerler, proteinler ve silikonlar (Ricapito vd., 2016). Polisakkaritler, moleküler formlarında pek çok hidroksil grubu bulunduran, kompleks karbonhidrat polimerleridir. Son yıllarda kozmetik ve kişisel bakım reçetelerinin geliştirilmesinde kullanılmaktadır (Al-Maadeed vd., 2020). Polisakkaritler, doğal polimerler olarak biyolojik kaynaklardan elde edilebilirler ve biyoyumlu özellikleri sayesinde insan cildi ile uyumlu olarak çalışabilirler. Bu özellikleri nedeniyle, polisakkaritler, kozmetik ürünlerinde, özellikle de nemlendiriciler, güneş koruyucuları, saç bakım ürünleri ve makyaj malzemeleri gibi ürünlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Huang ve Brazel, 2001; Freitas vd., 2015). Bunun yanı sıra, polisakkaritler, reolojik özelliklerini değiştirerek ürünlerin yapısını ve kıvamını iyileştirebilirler (Wypych, 2023). Polisakkaritler de kendi aralarında yüklerine ve konformasyonlara göre ayrılarak, farklı kozmetik ürünlerde hammadde olarak kullanım alanı bulmaktadırlar (Cumpstey, 2013). Bu hammaddelerden biri olan kitosan ve kitosan türevleri, kabuklu deniz hayvanlarının kabuklarında ve bazı mantar

türlerinde doğal olarak bulunan bir polisakkarittir. Kitosanın yapısındaki kitin, selülozdan sonra dünyada en bol bulunan doğal polisakkarittir (Üçgül vd., 2016; Dursun vd., 2010). Kitosanın biyolojik olarak parçalanabilir olması, çevre dostu malzeme olarak kullanımını teşvik etmektedir. Ayrıca kitosan düşük üretim maliyetleri ile de son yıllarda kullanılabilirliğini ve sürdürülebilirliğini artırmıştır (Guzmán vd., 2022). Kitosanın kozmetik endüstrisi için önemli olmasının sebepleri; antibakteriyel, antifungal ve antiviral özellikleri, tıbbi ve hijyenik ürünlerde kullanımını mümkün kılmasıdır (Rinaudo, 2006).

Kitosan, doğal bir polimerdir ve son yıllarda cilt ve saç bakımına yönelik kozmetik formülasyonlarda popüler bir bileşen haline gelmiştir. Bu trend, kozmetik endüstrisindeki araştırmaların kitosanın farklı kozmetik ve kozmesötik ürünlerde kullanımını keşfetmesine yol açmıştır (Maliki vd., 2022). Bu derleme, kitosanın kozmetik endüstrisindeki potansiyel uygulamalarını incelemek için hazırlanmıştır. Kitosanın doğal olarak türetilmiş bir polimer olması, kozmetik endüstrisi için sürdürülebilir bir seçenek olması nedeniyle önemlidir. Ayrıca, sentetik polimerlerin yerine kullanıldığında, daha güvenli ve sürdürülebilir ürünlerin üretilmesine yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

### **1.1. Kitosanın Fizikokimyasal Özellikleri**

Kitin, ilk olarak 1884'te tanımlanan büyük öneme sahip doğal bir polisakarittir. Bu biyopolimer çok sayıda canlı organizma tarafından sentezlenir ve dünyada her yıl üretilen kitin miktarı göz önüne alındığında, selülozdan sonra en bol bulunan polimerdir. Kitin doğada eklem bacaklıların dış iskeletinde; mantar ve mayanın hücre duvarlarında yapısal bileşenler oluşturan düzenli kristalin mikrofibriller halinde bulunur (Rinaudo, M., 2006). Kitinin diasetilasyon derecesi yaklaşık %50'ye ulaştığında (polimerin orijinine bağlı olarak), sulu asidik ortamda çözünür hale gelir ve kitosan olarak adlandırılır. Kitosan, doğal katyonik polimerdir ve bu nedenle benzersiz karakterinden dolayı birçok uygulama alanı bulmaktadır (Sakamoto vd., 2000). Şekil 1'de kitin ve kitosanın moleküler yapıları verilmiştir.



**Şekil 1.** Kitin ve kitosanın moleküler yapıları (Younes & Rinaudo, 2015)

Kitin ve kitosanın fizikokimyasal ve biyolojik özellikleri, hammadde türüne ve izolasyon yöntemlerine bağlı olarak değişmektedir. Kitin genellikle sulu çözeltilerde ve organik çözücülerde çözünmez, çok nadir olarak birkaç çözücüde çözünmektedir (Younes, & Rinaudo, 2015). Bu yüzden işlenmemiş kitinin, sulu çözeltilerde düşük çözünürlüğü nedeniyle, kozmetik ürünlerde kullanımı sınırlıdır (Heidari vd., 2018). Kitosan ise su, asetik asit ve hidroklorik asit gibi organik çözücülerde sürekli kullanılan çözücülerde basitçe çözünebilir (Zajac vd., 2015). Kitosan asidik sulu ortamda çözünebilir bir polisakarittir ve çözünürlüğü moleküllerin yük yoğunluğuna bağlıdır, aynı zamanda ortamın pH değişikliklerine duyarlıdır. Kitosan, düşük pH değerlerinde çözünebilirken, nötr ve/veya yüksek pH değerlerinde çözünmez. Kitosanın  $pK_a$  değeri, içerdiği amin grupları nedeniyle 6,5 civarındadır ve bu asidik ortamda çözünür olduğunu desteklemektedir (Zargar vd., 2015). Kitosan sulu çözeltilerde viskoziteyi artıran polisakarittir. Bu durum, kitosanın polielektrolitik özelliğinden kaynaklanan yüksek yüzey yük yoğunluğuna bağlıdır. Bu yüksek yüzey yük yoğunluğu, kitosanın amin ve hidroksil grupları arasında büyük hidrojen bağlarının oluşmasını teşvik eder, bu da viskoz çözeltilerin oluşumunu tetiklemektedir. Ayrıca, kitosanın yüzey yük yoğunluğu, diasetilasyon derecesine bağlı olarak değişir ve bu nedenle kitosanın viskozitesi de diasetilasyon derecesine bağlı olarak değişmektedir (Chaiyasana vd., 2017).

## 1.2. Kitosanın Antimikrobiyal Özellikleri

Kitosan, bakteri, mantar ve maya dahil olmak üzere farklı mikroorganizmalara karşı iyi bir antimikrobiyal aktivite sunmaktadır. Antimikrobiyal aktivitenin etki mekanizmasının gerçekleşmesini sağlayan pek çok parametre mevcuttur. Araştırmacıların yaptığı çalışmalarda, kitosanın

antibakteriyel davranışının Gram-pozitif bakteriler üzerinde, Gram-negatif bakterilere oranla daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır (Campana vd., 2017).

Kitin beyaz, sert, elastik olmayan ve nitrojenli bir polisakkarit olup, sınırlı bir kimyasal reaktivite sergiler ve hayvanlarda kolajenlere ve bitkilerde selüloza benzer bir role sahiptir (Triunfo vd., 2021). Kitosan, biyolojik aktivitelerinden kaynaklanan farklı işlevsel özelliklere sahiptir, örneğin antikolesterolemik, yara iyileştirici, antikanser, fungistatik, hemostatik, analjezik, anti-asit, antiülser veya immünoadjuvan gibi özelliklere sahiptir (Zargar vd., 2015; Cheba, 2011). Kozmetik endüstrisi için özel olarak, kitosan yaygın olarak bir yardımcı madde ve biyoaktif bileşen olarak kullanılmaktadır. Bu sınırlı toksisite, biyoyumluluk ve biyolojik olarak parçalanabilirlik gibi birkaç özelliği kitosan kullanarak elde etmek mümkündür (Casadidio vd., 2019).

### **1.3. Kitosanın Antioksidan Aktivitesi**

Kitosan, moleküler yapısında bulunan hidroksil ve amino grupları sayesinde antioksidan özelliklere sahiptir. Bu aktif gruplar, serbest radikalleri yakalayarak ve stabilizasyon sağlayarak oksidatif stresin etkilerini azaltabilmektedir (Abd El-Hack vd., 2020). Kitosanın antioksidan aktivitesi, lipid peroksidasyonunu inhibe etme, süperoksit radikallerini nötralize etme ve diğer antioksidan enzimlerin aktivitesini artırma yoluyla gerçekleşebilmektedir. Kitosanın antioksidan özelliklerinin, seçilen polimerlerin spesifik moleküler özelliklerine bağlı olduğu da bildirilmektedir (Demetgül & Beyazit, 2018). Bu parametre, kısa zincirlerin hidroksil grupları arasında molekül içi hidrojen bağları oluşturma eğiliminin çok sınırlı olduğu, bunun da radikallerin ortadan kaldırılması için, hidrofilik grupların sayısının artmasına yol açtığı düşünülmektedir (Abd El-Hack vd., 2020). Farklı çalışmalarda antioksidan aktivitesinin iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir (Rajalakshmi vd., 2013; Xing, vd., 2005; Luan vd., 2018).

### **1.4. Kitosanın Penetrasyonu**

Kitosan, cildin derin katmanlarına nüfuz etme yeteneğiyle dikkat çekmektedir. Bu durum, kitosanın ciltte penetrasyon artırıcı bir rol oynayabileceği anlamına da gelmektedir (Chaiyasan vd., 2017; Abd El-Hack vd., 2020). Yapılan bir çalışmada araştırmacılar; kitosanlı jellerin içine kapsül gömerek, cildin içine nüfuzunu incelemişlerdir. Kitosanın polimerin pozitif yükleri aracılığıyla, stratum granülozumun sıkı bağ dokusunu aşarak,

kozmetik formülasyonların daha derin katmanlara ulaşmasını sağlamıştır (Contri vd., 2016). Başka bir çalışmada kitosanın saç diplerine olan etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmada, TOF-SIMS kullanılarak kitosanın saç diplerine ulaştığı ve etkili bir şekilde nüfuz ettiği bildirilmiştir. Bu durum kitosanın pozitif yükleri sayesinde sağlanmaktadır (Kojima vd., 2011).

## 2. Cilt ve Saç Bakım Ürünlerinde Kitosan Kullanımı

Kozmetik, hijyen ve kişisel bakım alanlarındaki uygulamalar için farklı zincir uzunluklarına ve farklılaştırılmış özelliklere sahip kitosanların yanı sıra kitosan türevleri de üretmek mümkündür. Kitosan tabanlı üretilen ürünler sadece kozmetik açıdan değil sağlık açısından da fayda sağlamaktadır. Kozmetik endüstrisi için üretilen ürünlerde esansiyel yağlar, vitaminler, enzimler, antioksidanlar ve fitokimyasal gibi aktif bileşen içeren yarar sağlayıcılar da bulunmaktadır. Krem, losyon ve merhem olarak uygulanabilirler (Lima vd. 2012; Muñoz vd. 2012; Senevirathne vd., 2011). Son yıllarda üreticilerin kitosanı saç, dudak ve cilt bakımı dünyasında kullanmasıyla; kişisel bakım için güvenli ve doğal bileşenlerin piyasada devrim yaratmasına olanak sağlamıştır (Morin-Crini vd., 2019). Kitosan, özellikle yengeç, karides ve ıstakoz gibi kabuklu deniz hayvanlarının iskeletlerinden elde edilmektedir (Hamedi vd., 2018). Ancak, doğal kaynaklardan elde edilen kitosanın kullanımı, potansiyel olarak zoonoz hastalık bulaşma riski, biyolojik çeşitlilik kaybı ve nesli tükenmekte olan türlerin korunması gibi etik sorunlar ve endişeler nedeniyle kozmetik uygulamalar için uygun görülmemektedir (Abedin vd., 2020; Cristiano & Guagni, 2022). Bu durum, bitkilerden veya biyoteknolojik yöntemlerle üretilen kitosanın kozmetikte kullanımını son zamanlarda artırmıştır. Özellikle, kitosanın mantar hücre duvarları fermantasyonu yoluyla izole edilmesi, kozmetik açıdan kabul edilebilir özelliklere sahip bu polimerin elde edilmesi için son derece ilginç ve ekonomik bir strateji olarak geliştirilmiştir (Cristiano & Guagni, 2022).

Kitosanın birçok fonksiyonel özelliğinin maskara, saç kremi, saç köpüğü, ağız bakım, tırnak ve vücut kremi gibi pek çok kozmetik ve kişisel bakım formülasyonlarında kullanılmasını amaçlayan araştırmalar her geçen gün artmaktadır (Aranaz vd., 2018). Kitosanın, saçlar ve ciltte kullanımını; kationiklik, film oluşturma yeteneği, nem tutma ve biyoaktif maddelerin kontrollü salınımı yeteneği sayesinde sağlamaktadır (Morin-Crini vd., 2019). Buna ek olarak kitosan, nişasta, glikoz, sakkaroz, yağlar, mumlar, asitler,

emülsifiye ediciler ve zamklar gibi kozmetik formülasyonların içinde bulunan bileşenlerle iyi bir harmonizasyon sağlar (Morin-Crini vd., 2019).

## **2.1. Cilt Bakım Ürünlerinde Kitosan Kullanımı**

Kitosanın antioksidan özellikleri, temizleyiciliği, koruyucu ve nemlendirici özellikleri, onu cilt bakımı uygulamaları için uygun bir hammadde haline getirmektedir. Yaşlanma karşıtı ve nemlendirici bir madde olarak, ultraviyole korumada, cilt temizliğinde ve cildin farklı temel işlevlerini (koruma, emilim, termal düzenleme, savunma vb.) yerine getirme görevlerinde geniş çapta kullanılmaktadır (Casadidio vd., 2019).

Cilt yüzeyinde kitosan, yara dokusunun iyileşmesine katkıda bulunabilmekte ve hava geçirgenliğini azaltarak kollajen sentezini uyarabilmektedir. Bu özelliklerine ilave olarak iyi bir biyolojik uyum, antibakteriyel, hemostatik ve antiinflamatuvar özellikler, ilacın emilimi ve doku yenilenmesinin ve cilt kollajen dokusunun büyümesinin teşvik edilmesi gibi pek çok işleve destek vermektedir. Bu kitosanın geniş bir yelpazedeki cilt bakım ürünlerinin bir bileşeni olarak kullanımını kolaylaştırmaktadır (Peng vd., 2022).

### **2.1.1. Nemlendirici Ürünlerde Kitosan Kullanımı**

Kitosanın nemlendirici olarak kullanılması; negatif yüklü cilt yüzeyine adsorpsiyonuna izin veren katyonik karakterinden yararlanılarak gerçekleştirilmektedir. Ayrıca kitosan, negatif yüklü cilt yüzeyinde adsorbe edilebilir ve epidermisenin stratum korneumunun su içeriğini iyileştirebilir, hücre zarının akışkanlığını arttırabilir kapasitededir (Qin vd., 2002). Bu durumlara ek olarak moleküler ağırlığı ne kadar yüksek olursa, kitosanın nem tutma kapasitesi de o kadar yüksek olur. Bu, moleküller arası hidrojen bağlarının oluşumunu destekleyen, polimer zinciri içindeki mevcut monomerlerin sayısının daha yüksek olduğu dikkate alınarak anlaşılabilir (Shariatinia, 2018). Yapılan bir çalışmada araştırmacılar, karboksimetil kitosanın uygun bir nemlendirici bileşen olarak görev yapabileceğini ve polimer molekül ağırlığının artmasıyla nemlendirme özelliklerinin arttığını göstermişlerdir. Bu nemlendirici etki, polimerin cilt yüzeyinde su buharlaşmasını önleyerek, kitosan tabakası oluşturma yeteneği dikkate alınarak açıklanabilmektedir. Ayrıca aynı araştırmacılar, ciltte tatmin edici bir su içeriği elde etmek için bu polimerin krem deodorantlarda başarılı bir şekilde uygulanabileceğini test etmişlerdir (Chaiwong vd., 2020). Başka bir çalışmada, kitosanın nem adsorpsiyonu yeteneğinin ve hyaluronik asit

bazlı ürünler tarafından sağlanandan daha iyi bir kapasitede olduğu iddia edilmiştir (Mi vd., 2021)

### **2.1.2. Cilt Yaşlanması Ürünlerinde Kitosan Kullanımı**

Cilt yaşlanması, zamanla meydana gelen içsel yaşlanmanın, UV radyasyonu ve kirlilik gibi farklı dış faktörlerin birleşmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durum, ciltte kuruluğa, esnekliğe ve yaşlanmaya sebep olmaktadır (Leonida & Kumar, 2016). Kitosanın cilt yaşlanmasıyla ilişkili sorunları azaltmak üzere, kutanöz su kaybını minimuma indirme ve cildin mekanik özelliklerini (elastikiyet ve pürüzsüzlük) artırma özellikleri rol oynamaktadır (Jimtaisong & Saewan, 2014). Araştırmacılar; kitosanın biyolojik aktivitesinin, UV radyasyonuna aşırı maruz kalmayla ilişkili istenmeyen değişiklikleri en aza indirmek için kullanılabileceğini göstermişlerdir (Kong vd., 2018). Başka bir çalışmada sitrat tamponunda çözünen kitosanın cilt yüzeyinde filmler oluşturma yeteneğinin, stratum korneumdaki pul pul dökülme için kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Libio vd., 2016). Farklı bir çalışmada ise; kozmetik kremler için yeni bir yaşlanma karşıtı bileşen olarak kuaternize karboksimetil kitosan ve organik montmorillonit (kil) oluşan kompozitler tasarlamışlardır. Bu ürün, katmanlı yapısı ve çok sayıda hidrofilik grubu sayesinde nemin emilmesine ve tutulmasına yardımcı olmuş ve UV ışınlarına karşı çok iyi koruma sağlamıştır (Chen vd., 2017).

### **2.1.3. Cilt Temizliği Ürünlerinde Kitosan Kullanımı**

Cilt temizleme prosedürleri, kirli hava veya kozmetik ürünlerin uygulaması ile birikebilecek her türlü maddenin ciltten uzaklaştırılmasını amaçlamaktadır. Kitosanın ve bazı türevlerinin cilt temizleyicileri olarak kullanımı, temizleme sürecine katkıda bulunan aktif bileşenlerin taşıyıcılarının tasarlanması için katyonik doğalarından yararlanılmasıyla mümkün olmaktadır. Bu nedenle, kitosanın molekül yapısındaki pozitif yükler ile cilt yüzeyinin anyonik yükleri arasındaki etkileşim, temizleyicilerin ilk hedefidir (Tunku Mahmud, 2015). Araştırmacılar hazırladıkları kitosan jellerinin sebum düzeylerini herhangi bir yan etki olmadan azaltmak için kullanılabileceğini göstermişlerdir (Theerawattanawit vd., 2022). Başka bir çalışmada nanopartikül formundaki kitosanın sebum seviyelerini kontrol etme yeteneği incelenmiştir. Çalışmada kitosan parçacıkları içeren kozmetik formülasyonla uygulanan tedaviden bir hafta sonra sebum seviyelerinde önemli bir azalma fark edilmiştir. Ayrıca, formülasyon uygulamasından dört



hafta sonra bile cilt yağlılığı sürekli bir azalma göstermiştir. Kitosan ile ilişkili sebum dengelenmesi, kitosanın sebum ile kompleksler oluşturma yeteneği ile ilişkili olduğunu ve bu durumun sebumu uzaklaştırmada etkisini göstermektedir. Aynı zamanda kitosanın, sebumun cilt yüzeyinde birikmesini de önleyici bir film oluşturabildiğini belirtmişlerdir (Tangkijngamvong vd., 2020).

#### **2.1.4. Antibakteriyel Ürünlerde Kitosan Kullanımı**

Kitosanın antibakteriyel aktivitesini açıklayan en kabul edilen mekanizma, pozitif yüklü kitosan molekülünün negatif yüklü bakteri hücre duvarı ile etkileşime girdiği ve bu durumun hücre duvarını zayıflatmakla sonuçlandığı şeklindedir. Bu durum, kitosan zincirlerinin molekül ağırlığına ve yük yoğunluğuna bağlı olarak; bakteri hücresinin inaktive edilmesi ile sonuçlanmaktadır. Sonuç olarak kitosanın molekül ağırlığı ne kadar yüksek olursa, antimikrobiyal gücünün de o kadar iyi olacağı sonucunu göstermektedir (Rejinold vd., 2021). Kitosanın, bakteriyel çoğalma üzerinde yapılan çalışmada, bakterilerin %90'dan daha fazla azaltılabildiği gözlemlenmiştir (Verma vd., 2021). Cilt tedavisi için kitosan mikroiğneleri içeren formülasyonların kullanımının, bakteriyel olarak enflamatuar yanıtı azalttığı, kollajen birikimini ve granülasyon dokusu oluşumunu hızlandırdığını göstermişlerdir (Chi vd., 2020). Farklı bir çalışmada kitosan asetatın *Pseudomonas aeruginosa* ve *Proteus mirabilis*'e karşı aljinat ve gümüş sülfadiazin'den daha yüksek antimikrobiyal etkinlik oluşturduğunu göstermişlerdir. Gram-negatif bakterilere karşı bu yüksek aktivitenin, lipopolisakkarit olan hücre zarının zayıflaması, sonrasında kitosan asetatın içeriye sızması ve bakterilerin daha fazla çoğalmasını önlenmesi mekanizmalarıyla açıklanmaktadır (Burkatovskaya vd., 2006).

#### **2.2. Saç Bakım Ürünlerinde İçerik Olarak Kitosan Kullanımı**

Kitosanın saç bakım ürünlerinde kullanılması ve saçta pek çok yararının olması son zamanlarda daha dikkat çekici şekilde ortaya çıkmaktadır. Saçın nemlenmesini artırması, hasar görmüş saçların yeniden onarılmasına yardımcı olması ve sağlıklı bir parlaklık sağlaması; kitosanın saçta faydalarından yalnızca birkaç tanesidir. Bu özellikleri ile şampuanlar, kalıcı dalga veren ürünler, saç boyaları, şekillendirici losyonlar, saç spreyleri ve saç tonikleri dahil olmak üzere çok çeşitli saç bakım ürünlerinde kitosanın kullanımını teşvik etmeye devam etmektedir (Matusiak vd., 2022; Dutta vd., 2004). Özellikle kitosan ve katyonik türevlerinin, hasarlı saç fiberlerinin

negatif yüklü keratin yüzeyi ile etkileşime girerek, saçı yumuşatma ve saçı güçlendirme gibi özellikler sunmaktadır (Wang vd., 2020).

### 3. Sonuç ve Tartışma

Kitosan; kozmetik sanayiinde kullanılan ilaç salım sistemleri mekanizmalarında oluşturulan mikro ya da nano boyutlu partiküler matris yapıları sentezlemek için kullanılmaktadır. Ayrıca kitosan farklı türdeki polimerlerle kompleks bileşikler yaparak kozmetik malzeme olarak kullanılan kimyasallar oluştururlar. Örneğin; kitosan-hyaluronik asit (Contri vd., 2016), kitosan-aljinat (Kojima vd., 2011), kitosan-karagenan (Hamedi vd., 2018), kitosan-pektin (Abedin vd., 2020), kitosan-ksantan zamkı (Cristiano & Guagni, 2022). Kozmetik endüstrisi, kitosan hidroklorür, kitosan asetat, kitosan laktat, karboksimetil kitosan, kuaternize türevler, oligosakkaritler, kitin sülfat ve karboksimetil kitin gibi farklı kitosan bazlı bileşiklerini kullanır. Bu bileşikler, farklı fizikokimyasal ve biyolojik özellikleri nedeniyle çeşitli kozmetik amaçlar için kullanılabilir. Tablo 1’de kitosanın genel kullanım alanları verilmiştir (Matica vd., 2017; Raafat vd.,2009; Zhong vd., 2020).

**Tablo 1.** Kitosan türevlerinin kullanım alanları

Kitosan Formu	Kullanım Durumu
Kitosan hidroklorür	Özellikle cilt bakım ürünlerinde nemlendirici olarak kullanılır.
Kitosan asetat	Saç bakım ürünlerinde, özellikle saçların şekillendirilmesi ve düzleştirilmesinde kullanılır.
Kitosan laktat	Nemlendirici, antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri nedeniyle, cilt bakım ürünlerinde ve güneş kremlerinde kullanılır.
Karboksimetil kitosan	Yüz temizleme ürünleri ve nemlendiricilerde kullanılan bir bileşiktir.
Kuaternize türevler	Antimikrobiyal özellikleri nedeniyle, cilt bakım ürünlerinde ve saç bakım ürünlerinde kullanılır.

Oligosakkaritler	Antioksidan ve nemlendirici özellikleri nedeniyle, cilt bakım ürünlerinde kullanılır.
Kitin sülfat	Nemlendirici ve antioksidan özellikleri nedeniyle, cilt bakım ürünlerinde kullanılır.
Karboksimetil kitin	Güneş koruyucuları, yüz temizleme ürünleri gibi birçok kozmetik üründe kullanılır.

Derlemenin tamamında kitosanın "yeşil kozmetik" endüstrisinin bazı temel gereksinimlerinin karşılanması için yeni ortaya çıkan bir içerik olduğunun altı çizilmiştir. Bu durum kozmetik uygulamalara yönelik kitosan kullanımındaki hızlı büyümeye de yansımaktadır. Aslında son yıllarda kitosanın kozmetik endüstrisinde kullanımına ilişkin pek çok makale ve patente rastlamak mümkün olmuştur. Ne yazık ki kitosan içeren sınırlı sayıda ticari ürün bulunmaktadır ve kozmetik içerik olarak kullanıldığında çoğu durumda biyoaktivite ve fizikokimyasal özelliklerinden tam anlamıyla yararlanılamamaktadır. Bunun nedeni kitosanın doğal kaynaklardan elde ediliyor olması olarak gösterilebilir ve saf halde bulunduğu şüphelidir. Kozmetik endüstrisinde kullanıma uygun özelliklere sahip kitosan üretimi için ekolojik ve ekonomik sürdürülebilir alternatiflerin aranması zorunludur. Kitosan ve türevleri, kozmetik ürünlere kullanılmaya uygun hale gelmeleri için tasarlanan sentetik yöntemlerle yeterli saflık ve özelliklere ulaşabilirler. Ayrıca, kitosanın yapısal ve fizikokimyasal özellikleri hakkında detaylı bilgi edinmek önemlidir. Ancak, izole edilmiş kitosanın yukarıda belirtilen heterojenliği nedeniyle bu bilgiye ulaşmak her zaman kolay olmayabilir (Kumar vd., 2020).

Kitosanın kozmetik endüstrisindeki yaygın olan potansiyel kullanımlarına rağmen, bu biyopolimer ve türevlerinin optimum kullanımını sağlamak için daha fazla araştırma gerekmektedir. Yukarıda da belirtildiği gibi asıl zorluk, kitosanın elde edildiği kaynaklardan izolasyonu ve saflaştırma işlemlerinin optimizasyonunun gerçekleştirilmesinde yaşanmaktadır. Kitosan için, fizikokimyasal ve biyolojik açıdan karakterizasyonun sağlanması, uygun stratejilerin geliştirilmesi, kitosan kullanımı için gerekli olacaktır. Diğer

yandan, kitosanın kozmetikte kullanımına yönelik ana sınırlamalardan biri, yeni formülasyonların in vitro ve in vivo testlerinin bulunmamasından kaynaklanmaktadır ve bu da bunların etkinliğinin değerlendirilmesini sınırlamaktadır. Bu derlemede, kitosanın cilt ve saç bakım kozmetiklerinde kullanımındaki güncel trendlere güncel bir bakış açısı sunulmaya çalışıldı. Bu derlemenin, kozmetikteki ‘yeşil’ uygulamalarını yerine getirebilecek kozmetik formülasyon geliştiriciler için yararlı olabileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKÇA

- Abd El-Hack, M. E., El-Saadony, M. T., Shafi, M. E., Zabermawi, N. M., Arif, M., Batiha, G. E., ... & Al-Sagheer, A. A. (2020). Antimicrobial and antioxidant properties of chitosan and its derivatives and their applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *164*, 2726-2744.
- Abedin, N., Bashar, R., Jimmy, A. N., & Khan, N. A. (2020). Unraveling Consumer Decisions towards Animal Ingredients in Personal-care Items: The Case of Dhaka City Dwellers. *Am. J. Mark. Res*, *6*, 19-27.
- Al-Maadeed, M. A. A., Ponnamma, D., & Carignano, M. A. (Eds.). (2020). *Polymer science and innovative applications: materials, techniques, and future developments*. Elsevier.
- Alves, T. F., Morsink, M., Batain, F., Chaud, M. V., Almeida, T., Fernandes, D. A., ... & Severino, P. (2020). Applications of natural, semi-synthetic, and synthetic polymers in cosmetic formulations. *Cosmetics*, *7*(4), 75.
- Aranaz, I., Acosta, N., Civera, C., Elorza, B., Mingo, J., Castro, C., ... & Heras Caballero, A. (2018). Cosmetics and cosmeceutical applications of chitin, chitosan and their derivatives. *Polymers*, *10*(2), 213.
- Burkatovskaya, M., Tegos, G. P., Swietlik, E., Demidova, T. N., Castano, A. P., & Hamblin, M. R. (2006). Use of chitosan bandage to prevent fatal infections developing from highly contaminated wounds in mice. *Biomaterials*, *27*(22), 4157-4164.
- Campana, R., Casettari, L., Ciandrini, E., Illum, L., & Baffone, W. (2017). Chitosans inhibit the growth and the adhesion of *Klebsiella pneumoniae* and *Escherichia coli* clinical isolates on urinary catheters. *International Journal of Antimicrobial Agents*, *50*(2), 135-141.
- Casadidio, C., Peregrina, D. V., Gigliobianco, M. R., Deng, S., Censi, R., & Di Martino, P. (2019). Chitin and chitosans: Characteristics, eco-friendly processes, and applications in cosmetic science. *Marine drugs*, *17*(6), 369.
- Chaiwong, N., Leelapornpisid, P., Jantanasakulwong, K., Rachtanapun, P., Seesuriyachan, P., Sakdatorn, V., ... & Phimolsiripol, Y. (2020). Antioxidant and moisturizing properties of carboxymethyl chitosan with different molecular weights. *Polymers*, *12*(7), 1445.

- Chaiyasan, W., Praputbut, S., Kompella, U. B., Srinivas, S. P., & Tiyafoonchai, W. (2017). Penetration of mucoadhesive chitosan-dextran sulfate nanoparticles into the porcine cornea. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 149, 288-296.
- Cheba, B. A. (2011). Chitin and chitosan: marine biopolymers with unique properties and versatile applications. *Global Journal of Biotechnology & Biochemistry*, 6(3), 149-153.
- Chen, K., Guo, B., & Luo, J. (2017). Quaternized carboxymethyl chitosan/organic montmorillonite nanocomposite as a novel cosmetic ingredient against skin aging. *Carbohydrate Polymers*, 173, 100-106.
- Chen, L., Du, Y., Wu, H., & Xiao, L. (2002). Relationship between molecular structure and moisture-retention ability of carboxymethyl chitin and chitosan. *Journal of Applied Polymer Science*, 83(6), 1233-1241.
- Chi, J., Zhang, X., Chen, C., Shao, C., Zhao, Y., & Wang, Y. (2020). Antibacterial and angiogenic chitosan microneedle array patch for promoting wound healing. *Bioactive materials*, 5(2), 253-259.
- Contri, R. V., Fiel, L. A., Alnasif, N., Pohlmann, A. R., Guterres, S. S., & Schäfer-Korting, M. (2016). Skin penetration and dermal tolerability of acrylic nanocapsules: Influence of the surface charge and a chitosan gel used as vehicle. *International journal of pharmaceutics*, 507(1-2), 12-20.
- Cristiano, L., & Guagni, M. (2022). Zooceuticals and cosmetic ingredients derived from animals. *Cosmetics*, 9(1), 13.
- Cumpste, I. (2013). Chemical modification of polysaccharides. *International scholarly research notices*, 2013.
- Demetgül, C., & Beyazit, N. (2018). Synthesis, characterization and antioxidant activity of chitosan-chromone derivatives. *Carbohydrate polymers*, 181, 812-817.
- Dursun, S., Erkan, N., & Yesiltas, M. (2010). Dogal biyopolimer bazli (biyobozunur) nanokompozit filmler ve su ürünlerindeki uygulamalari. *Journal of FisheriesSciences. com*, 4(1), 50.
- Dutta, P. K., Dutta, J., & Tripathi, V. S. (2004). Chitin and chitosan: Chemistry, properties and applications.
- Freitas, F., Alves, V. D., & Reis, M. A. (2015). Bacterial polysaccharides: production and applications in cosmetic industry. In *Polysaccharides* (pp. 2017-2043). Springer, Cham.

- Guzmán, E., Ortega, F., & Rubio, R. G. (2022). Chitosan: A promising multifunctional cosmetic ingredient for skin and hair care. *Cosmetics*, 9(5), 99.
- Hamedí, H., Moradi, S., Hudson, S. M., & Tonelli, A. E. (2018). Chitosan based hydrogels and their applications for drug delivery in wound dressings: A review. *Carbohydrate polymers*, 199, 445-460.
- Heidari, F., Razavi, M., Bahrololoom, M. E., Tahriri, M., Rasoulianboroujeni, M., Koturi, H., & Tayebi, L. (2018). Preparation of natural chitosan from shrimp shell with different deacetylation degree. *Materials Research Innovations*, 22(3), 177-181.
- Huang, X., & Brazel, C. S. (2001). On the importance and mechanisms of burst release in matrix-controlled drug delivery systems. *Journal of controlled release*, 73(2-3), 121-136.
- Jimtaisong, A., & Saewan, N. (2014). Utilization of carboxymethyl chitosan in cosmetics. *International journal of cosmetic science*, 36(1), 12-21.
- Kojima, T., Kitano, H., Niwa, M., Saito, K., Matsushita, Y., & Fukushima, K. (2011). Imaging analysis of cosmetic ingredients interacted with human hair using TOF-SIMS. *Surface and interface analysis*, 43(1-2), 562-565.
- Kong, S. Z., Li, D. D., Luo, H., Li, W. J., Huang, Y. M., Li, J. C., ... & Li, S. D. (2018). Anti-photoaging effects of chitosan oligosaccharide in ultraviolet-irradiated hairless mouse skin. *Experimental gerontology*, 103, 27-34.
- Kumar, M. N. R. (2000). A review of chitin and chitosan applications. *Reactive and functional polymers*, 46(1), 1-27.
- Kumar, M., Vivekanand, V., & Pareek, N. (2020). Insect chitin and chitosan: Structure, properties, production, and implementation prospective. *Natural materials and products from insects: Chemistry and applications*, 51-66.
- Leonida, M. D., & Kumar, I. (2016). *Bionanomaterials for skin regeneration*. Cham: Springer International Publishing.
- Libio, I. C., Demori, R., Ferrão, M. F., Lionzo, M. I., & da Silveira, N. P. (2016). Films based on neutralized chitosan citrate as innovative composition for cosmetic application. *Materials Science and Engineering: C*, 67, 115-124.
- Lima EL, Muñoz LC, Harris RE, Caballaro A.M.H. (2012). Potential applications of chitosan as a marine cosmeceutical. In: Kim SK (ed) Marine cosmeceuticals. Trends and prospects. CRC Press, Taylor &

- Francis Group LLC, Boca Raton, Chapter 24, pp 319– 335. ISBN 9781439860281.
- Llamas, S., Guzman, E., Ortega, F., Baghdadli, N., Cazeneuve, C., Rubio, R. G., & Luengo, G. S. (2015). Adsorption of polyelectrolytes and polyelectrolytes-surfactant mixtures at surfaces: A physico-chemical approach to a cosmetic challenge. *Advances in colloid and interface science*, 222, 461-487.
- Luan, F., Wei, L., Zhang, J., Tan, W., Chen, Y., Dong, F., ... & Guo, Z. (2018). Preparation and characterization of quaternized chitosan derivatives and assessment of their antioxidant activity. *Molecules*, 23(3), 516.
- Luengo, G. S., Fameau, A. L., Leonforte, F., & Greaves, A. J. (2021). Surface science of cosmetic substrates, cleansing actives and formulations. *Advances in Colloid and Interface Science*, 290, 102383.
- Mahesh, S. K., Fathima, J., & Veena, V. G. (2019). Cosmetic potential of natural products: industrial applications. *Natural bio-active compounds: volume 2: chemistry, pharmacology and health care practices*, 215-250.
- Maliki, S., Sharma, G., Kumar, A., Moral-Zamorano, M., Moradi, O., Baselga, J., ... & García-Peñas, A. (2022). Chitosan as a tool for sustainable development: a mini review. *Polymers*, 14(7), 1475.
- Matica, A., Menghiu, G., & Ostafe, V. (2017). BIODEGRADABILITY OF CHITOSAN BASED PRODUCTS. *New Frontiers in Chemistry*, 26(1).
- Matusiak, J., Grządka, E., Maciołek, U., Godek, E., & Guzmán, E. (2022). The journey of tuning chitosan properties in colloidal systems: Interactions with surfactants in the bulk and on the alumina surface. *Chemical Engineering Journal*, 450, 138145.
- Mi, Y., Miao, Q., Cui, J., Tan, W., & Guo, Z. (2021). Novel 2-Hydroxypropyltrimethyl ammonium chitosan derivatives: synthesis, characterization, moisture absorption and retention properties. *Molecules*, 26(14), 4238.
- Morin-Crini, N., Lichtfouse, E., Torri, G., & Crini, G. (2019). Applications of chitosan in food, pharmaceuticals, medicine, cosmetics, agriculture, textiles, pulp and paper, biotechnology, and environmental chemistry. *Environmental Chemistry Letters*, 17(4), 1667-1692.



- Muñoz, L.C., Lima, E.L., Harris, R.E., Mengíbar M.A.L, Contreras, N.A., Caballero, A.M.H. (2012) Chemical properties of chitosan as a marine cosmeceutical. In: Kim SK (ed) Marine cosmeceuticals. Trends and prospects. CRC Press, Taylor & Francis Group LLC, Boca Raton, Chapter 3, pp 39–50. ISBN 9781439860281.
- Peng, W., Li, D., Dai, K., Wang, Y., Song, P., Li, H., ... & Zhou, C. (2022). Recent progress of collagen, chitosan, alginate and other hydrogels in skin repair and wound dressing applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 208, 400-408.
- Qin, C., Du, Y., Xiao, L., Liu, Y., & Yu, H. (2002). Moisture retention and antibacterial activity of modified chitosan by hydrogen peroxide. *Journal of applied polymer science*, 86(7), 1724-1730.
- Raafat, D., & Sahl, H. G. (2009). Chitosan and its antimicrobial potential—a critical literature survey. *Microbial biotechnology*, 2(2), 186-201.
- Rajalakshmi, A., Krithiga, N., & Jayachitra, A. (2013). Antioxidant activity of the chitosan extracted from shrimp exoskeleton. *Middle East J. Sci. Res*, 16(10), 1446-1451.
- Rejinold, N. S., Choi, G., & Choy, J. H. (2021). Chitosan hybrids for cosmeceutical applications in skin, hair and dental care: An update. *Emergent Materials*, 4(5), 1125-1142.
- Ricapito, N. G., Ghobril, C., Zhang, H., Grinstaff, M. W., & Putnam, D. (2016). Synthetic biomaterials from metabolically derived synthons. *Chemical reviews*, 116(4), 2664-2704.
- Rinaudo, M. (2006). Chitin and chitosan: Properties and applications. *Progress in polymer science*, 31(7), 603-632.
- Sakamoto, J., Sugiyama, J., Kimura, S., Imai, T., Itoh, T., Watanabe, T., & Kobayashi, S. (2000). Artificial chitin spherulites composed of single crystalline ribbons of  $\alpha$ -chitin via enzymatic polymerization. *Macromolecules*, 33(11), 4155-4160.
- Savary, G., Grisel, M., & Picard, C. (2016). Cosmetics and personal care products. *Natural polymers: industry techniques and applications*, 219-261.
- Senevirathne, M., Ahn, C. B., Kim, S. K., & Je, J. Y. (2011). 13 Cosmeceutical Applications of Chitosan and Its Derivatives. *Marine Cosmeceuticals: Trends and Prospects*, 169.
- Shariatnia, Z. (2018). Carboxymethyl chitosan: Properties and biomedical applications. *International journal of biological macromolecules*, 120, 1406-1419.

- Tafuro, G., Costantini, A., Baratto, G., Francescato, S., Busata, L., & Semenzato, A. (2021). Characterization of polysaccharidic associations for cosmetic use: Rheology and texture analysis. *Cosmetics*, 8(3), 62.
- Tangkijngamvong, N., Phaiyarin, P., Wanichwecharungruang, S., & Kumtornrut, C. (2020). The anti-sebum property of chitosan particles. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 19(8), 2135-2140.
- Theerawattanawit, C., Phaiyarin, P., Wanichwecharungruang, S., Noppakun, N., Asawanonda, P., & Kumtornrut, C. (2022). The Efficacy and Safety of Chitosan on Facial Skin Sebum. *Skin Pharmacology and Physiology*, 35(1), 23-30.
- Triunfo, M., Tafi, E., Guarnieri, A., Scieuzo, C., Hahn, T., Zibek, S., ... & Falabella, P. (2021). Insect chitin-based nanomaterials for innovative cosmetics and cosmeceuticals. *Cosmetics*, 8(2), 40.
- Tunku Mahmud, T. H., Abdul-Aziz, A., & Muda, R. (2015). A review on the potential use of chitosan-based delivery system in mild facial cleansing formulation. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 64(8), 432-437.
- Üçgül, İ., Aras, S. & Küçükçapraz, D. Ö. (2016). Farklı Hammadde Kaynaklarından Kitinin Saflaştırılması ve Tekstil Uygulamaları. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 9(1), 46-56.
- Verma, M., Gahlot, N., Singh, S. S. J., & Rose, N. M. (2021). UV protection and antibacterial treatment of cellulosic fibre (cotton) using chitosan and onion skin dye. *Carbohydrate Polymers*, 257, 117612.
- Wang, W., Xue, C., & Mao, X. (2020). Chitosan: Structural modification, biological activity and application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 4532-4546.
- Wypych, G. (2023). *Handbook of adhesion promoters*. Elsevier.
- Xing, R., Yu, H., Liu, S., Zhang, W., Zhang, Q., Li, Z., & Li, P. (2005). Antioxidant activity of differently regioselective chitosan sulfates in vitro. *Bioorganic & medicinal chemistry*, 13(4), 1387-1392.;
- Younes, I., & Rinaudo, M. (2015). Chitin and chitosan preparation from marine sources. Structure, properties and applications. *Marine drugs*, 13(3), 1133-1174.
- Zajac, A., Hanuza, J., Wandas, M., & Dymińska, L. (2015). Determination of N-acetylation degree in chitosan using Raman

spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 134, 114-120.

Zargar, V., Asghari, M., & Dashti, A. (2015). A review on chitin and chitosan polymers: structure, chemistry, solubility, derivatives, and applications. *ChemBioEng reviews*, 2(3), 204-226.

Zhong, H., Gao, X., Cheng, C., Liu, C., Wang, Q., & Han, X. (2020). The structural characteristics of seaweed polysaccharides and their application in gel drug delivery systems. *Marine drugs*, 18(12), 658.

## **BÖLÜM 4**

### **KOZMETİK UYGULAMALARDA AHA'LAR VE ETKİ MEKANİZMALARI**

Dr. Öğr. Üyesi İkbal Demet NANE<sup>1</sup>

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10435233>

---

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kozmetik Teknolojileri Programı, Türkiye, [ikbalnane@isparta.edu.tr](mailto:ikbalnane@isparta.edu.tr)



## 1. GİRİŞ

Alfa hidroksi asitler veya a-hidroksi asitler (AHA), cilt dokusunu iyileştirme, ince çizgileri ve kırışıklıkları azaltma, genel cilt tonunu eşitleme ve gençleştirici özelliklerinden dolayı cilt bakımı alanında son dönemlerde birçok formülasyonda kullanılmalarıyla geniş bir ilgi alanı bulmuştur (Tang & Yang, 2018; Krstonošić & Ćirin, 2022). AHA'ların kolajen sentezini uyararak ve cilt hücrelerini yenileyerek, cilde daha genç ve rafine bir görünüm kazandırdığı gözlemlenmiştir (Tang & Yang, 2018). Bu durum, dermatologlar ve cilt bakım uzmanları arasında kullanımını daha da yaygınlaştırmıştır. Bu bağlamda, AHA'ların cilt bakımında etkili kullanımını optimize etmek, bu bileşiklerin cilt üzerindeki etkilerinin temel reaksiyon mekanizmalarını açığa çıkarmak büyük önem taşımaktadır.

Bu derleme, AHA formülasyonlarının cilt bakımında en uygun şekilde kullanımına yönelik kritik bir bakış sunmayı ve önemli sorulara yanıt vermeyi hedeflemektedir. AHA formülasyonlarının etkililiğini eleştirel bir perspektiften değerlendirerek ve eylem mekanizmalarına dair bilgiler sağlayarak, bu inceleme mevcut bilgi birikimine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

## 2. AHA Türleri

AHA'lar eksfoliyatif ve gençleştirici özellikleri, cilt bakımı alanında yaygın kullanımlarını glikolik asit, laktik asit ve sitrik asit gibi türleri ile sağlamaktadır. Glikolik asit, küçük moleküler boyutu nedeniyle şeker kamışından elde edilir ve cilde etkili bir şekilde nüfuz eder, hücre yenilenmesini teşvik eder ve cilt dokusunu iyileştirir (Saxena & Yadav, 2020). Laktik asit, süt veya fermente bitki türevlerinden elde edilen bir diğer AHA'dır ve hafif eksfoliyatif özelliklere sahiptir, hassas cilt tipleriyle uyumludur. Etki mekanizması, hücreler arası bağların parçalanmasını içerir, bu da daha pürüzsüz ve parlak bir cilt sağlar (Kornhauser vd., 2010; Kunde, 2018). Sitrik asit, turuncgillerden elde edilen bir AHA türüdür ve antioksidan özelliklere sahip olarak cilt parlaklığını ve dokusunu iyileştirir (Dumoulin vd., 2016). AHA'ların topikal formülasyonlardaki konsantrasyonu, istenen etki ve bireysel cilt toleransı göz önüne alınarak değişiklik göstermektedir. Genellikle günlük cilt bakım ürünlerinde bulunan %5-10 arası düşük konsantrasyonlar, hafif pul pul dökülmeyi kolaylaştırarak cilt sağlığını destekler. Bu düşük konsantrasyonlar genellikle geniş bir kullanıcı kitlesi tarafından iyi tolere edilir ve cilt tonu eşitleyiciliği imkanını sunar (Edison vd., 2021). Diğer

yandan %20-30 gibi daha yüksek konsantrasyonlar, dermatologlar veya cilt bakımı uzmanları tarafından gerçekleştirilen profesyonel kimyasal peelinglerde kullanılmakta ve daha belirgin cilt yenileme ve gençleşme sağlamaktadır (Edison vd., 2021). AHA'ların optimum konsantrasyonunun belirlenmesi, bireysel cilt tipleri ve tedavi edilen spesifik durumların dikkate alınmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, cilt bakımında AHA konsantrasyonunun seçilmesi, kişisel ihtiyaçlar ve cilt özellikleri temel alınarak özenle planlanmalıdır.

Cilt bakımındaki son gelişmeler, yeni AHA'ların keşfine öncülük etmiştir. Mandelik asit, acı bademlerden elde edilen bir AHA türü olarak, eksfoliatif ve antibakteriyel özellikleri nedeniyle öne çıkmaktadır, özellikle akneye yatkın ciltlerin tedavisinde önerilmektedir (Dayal vd., 2020). Diğer yeni AHA türü ise elma ve armut gibi meyvelerde bol miktarda bulunan malik asittir. Malik asit, nemlendirici ve eksfoliatif etkiler sağlayarak, özellikle kuru veya yaşlanmaya eğimli cilde sahip bireyler için kullanım sağlamaktadır (Dapkevicus vd., 2023). Bu yeni AHA'lar, cilt bakımında çeşitliliği artırarak, farklı cilt ihtiyaçlarına özel çözümler sunma potansiyeline sahiptir.

### **3. Topikal AHA Formülasyonlarının Etkinliği**

AHA araştırmaları özellikle ince çizgiler, kırışıklıklar ve düzensiz cilt dokusunu içeren fotoyaşlanma alanlarına odaklanmaktadır. Yapılan bir klinik çalışmada hastalara %70 glikolik asit ve %85 laktik asidin peeling uygulamasının, ince kırışıklıkları azaltmada etkili olduğunu göstermiştir (Prestes vd., 2013). Başka bir çalışmada, glikolik asit uygulamasının kolajen seviyelerinde artış sağladığı ve cilt gençleştirmedeki potansiyelini ortaya koyduğunu göstermiştir (Narda vd., 2021). Benzer şekilde, laktik asit içeren bir formülasyonun ciltteki pürüzlü yapıyı iyileştirdiğini ve fotoyaşlanmış ciltte kolajen sentezini artırdığı bildirilmiştir (Karwal & Mukovozov, 2023). Bu çalışmalar, AHA'ların fotoyaşlanma belirtileri üzerinde olumlu bir etkiye sahip olabileceği konusunda önemli bulgular sunmaktadır. AHA'lar, sadece fotoyaşlanma belirtilerini gidermekle kalmayıp aynı zamanda hiperpigmentasyon endişelerinin tedavisinde de etkili olduklarını göstermiştir. Melazmalı hastalar üzerinde yapılan bir uygulamada, topikal glikolik asit formülasyonları ile tedavi edilen hastaların pigmentasyon yoğunluğunda önemli bir azalma ve genel cilt tonunda iyileşme sağladığı gösterilmiştir (Ravikumar vd., 2022). Benzer şekilde iltihap sonrası hiperpigmentasyonu hafifletmek için kullanılan sitrik asit ile geliştirilmiş formülasyonların,

etkinliği vurgulanmış ve AHA'ların eşit bir cilt rengi oluşturmadaki başarısı bildirilmiştir (Campos vd., 2021).

AHA'lar, sivilce ve akne tedavilerinde; özellikle glikolik asit formülasyonları; akne lezyonlarını azaltmada, cilt dokusunu iyileştirmede ve komedon oluşumunu önlemede kullanılmaktadır (Sarkar vd., 2019). AHA'ların eksfoliyatif özellikleri, gözeneklerin sıkışmasına ve sivilce izlerinin görünümünün azaltılmasına katkıda bulunmaktadır (Sarkar vd., 2019). Salisilik asitin akne üzerindeki olumlu etkisini, araştırmacılar glikolik asit ile kombine hale getirerek denemiş ve enflamatuar akne lezyonlarında önemli bir azalma, akne şiddetinde genel bir iyileşme sağlayabileceğini göstermişlerdir (Arif, 2015).

#### 4. AHA Etki Mekanizması

AHA'lar stratum korneum adı verilen epidermin dış tabakasına nüfuz ederek ve desmozomlarla etkileşime girerek işlevlerini yerine getirmektedir. Bu etki mekanizması, ölü cilt hücrelerinin uzaklaştırılmasını kolaylaştırır ve cilt dokusunda iyileşme ve pürüzsüz bir cilt oluşumu sağlar. AHA'lar aynı zamanda epidermin alt katmanı olan dermiste, fibroblastları aktive ederek kolajen sentezini gerçekleştirmektedir. Dolaylı olarak kolajen sentezi sürecine dahil olmaları, kolajenin üretilmesiyle cildin elastikiyetinin artmasına, ince çizgilerin ve kırışıklıkların azalmasına katkıda bulunmaktadır (Tang & Yang, 2018).

AHA'ların cilt üzerindeki etkilerini anlamak için, altta yatan mekanizmaların aydınlatılması önemlidir (Katz vd., 2021). Özellikle, glikolik asidin, stratum korneumun bütünlüğünü korumaktan sorumlu korneodesmozom adlı yapıları parçalayan enzim aktivitesini uyararak deskuamasyonu artırdığı bulunmuştur. Bu süreç, yüzeysel olarak hasarlı katmanların kaldırılmasını sağlayarak daha pürüzsüz ve canlı bir cilt dokusunun ortaya çıkmasını desteklemektedir (Sharad, 2013). AHA'lar, eksfoliyatif özelliklerinin yanı sıra cildin elastikiyetinde önemli rol oynayan kolajen sentezini uyararak farklı bir etki mekanizması oluşturur. Glikolik asit ve laktik asit gibi AHA'ların, dermiste bulunan derinin daha derin tabakasında kolajen üretimini düzenleyebileceğini gösteren araştırmalar bulunmaktadır (Tang & Yang, 2018). Bu uyarım, fibroblast aktivasyonunu, kolajenle ilişkili genlerin artan ekspresyonunu ve kolajen sentezinde yer alan sinyal yollarının modülasyonunu içeren çeşitli mekanizmalar aracılığıyla gerçekleştirmektedir (Shin vd., 2019).



AHA'ların aynı zamanda cildin bariyer fonksiyonu ve hidrasyonu artırdığı belirtilmiştir. AHA'lar, epidermal lipitler arasında yer alan seramidler ve kolesterolün sentezini destekleyerek, sağlıklı bir cilt bariyerini sürdürmede kritik bir rol oynamaktadır. Bu lipitler, koruyucu bir kalkan görevi görür ve cildin nem dengesini korur. Bu durum özellikle kuru veya susuz kalmış cilde sahip bireyler için önemlidir; çünkü AHA'lar nemin hapsedilmesine yardımcı olarak daha pürüzsüz ve iyi nemlenmiş bir cilt elde edilmesine katkı sağlayabilmektedir (Karwal & Mukovozov, 2023).

AHA'lar ve beta-hidroksi asitlerin (BHA'lar) kombinasyonu, cilt bakımı formülasyonlarında iyileştirme ve cilt bakım uygulamalarında dikkate değer bir potansiyel sergilemektedir. Glikolik asit ve laktik asit gibi AHA'lar, ölü cilt hücrelerini eksfoliyasyonla ederek ve hücre yenilenmeyi teşvik ederek ağırlıklı olarak cilt yüzeyinde çalışır; BHA'lar, özellikle salisilik asit, gözeneklerin daha derinlerine nüfuz ederek akne tedavisine yardımcı olur. AHA'lar ve BHA'ların tamamlayıcı etkileri, cilt bakımına çok yönlü bir yaklaşım sunarak, cilt dokusunun, tonunun ve parlaklığının iyileştirilebilmesi için sinerjistik etkiler sağlamaktadır (Kornhauser vd., 2010). Yapılan bir çalışmada araştırmacılar hem AHA'ları hem de BHA'ları içeren topikal bir formülasyonun anti-enflamatuar ve antibakteriyel özelliklerini araştırmıştır. Yaklaşık bir aylık bir tedavi sonrasında rosacea (gül hastalığı) gibi enflamatuar cilt hastalığının iyileştirilmesi için umut verici sonuçlar sunmaktadır (Karwal & Mukovozov, 2023)

## **5. AHA İçeren Ürünlerde Yan Etkiler**

AHA'ları içeren topikal formülasyonlarla ilişkili güvenlik profilinin anlaşılması, yalnızca etkinliklerinin değil aynı zamanda dermatoloji alanında iyi tolere edilen uygulamalarının sağlanmasında da büyük öneme sahiptir. AHA'lar genel olarak güvenli olarak kabul edilse de belirli yan etkilere neden olabilecek peeling özelliklerine sahiptir. Özellikle, yaygın olarak bildirilen yan etkiler arasında hafif cilt tahrişi, kızarıklık, uygulama sonrası batma veya yangı hissi bulunmaktadır (Imhof & Leuthard, 2021; Rendon vd., 2010). Bununla birlikte, bu yan etkiler doğası gereği akut seyrederek ve AHA'ların sürekli kullanımıyla veya konsantrasyonlarının veya uygulama sıklığının ayarlanmasıyla azalma göstermektedir. Glikolik asit, laktik asit ve sitrik asit gibi AHA'lar, stratum korneumun kontrollü eksfoliyasyonunu indüklemeye yeteneğine sahiptir. Bu pul pul dökülme süreci, ölü cilt hücrelerinin uzaklaştırılmasını sağlayarak daha pürüzsüz ve daha düzgün bir cilt dokusu ortaya çıkarır (Rendon vd., 2010). Bununla birlikte, bu pul pul dökülme aynı

zamanda kızarıklık olarak ortaya çıkan hafif cilt tahrişine ve uygulama üzerine batma veya yangı hissine de yol açabilmektedir. Bu reaksiyonların cilt bariyerinin bozulmasından kaynaklandığı, transepidermal su kaybının artmasına ve duyarlılığın artmasına neden olduğu düşünülmektedir (Imhof & Leuthard, (2021). Bununla birlikte, bu etkiler genellikle iyi tolere edilmekte ve cilt; tedaviye uyum sağladıkça veya AHA uygulamasının konsantrasyonu veya sıklığı değiştirildiğinde azalmaktadır.

Yan etkilerin azaltılması için AHA içeren formülasyonlara yatıştırıcı ve nemlendirici bileşenlerin de dahil edilmesi, topikal formülasyonların tolere edilebilirliğini daha da artırabilir ve cilt bariyeri fonksiyonunu güçlendirebilir. Seramidler ve hyaluronik asit gibi maddeler, AHA'ların ciltte kurutma etkilerini minimize ederek tedavinin genel olarak daha iyi tolere edilmesini sağlayan nemlendirici özelliklere sahiptir. (Shokri vd., 2014).

AHA'ların cilt bakımı formülasyonlarına dahil edilmesi, kremler veya serumlar kullanılarak yapılan günlük bakım rutinleriyle karşılaştırıldığında, kimyasal peelingler için farklı yaklaşımların geliştirilmesine yol açan yenilikçi bir ilgi uyandırmıştır. Profesyonel ortamlarda, AHA'ları içeren kimyasal peelingler kontrollü ve yoğun bir eksfoliasyon süreci sağlamaktadır. Bu peelingler ölü cilt hücrelerinin uzaklaştırılmasını kolaylaştırmakta, kolajen sentezini uyarmakta ve hücre yenilenmeyi desteklemektedir (Mägerusan vd., 2020). Peelingler çok daha yüksek konsantrasyonlar ve özelleştirilmiş formülasyonlar kullanarak, cildin daha derin bölümlerine nüfuz etmeyi mümkün kılmakta ve daha etkili sonuçlar vermekte; bu da onları özellikle hiperpigmentasyon, ince çizgiler ve düzensiz doku gibi belirli endişeleri gidermek için uygun hale getirmektedir (Mägerusan vd., 2020). Farklı formülasyonlarda AHA'ları içeren günlük bakım ürünleri tipik olarak daha düşük konsantrasyonlu kremleri veya serumları içermektedir. Bunun amacı, cildin bariyerini korumak ve aynı zamanda aşamalı ve sürdürülebilir bir eksfoliasyon sağlamaktır. AHA'ları daha düşük konsantrasyonlu kremler veya serumlar aynı zamanda cildin parlaklığını artırabilir, pürüzsüzleştirir ve daha güçlü peelinglerle ilişkili olumsuz reaksiyon riskini en aza indirebilmektedir (Babilas vd., 2012).

AHA'ların kimyasal peelinglerde ve krem veya serum formülasyonları aracılığıyla günlük bakım rutinlerinde özel olarak kullanılması, uygulayıcılara ve bireylere belirli cilt bakımı ihtiyaçlarını karşılamak için esnek seçenekler sunmaktadır. Kimyasal peelinglerde daha yüksek konsantrasyonların bulunması, daha hedefe yönelik ve yoğun bir

yaklaşımına olanak tanımakta ve belirli cilt sorunları için gözle görülür sonuçlar sağlamaktadır. Diğer taraftan, günlük bakımlarda daha düşük konsantrasyonların kullanılması, cildin uzun vadeli sağlığına öncelik veren ve olumsuz reaksiyon riskini en aza indiren yumuşak ve aşamalı bir eksfoliasyon sürecini belirlemektedir. Tedavinin uygulanış sıklığı, kullanım kolaylığı ve uzun vadeli cilt sağlığı gibi faktörler göz önünde bulundurularak bireyler, istedikleri cilt bakımı sonuçlarına ulaşmak için en uygun AHA türünü ve bakım süresini seçebilirler.

## **6. Tartışma ve Sonuç**

AHA'ları içeren topikal formülasyonlar, fotoyaşlanma, hiperpigmentasyon ve akne gibi çeşitli dermatolojik rahatsızlıklarda tedavi amaçlı olarak etkinliklerini göstermiştir (Kornhauser vd., 2010; McDaniel vd., 2017; Purohit vd., 2016). Tedavi sırasında AHA'lar, yararlı etkilerini dermal dokuyu güçlendirerek, kolajen sentezini uyararak ve cilt tonunu iyileştirerek göstermektedirler (Saxena & Yadav, 2020). Bilindiği gibi AHA'lar formülasyondaki konsantrasyon, pH ve stabilite gibi durumlardan etkilenmektedir. AHA kullanım alanlarını genişletmek için gelecekteki araştırmalar, AHA'ların penetrasyonunu ve stabilitesini artırmak için kapsülleme teknolojileri de dahil olmak üzere yenilikçi ilaç dağıtım sistemlerinin geliştirilmesine odaklanmalıdır. Örneğin AHA'ların lipozomlar veya nanopartiküller içerisinde kapsüllemesi, bunların stabilitesini geliştirebilir, salım kinetiğini kontrol edebilir ve genel etkinliğini artırabilir (Leyden vd., 2009; Imhof vd., 2021). Bu yenilikçi dağıtım sistemleri, AHA'ların cilde dağıtımını artırarak terapötik potansiyellerini en üst düzeye çıkarabilir ve daha iyi tedavi sonuçları sağlayabilir.

AHA'ların potansiyelinden daha fazla yararlanabilmek için, melazma gibi spesifik cilt sorunlarının tedavisindeki rollerini daha iyi anlamak ve AHA'ları mikro iğneleme veya lazer tedavisi gibi yeni ortaya çıkan teknolojilerle birleştirmenin potansiyel faydalarının da genişletilmesi gerekmez. Bu alanlardaki araştırmalar, yeni ve daha etkili tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesinin önünü açabilir (Piğtowska vd., 2022).

## KAYNAKÇA

- Arif, T. (2015). Salicylic acid as a peeling agent: a comprehensive review. *Clinical, cosmetic and investigational dermatology*, 455-461.
- Babilas, P., Knie, U., & Abels, C. (2012). Cosmetic and dermatologic use of alpha hydroxy acids. *JDDG: Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft*, 10(7), 488-491.
- Campos, V., Pitassi, L., Kalil, C., Gonçalves Júnior, J. E., Sant'Anna, B., & Correia, P. (2021). Clinical evaluation of the efficacy of a facial serum containing dioic acid, glycolic acid, salicylic acid, LHA, citric acid, and HEPES in treating post-inflammatory hyperchromia and controlling oily skin in patients with acne vulgaris. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 20(6), 1766-1773.
- Dapkevicius, I., Romualdo, V., Marques, A. C., Lopes, C. M., & Amaral, M. H. (2023). Acne Vulgaris Topical Therapies: Application of Probiotics as a New Prevention Strategy. *Cosmetics*, 10(3), 77.
- Dayal, S., Kalra, K. D., & Sahu, P. (2020). Comparative study of efficacy and safety of 45% mandelic acid versus 30% salicylic acid peels in mild-to-moderate acne vulgaris. *Journal of cosmetic dermatology*, 19(2), 393-399.
- Dumoulin, M., Gaudout, D., & Lemaire, B. (2016). Clinical effects of an oral supplement rich in antioxidants on skin radiance in women. *Clinical, cosmetic and investigational dermatology*, 315-324.
- Edison, B. L., Smith, H. A., Green, B. A., & Tierney, N. K. (2021). 27887 Skin exfoliation with low concentrations of alpha hydroxy acids and poly hydroxy acids when incorporated into wash-off or leave-on products using a novel abbreviated model to measure cell turnover rate. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 85(3), AB165.
- Imhof, L., & Leuthard, D. (2021). Topical over-the-counter antiaging agents: an update and systematic review. *Dermatology*, 237(2), 217-229.
- Karwal, K., & Mukovozov, I. (2023). Topical AHA in Dermatology: Formulations, Mechanisms of Action, Efficacy, and Future Perspectives. *Cosmetics*, 10(5), 131.
- Katz, B. E., Lewis, J., McHugh, L., Pellegrino, A., & Popescu, L. (2015). The tolerability and efficacy of a three-product anti-aging treatment regimen in subjects with moderate-to-severe photodamage. *The Journal of Clinical and Aesthetic Dermatology*, 8(10), 21.

- Kornhauser, A., Coelho, S. G., & Hearing, V. J. (2010). Applications of hydroxy acids: classification, mechanisms, and photoactivity. *Clinical, cosmetic and investigational dermatology*, 135-142.
- Krstonošić, V., & Ćirin, D. (2022). Are cosmetics based on alpha hydroxy acids safe to use when purchased over the internet?. *Toxicology and Industrial Health*, 38(12), 835-838.
- Kunde, O. (2018). Treatment of multiple skin concerns with an alpha hydroxy acid superficial skin peel. *Journal of Aesthetic Nursing*, 7(5), 260-265.
- Leyden, J. J., Del Rosso, J. Q., & Webster, G. F. (2009). Clinical considerations in the treatment of acne vulgaris and other inflammatory skin disorders: a status report. *Dermatologic clinics*, 27(1), 1-15.
- Măgerusan, S. E., Hancu, G., & Mircia, E. (2020). Considerations on the Use of Organic Substances in Chemical Peels: A Systematic Review. *Acta Marisiensis-Seria Medica*, 66(2), 50-55.
- McDaniel, D. H., Mazur, C., Wortzman, M. S., & Nelson, D. B. (2017). Efficacy and tolerability of a double-conjugated retinoid cream vs 1.0% retinol cream or 0.025% tretinoin cream in subjects with mild to severe photoaging. *Journal of cosmetic dermatology*, 16(4), 542-548.
- Narda, M., Trullas, C., Brown, A., Piquero-Casals, J., Granger, C., & Fabbrocini, G. (2021). Glycolic acid adjusted to pH 4 stimulates collagen production and epidermal renewal without affecting levels of proinflammatory TNF-alpha in human skin explants. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 20(2), 513-521.
- Piğtowska, Z., Nowicka, D., & Szepietowski, J. C. (2022). Understanding melasma-how can pharmacology and cosmetology procedures and prevention help to achieve optimal treatment results? a narrative review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19), 12084.
- Prestes, P. S., Oliveira, M. M. M. D., & Leonardi, G. R. (2013). Randomized clinical efficacy of superficial peeling with 85% lactic acid versus 70% glycolic acid. *Anais brasileiros de dermatologia*, 88, 900-905.
- Purohit, S., Meena, R. S., Bargujar, B., & Jain, A. K. (2016). Glycolic acid peels versus salicylic acid peels in atrophic acne scars: a randomized comparative study. *Int J Multispeciality Health*, 2(7), 1-9.

- Ravikumar, B., Indradevi, R., & Pillai, D. (2022). Efficacy of Alpha and Beta Hydroxy Acid Chemical Peels in Postacne Pigmentation: A Double Blinded, Randomized, Controlled Trial. *The Journal of Clinical and Aesthetic Dermatology*, 15(1), 48.
- Rendon, M. I., Berson, D. S., Cohen, J. L., Roberts, W. E., Starker, I., & Wang, B. (2010). Evidence and considerations in the application of chemical peels in skin disorders and aesthetic resurfacing. *The Journal of clinical and aesthetic dermatology*, 3(7), 32.
- Sarkar, R., Ghunawat, S., & Garg, V. K. (2019). Comparative study of 35% glycolic acid, 20% salicylic–10% mandelic acid, and phytic acid combination peels in the treatment of active acne and postacne pigmentation. *Journal of cutaneous and aesthetic surgery*, 12(3), 158.
- Saxena, V., & Yadav, K. (2020). Glycolic Acid, Lactic Acid, Mandelic Acid, Salicylic Acid, Citric Acid, Gluconolactone: Skin Exfoliators in Combination Therapy of Acne Vulgaris. *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, 3(10), 54-55.
- Sharad, J. (2013). Glycolic acid peel therapy—a current review. *Clinical, cosmetic and investigational dermatology*, 281-288.
- Shin, J. W., Kwon, S. H., Choi, J. Y., Na, J. I., Huh, C. H., Choi, H. R., & Park, K. C. (2019). Molecular mechanisms of dermal aging and antiaging approaches. *International journal of molecular sciences*, 20(9), 2126.
- Shokri, N., AKBARI, J. H., & Ghadermazi, R. (2014). Effects of skin penetration enhancers in topical antiaging products containing  $\alpha$ -hydroxyacids and hyaluronic acid.
- Tang, S. C., & Yang, J. H. (2018). Dual effects of alpha-hydroxy acids on the skin. *Molecules*, 23(4), 863.



## **BÖLÜM 5**

# **ÇİMENTO ÜRETİM SÜRECİNDE YENİ NESİL ALTERNATİF HAMMADDELERİN KULLANIMINA İLİŞKİN SON GELİŞMELER**

Doç. Dr. Abdul Vahap KORKMAZ<sup>1</sup>

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10435243>

---

<sup>1</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, İncehisar Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, İncehisar, Afyonkarahisar, Türkiye, [avkorkmaz@aku.edu.tr](mailto:avkorkmaz@aku.edu.tr)





## GİRİŞ

Çimento üretiminin ana maliyetleri hammadde çıkarma, yakma ve öğütme enerjisidir. Maliyet çalışmalarında gözden kaçırılan en büyük detay, çimento üretimi için gerekli olan hammaddelerin özelliklerinden ziyade doğrudan sürece odaklanmasıdır. Süreci besleyen ham maddedir. Başka bir deyişle, tüm proses ekipmanlarının kullanılacak hammaddeye göre tasarlanması gerekmektedir. Bu nedenle son yıllarda araştırmacıların çoğu, alternatif hammaddeleri üzerine, özellikle de endüstriyel atıklar ve katkı maddeleri üzerine yoğunlaşmışlardır. Böylece endüstriyel atıklar ve katkı maddeleri kullanılması ile çimento çeşitliliğinin ve üretiminin artırılması ve düşük maliyetli çevre dostu yeşil çimentoların üretimi amaçlanmıştır. Ancak doğal kaynaklar tükendiğinde ve endüstriyel atıklar azaldığında çimento üretiminde de rezerv yani hammadde kaynaklı problemler ile karşı karşıya kalınacaktır. Bu nedenle çimento üretiminde değerlendirilebilecek yeni alternatif hammaddelerin araştırılması önem taşımaktadır. Yeni alternatif hammaddeler ile sürekli (durmaksızın) üretim desteklenmelidir. Bu çalışmada son yıllarda çimento üretiminde kullanılabilir alternatif hammaddeler araştırılmış ve çimento özelliklerine etkileri tartışılmıştır.

### 1. GELENEKSEL HAMMADDE KAYNAKLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ

Çimento üretiminde kullanılan yaygın malzemeler arasında kireçtaşı, deniz kabukları ve tebeşir veya marn ile şist, kil, arduvaz, yüksek fırın cürufu, silis kumu ve demir cevheri bulunur (Tablo 1). Bu bileşenler, yüksek sıcaklıklarda ısıtıldığında, genellikle çimento olarak düşündüğümüz ince toz halinde öğütülen kayaya benzer bir madde oluşturmaktadır (Korkmaz, 2017). İngiltere, Leeds'li duvarcı Joseph Aspdin, ilk olarak 19. yüzyılın başlarında mutfak ocağında toz halindeki kireçtaşı ve kili yakarak Portland çimentosunu yapmıştır. Bu kaba yöntemle, her yıl kelimenin tam anlamıyla dağlarca kireçtaşı, kil, çimento kayası ve diğer malzemeleri, su tutabilen bir elekten geçecek kadar ince bir toz haline getiren bir endüstrinin temelini atmıştır (Choplin, 2023).

**Tablo 1.** Çimento üretiminde kullanılan hammaddeler

Kireçli malzemeler	Killi Malzemeler		
Kalsiyum	Silikon	Alüminyum	Demir
Kireçtaşı	Kil	Kil	Kil
Marn	Marn	Şeyl	Demir cevheri
Kalsit	Kum	Uçucu kül	Şeyl
Aragonit	Şeyl	Alüminyum cevheri atığı	Yüksek fırın tozu
Şeyl	Uçucu kül	Boksit	
Deniz kabukları	Pirinç kabuğu külü		
Çimento fırı tozu	Cüruf		

Çimento üretiminde kullanılan ana bileşen yani CaO kaynağı kireçtaşıdır. Çimentoya çimentolama özelliği kazandırmakla görevlidir. Fazla kireç çimentonun genleşmesine ve parçalanmasına neden olur. Kireç eksikliği mukavemetin azalmasına neden olur ve çimento hızla priz alır. Doğru oranda kullanıldığı takdirde çimentoya sağlam mikro yapı ve dayanıklılık sağlar. Böylece kireç, çimentonun özelliklerini büyük ölçüde değiştirebilir. Silika kaynağı içi kil kökenli kayaçlardır. Bu, betona mukavemet kazandırmada önemli bir rol oynar. Silika, dikalsiyum silikat (C<sub>2</sub>S) ve trikalsiyum silikatlar (C<sub>3</sub>S) oluşturmak üzere kalsiyum ile kimyasal reaksiyona girer. Fazla silika çimentoya dayanıklılık kazandırır ancak priz süresini uzatır. Alümina ise çimentonun sertleşme kapasitesini arttırmak için silika ve kalsiyum ile karmaşık bileşikler oluşturur. Aksiyon görevi görür ve klinkerleşme sıcaklığını düşürür. Fazla miktarda alümina kullanımı priz süresini azaltır ancak çimentonun mukavemetini düşürür. Demir cevheri esas olarak çimentoya renk verilmesinden sorumludur. Çimentonun sertliği ve mukavemeti de belli ölçüde iyileştirilir. Çimento üretim sürecinde hammaddelerin kaynaşmasına yardımcı olur (Gharpedia, 2023).

### 1.1 Kireçtaşı

Çimento yapımında kireçtaşının kullanılmasının alternatifi pek bulunmadığından, bir ülkenin en önemli kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, herhangi bir ulusun ekonomisindeki önemi göz önüne alındığında, kireçtaşının doğuşu, oluşumu, bileşimi, özellikleri, madenciliği ve uygulanmasına ilişkin anlayış oldukça zayıftır. Bunun nedeni,

kireç taşının uzun süredir "ortak" bir kaya olarak görülmesi ve geçmişteki jeolojik çalışmaların kapsamının sınırlı olması, esas olarak yatakların haritalandırılmasına, kayaların analiz edilmesine ve bazen akiferlerin ve petrol rezervlerinin değerlendirilmesine odaklanmış olmasıdır. Ancak kireçtaşının çimento hammaddesi olarak daha verimli kullanılması için farklı verilere ve daha derin bir anlayışa ihtiyaç vardır (Detwiler and Tennis, 1996).

Çimento üretiminin temel hammaddesi kalkerdir. Kireçtaşı ağırlıklı olarak kalsiyum karbonattan ( $\text{CaCO}_3$ ) oluşur, genel olarak kalsit olarak bilinen en kararlı modifikasyonuna ek olarak, genellikle karbonatlar ve silikatlar olarak birleştirilmiş magnezyum, alüminyum ve demir içerirler; Genellikle kuvars formunda olan silika ( $\text{SiO}_2$ ) da sıklıkla mevcuttur. Kireçtaşının ( $\text{CaCO}_3$ ) uygun ham karışım formülasyonuna izin verecek kalitede olması çok önemlidir. Kireçtaşında aşırı Mg kirliliğinin varlığı, genellikle potansiyel olarak daha az dayanıklı çimentolar oluşturan düşük klinkere yol açmaktadır. Kireçtaşı madenciliği, delme ve patlatma tekniklerinin kullanılmasını gerektirir (Korkmaz, 2017).

## 1.2. Killer

Litolojik olarak çimento endüstrisi için keşfedilen hammadde yatakları çoğunlukla kil ve killi kayaların yanı sıra balçık, lös ve siltlerden de oluşmaktadır. Çapı  $<0,005$  mm olan yumuşak ve ince taneli doğal kaya/toprak malzemesine kil denir (Nehdi, 2014). Kil, doğal olarak oluşan, ısıl işlemlerle farklı kil minerallerine dönüştürülebilen ve farklı ürünlerin geliştirilmesinde kullanılabilen bir malzemedir. Klinker üretim sürecinde kil ham maddeleri (kil, killi şist, silt, lös, killi siderit ve diğerleri), temel bir bileşiğin (kireç taşları ve marnlar) bileşimini ayarlayan doğal tamamlayıcı eklemelerdir. Killer ve kil mineralleri farklı sektörlerde farklı uygulamalar için kullanılmaktadır. Kil, nemliyen plastik karakterde olan ancak pişirildiğinde sertleşen bir toprak malzemesidir. Esas olarak sulu alüminyum silikatların ve diğer minerallerin ince parçacıklarından oluşmaktadır (Singh, 2022).

Çimento üretimi için (klinkerden) ısıl işlemden sonra kil hammaddeleri kullanılabilir; öğütme sonrasında bunlar puzolanik özellikleriyle karakterize edilir ve çimento klinkerinin yerini alabilir. Bu tür malzemeler şunlardır: yanmış kömür şistleri veya tutuşmuş kaolinit balçıkları (meta-kaolinit). Puzolan katkıları, çimento üretim maliyetlerini (temel olarak enerji tüketimini) azaltır ve çimento ve beton özelliklerini optimize eder. Puzolanik malzemelerin çimento üretiminde kabul edilebilir içerikleri

maksimum %55'tir. Çimento üretimi için kullanılabilir potansiyele sahip killi kayalar Türkiye'de yaygın olarak bulunmaktadır ve nispeten düşük kalite gereklilikleri, arama sürecine engel teşkil etmemektedir. Mevcut kaynak tabanı çimento sektörünün mevcut yurt içi talebini aşmaktadır. Ayrıca çimento üretimi için, kullanım amacına uygun olarak kullanılmayan, örneğin yapı seramiği üretimi gibi başka amaçlarla belgelenecek killi hammaddeler de kullanılabilir. Kil, Portland çimentosu (OPC) harçları ve betonlarında tamamlayıcı çimentolu malzeme olarak kullanılmıştır. Bu mineraller, Portland çimentosu klinkeri üretimi sırasında hammadde kullanımını ve CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltmakta, aynı zamanda betonun ileriki yaşlarda basınç dayanımını da arttırmaktadır. Bu nedenle inşaat malzemelerinin sürdürülebilirliğine yardımcı olmaktadır. Kil mineralleri kullanılarak yeni bir çimento türü olan kireçtaşı kalsine kil çimentosu (LC3) ve bağlayıcı malzeme olan geopolimer çimento da geliştirilmiştir (Cardoso vd., 2022).

Turba, çamur, bazı topraklar vb.'nin yanı sıra, kil esas olarak inorganik malzemelerdir. Erozyon ve uzun zaman aralıklarındaki hava koşulları nedeniyle seramik kil, toprak, killi şeyl, buzul kil ve feldispat ("kilin anası" olarak bilinir) mineral grubu içeren kayalar oluşur. Ayrışma sürecinde feldispat hidroliz nedeniyle bozulur ve simetit ve kaolinitler gibi kil minerallerinin oluşmasına neden olur. Küçük miktarlarda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, MgO, vb.'nin yanı sıra organik maddenin varlığında kile daha fazla kil minerali dahil edilebilir. Su içeriği, geometrisi ve parçacık boyutu nedeniyle, kil plastikliğe sahiptir ve pişirme veya kurutma sonrasında tutarlı, sert ve plastik olmayan bir hale gelir. Kilin kimyasal bileşimi plastisite ve sertliği etkiler. Kil su tuttuğunda herhangi bir şekilde dönüştürülebilir. Kil için tane boyutu önemlidir ancak bugüne kadar herhangi bir üst sınır verilmemiştir. Killer boyut ve mineraloji temelinde birbirinden ayırt edilebilir (Singh, 2022).

### **1.3 Alçıtaşı**

Alçıtaşı ilk olarak Portland çimentosu ile birlikte harç ve betonun uygun şekilde yerleştirilmesine izin verecek kadar sertleşme hızını yavaşlatmak için kullanılmaktadır. Alçıtaşının bu özelliğinin ne zaman ve kim tarafından keşfedildiğini belirlemek mümkün değildir, ancak Paris Alçısını karıştırmak için kullanılan temizlenmemiş ekipmana çimento harcı karıştıran işçiler tarafından tesadüfen keşfedilmiş olması muhtemeldir. Alçıtaşı ve kalsiyum sülfatların genel olarak klinker-mineralleştirici veya alkalilerin geri dönüştürülmesinde değiştiricilerin üretiminde hem bağlayıcı bileşenler- genleşen çimentolar olarak hem de çimentonun reolojisi ve hidrasyon oranının

düzenleyicileri olarak önemli bir rol oynadığı kabul edilmiştir. Portland çimentosunun hatta beton taşının uzun vadeli özellikleri, zamanla gelişen olayların karmaşıklığıyla belirlenen özellikler, çimento bileşiklerinin kalsiyum sülfatla reaksiyona girdiği ilk aşamada gelişen yapılardan belirgin şekilde etkilenmektedir. İlk reaksiyonlar için gerekli olan sülfatın bir kısmı klinkerin içinde alkali sülfat olarak bulunur ve hızla çözeltiye geçer. Bir kısmı öğütme sırasında eklenen kalsiyum sülfattan kaynaklanır, ancak çözünme sonrasındaki davranışı çimentoda bulunduğu forma bağlıdır (Frigione, 1983). Portland çimentosunda kullanılacak alçıtaşının özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Portland çimentosunda kullanılacak alçıtaşının özellikleri

Seviye	Derece (Kalite) (%)		
	Alçıtaşı	Anhidrit	Karışık Alçı
Üstün Kaliteli	95>%		95>%
Birinci Sınıf		85>	
İkinci Sınıf		75>	
Üçüncü Sınıf		65>	
Dördüncü Sınıf		55>	

Alçı, çimento fabrikalarında hammadde, mineralleştirici, geciktirici ve aktivatör olarak kullanılabilir. Bileşenler arasında SO<sub>2</sub>, klinkerin kalsine edilmesinde kükürt-alkali oranını dengelemek ve kalsine etme işlemi ve refrakter malzemelerin servis ömrünü iyileştirmek için de kullanılmaktadır. Alçı çimentonun yalnızca %3’ünü veya daha azını oluşturur, ancak çimentoda önemli bir rol oynar. Alçıtaşının çimentoya uygulanması esas olarak betonun karıştırılması, taşınması ve inşası için faydalı olan çimentonun sertleşme süresini geciktirmek içindir. Çimentoda alçı yoksa, beton karıştırma işleminde hızlı bir şekilde priz alacaktır ve bu da karıştırma ve inşaatın başarısız olmasına neden olacaktır (Csacemen, 2023).

Alçı içermeyen çimentonun suyla karıştırıldıktan sonra hızlı priz almasının nedeni, esas olarak klinkerdeki C3A’nın suda hızla çözünmesi ve çimento hamurunun hızlı priz almasını sağlayan kalsiyum alüminat hidrati hızla oluşturmasıdır. Bu anormal hızlı sertleşme olgusunu önlemek amacıyla, çimentonun sertleşme süresini ayarlamak için genellikle çimentoya uygun miktarda alçı eklenmesi gerekir. Orta miktarda alçıtaşının karıştırılmasıyla

üretilen çimento klinkeri üzerindeki gecikmenin, genellikle çimento hidratlandığında alçının  $C_3A$  ve  $Ca(OH)_2$  ile hızlı bir şekilde reaksiyona girerek suda çözünmeyen kalsiyum sülfat hidratlar (yani etrenjit) oluşturduğu düşünülmektedir.  $C_3A$  parçacıklarının yüzeyinde bir kaplama tabakası oluşturabilen alçı,  $C_3A$ 'nın daha fazla hidrasyonunu önler ve alüminatın çözelti içindeki çözünürlüğünü azaltır, böylece hidrasyon ürünleri kalsiyum alüminat ayrılmaz. Bu şekilde priz süresi  $C_3A$  tarafından değil, daha yavaş reaksiyona giren  $C_3S$  koloidal çözeltisinin konsantrasyonunun artmasıyla belirlenecek ve böylece çimentonun priz süresi gecikecektir. Alçı çimentonun yalnızca %3'ünü veya daha azını oluşturur, ancak çimentoda önemli bir rol oynar (Csacemen, 2023).

## **2. Düzeltici Bileşenler**

Dört ana elementten (boksit, demir cevheri, kum, yüksek kaliteli kireçtaşı, vb.) özel olarak zenginleştirilmiştir. Düzelticiler, yalnızca ham karışımın kimyasal bileşimini gerekli kalite hedeflerine ayarlamak için küçük miktarlarda kullanılmaktadırlar. Çimento ham karışımında ihtiyaç duyulan önemli bir kimyasal bileşen gerekli miktarda bulunmuyorsa, katkı maddesi olarak düzeltici bileşenler kullanılmaktadır. Ham karışımın kimyasal bileşiminin belirlenen gereklilikleri karşılamadığı durumlarda düzeltici katkı maddeleri eklenir. Örneğin silikayı arttırmak için silis kumu kullanılmaktadır. Klinkerin sinterleme sıcaklığını azaltmak ve kireç doyumluk katsayısını arttırmak için demir oksit eksikliği ile pirit külü, demir cevheri eklenmektedir. Bu, yanma sırasında gaz tasarrufu sağlar. Gerekli  $CaCO_3$  içeriğini sağlamak için karbonat ve kil bileşenleri de kullanılmaktadır (Energosteel, 2023).

### **2.1. Demir Cevheri**

Demir cevheri, çimento sanayiinde kullanılan önemli bir düzenleyici hammadde kaynağıdır. Saf halde gümüş rengine olan demir, genellikle oksitlenmeye eğilimli olduğunda nadiren serbest halde bulunmaktadır. Demir cevherleri dört ana gruptan oluşur: oksitler, sülfürler, sülfatlar ve karbonatlar. Çimento sanayisinde en yaygın olarak kullanılan demir cevherleri arasında Hematit ve Limonit bulunmaktadır.

Hematit, kristal durumda siyah veya bazen alacakaradır; agregat halinde ise genellikle kırmızı renge sahiptir. Kolayca kırılabilir özelliktedir ve bileşiminde %70 demir ve %30 oksijen bulunur.

Limonit sarımsı kahverengi, kırmızımsı kahverengi ve siyah renklere sahiptir. Bu mineral oldukça yaygın bir şekilde bulunur ve ara sıra büyük yataklarda da oluşabilmektedir. Çimento üreticileri demir cevherini, genellikle üretici firmalardan satın alma yöntemiyle temin etmektedir (Göлтаş, 2023).

## 2.2 Boksit Cevheri

Boksit, nispeten yüksek alüminyum içeriğine sahip tortul bir kayadır. Dünyanın ana alüminyum kaynağıdır. Boksit cevherinin sertliği 1-3, yoğunluğu 2,5-3,5 g/cm<sup>3</sup> arasında olan alüminyum oksit ve hidroksitlerin karışımında meydana gelmiştir. Dünya genelindeki alüminyum metal üretiminin yaklaşık %90'ı boksit cevherinden sağlanmaktadır. Dolayısıyla boksit cevheri dünya ticaretinde kritik öneme sahiptir. Boksit ilk kez 1821 yılında Güney Fransa'nın Les Baux köyünde bulunduğundan bu köyün adı verilmiştir. Boksit yatakları genellikle yüzeye 0-2 m yakınlıkta olup, dünya boksit yataklarının yaklaşık %80'inde açık işletme yoluyla gerçekleştirilmektedir (Şekil 1) (Rawmin, 2023).

Boksit cevheri, kimya endüstrisi, refrakter, aşındırıcı, çimento, çelik ve petrol endüstrisi gibi birçok endüstride kullanılmaktadır. Kimya endüstrisinde alüminyum kimyasallarının üretiminde boksit alümina ile birlikte kullanılmaktadır. Refrakterlerde birçok ürünün yapımında hammadde olarak kullanılmaktadır.



**Şekil 1.** Boksit cevheri ocakları

Dünyadaki işletilebilir boksit rezervlerinin toplamı yaklaşık 30 milyar ton olup, en zengin rezerve sahip başlıca ülkeler; Gine (7,4 milyar ton), Avustralya (6 milyar ton), Vietnam (3,7 milyar ton), Brezilya (2,6 milyar ton)'dur.) ve Jamaika (2 milyar ton), Endonezya (1 milyar ton), Çin (1 milyar ton), Guyana (0,8 milyar ton), Hindistan (0,8 milyar ton) ve Rusya (0,5 milyar



ton). Ülkemizde işletilebilir boksit rezervlerinin toplam sayısı yaklaşık 63 milyon ton olup, en yüksek rezerve sahip bölgeler Seydişehir-Akseki (31 milyon ton), Muğla-Milas-Yatağan (17,5 milyon ton), Tufanbeyli-Saimbeyli (9,8 milyon ton)'dur (Rawmin, 2023). Çimento üretiminde kullanılacak boksitin standart özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Çimento üretiminde kullanılacak boksit cevheri özellikleri (Rawmin, 2023).

Bileşenler (%)	Kalite Derecesi		
	A	B	C
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	42	40	38
SiO <sub>2</sub>	12	14	14
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20	25	25
TiO <sub>2</sub>	3	3	3
CaO	3	5	5
Nem	10	10	10
Boyut (0-100 mm)	95	95	95

### 3. ALTERNATİF HAMMADDELER

Çimento üretimi geleneksel olarak birincil hammaddeler olarak kireçtaşı, kil, şist ve silikaya dayanmaktadır. Ancak çevresel ve sürdürülebilirlik kaygıları, çimento üretiminde alternatif hammaddelerin araştırılmasını ve benimsenmesini teşvik etmiştir. Böylece enerji santrallerinde kömürün yakılmasıyla elde edilen ve bir yan ürün olan uçucu külden bina inşaat atıklarına kadar birçok alternatif hammadde çimento üretiminde değerlendirilme olanağı bulmuştur. Uçucu kül, geleneksel hammaddelere olan ihtiyacı azaltırken çimentonun mukavemetine ve dayanıklılığına katkıda bulunan puzolanik özelliklere sahiptir. Diğer bir alternatif ise demir ve çelik üretiminin bir yan ürünü olan ve ince toz halinde öğütüldüğünde bağlayıcı özellikler sergileyen yüksek fırın cürufudur. Silis dumanı ve metakaolin gibi tamamlayıcı çimentolu malzemeler (SCM'ler), çimentonun performansını artırırken çevresel etkisini azaltmak için de giderek daha fazla kullanılmaktadır. Ayrıca kırılmış beton, inşaat ve yıkım atıkları ve endüstriyel yan ürünler gibi geri dönüştürülmüş malzemeler de tamamlayıcı bileşenler olarak dahil edilmektedir (Korkmaz, 2017). Bu alternatif hammaddelerin araştırılması yalnızca çevresel kaygıları gidermekle kalmamakta, aynı zamanda endüstrinin çimento üretiminde sürdürülebilir ve çevre dostu uygulamalara olan bağlılığıyla da uyum sağlamaktadır.

### 3.1. Demir Cevheri Atıkları

Avustralya, Brezilya ve Güney Afrika gibi büyük demir cevheri kaynaklarına sahip ülkeler için, zenginleştirme sürecinden sonra her zaman büyük miktarlarda demir cevheri atığı ortaya çıkmaktadır. Bu atıklar, büyük ölçüde kaynak israfına ve çevre kirliliğine neden olan inşaat atıklarının ana hammaddelerini oluşturmaktadır. Demir cevheri atıkları, demir cevheri konsantrasyonunun zenginleştirilmesi sürecinde üretilen katı atıklardır ve madencilik endüstrisindeki ana kirlilik sorunlarından biridir. Demir-çelik sektörünün sürekli gelişimi demir cevheri atıklarının miktarının artmasına yol açmıştır. Yılda 300 milyon tonun üzerinde demir cevheri atıkları ortaya çıkmakta ancak demir cevheri atıklarının kapsamlı kullanım oranı günümüzde hala %10'un altında olup stoklama ise demir cevheri atıkları yönetiminde en yaygın kullanılan düşük maliyetli yöntemdir. Ne yazık ki stoklanan demir cevheri atıklarının büyük miktarı günümüz şartlarında bir dizi çevresel ve sosyal sorunu da beraberinde getirmektedir (Martínez-Barrera VD., 2017).

Çimento endüstrisi yetersiz hammadde temini ve çevrenin korunması gibi zorluklarla karşı karşıya olduğundan, uzun bir süredir Portland çimentosu klinkeri üretimi için alternatif hammaddeler aramaktadır. Portland çimentosu klinkeri üretiminde çelik çürufu, atık çamur külü ve seramik atıkları gibi çeşitli endüstriyel katı atıkların alternatif hammadde olarak kullanılabilirliği iyi bilinmektedir. Yüksek silika ve demir içeriği sayesinde demir cevheri atıklarının, Portland çimentosu klinkeri üretimi sırasında silikat veya demir içerikli düzeltici malzeme olarak kullanılabilir ancak demir cevheri atıklarının tüketimi oldukça düşüktür. Ayrıca demir cevheri atıklarının hammadde olarak kullanılmasının Portland çimentosunun ham karışım (farin) özellikleri ve hidrasyon karakteristiği üzerindeki etkisi de nadiren tartışılmıştır. Düzeltici malzeme olarak, Portland çimentosu klinkeri üretiminde alümina-silikat hammaddesi olarak demir cevheri atıklarının kullanılması daha fazla demir cevheri atıklarının tüketilmesine neden olmaktadır.

Demir cevheri atıklarının ana kimyasal bileşenleri silisyum dioksit, alüminyum oksit, kalsiyum oksit, magnezyum oksit ve ferrik oksittir; bunlar çimentonun kimyasal bileşenlerine benzer. Bu nedenle demir cevheri atıklarının geri dönüştürmenin bir yolu, sürdürülebilir çimento malzemelerinin (SCM) hazırlanmasında kullanılmalıdır. Bu yöntem hem çevre dostu hem de ekonomik açıdan uygulanabilir olacaktır. Demir cevheri atıklarının ortam sıcaklığında neredeyse hiç puzolanik aktivite göstermeden inert olduğu iyi bilinmektedir, ancak yapı malzemelerinde agrega olarak da

kullanılabilmektedir. Bilimsel araştırmaların gelişmesiyle birlikte termal aktivasyon teknolojileri atıkların uygulanabilirliğini zenginleştirmiştir. Yüksek sıcaklıklarda, demir cevheri atıklarının gaz beton hazırlamak için silisli bir malzeme olarak, çimento klinkeri hazırlamak için silisli ve demir içerikli malzemeler olarak ve inşaat tuğlalarının hazırlanmasında kile alternatif olarak kullanılabilmektedir. Termal aktivasyon teknolojileri demir cevheri atıklarının kullanım oranını artırmış olsa da, demir cevheri atıklarını günümüz teknolojisinde tüketimi düşük kalmaktadır (Yao vd., 2020).

### **3.2 Alternatif Killer**

Sürdürülebilir çimento malzemeleri hidrolik veya puzolanik özelliklere sahip silisli, alüminyumlu veya kalsiyum alüminosilikat malzemelerdir. Genellikle atık veya yan ürün, aktif mineraller veya doğal puzolanlar olarak diğer endüstrilerden sağlanmaktadır. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ticari çimentolarda en yaygın olanıdır. Aynı şekilde, bazı doğal killer daha reaktif hale gelmek için termal olarak veya hatta mekanik olarak işlenebilmektedir. Pomza tipi veya silisli toprak gibi diğer malzemeler kimyasal bileşimleri ve alkalın çözeltilerdeki reaktiviteleri nedeniyle doğal olarak puzolanik özelliği sahip olabilmektedirler. Bu malzemelerin kullanımı betonun mekanik ve dayanıklılık özelliklerini geliştirmekte ve ulusal standartlara bağlı olarak klinker içeriğinin %70'inin ikamesi olabilmektedir. Bu nedenle, birçok araştırmacı alternatif çimentolar üretmek için kil ve diğer SCM'lerin kombine eklenmesini araştırmıştır (Cardoso vd., 2022).

Küresel bağlamda SCM'lerin kullanımı, yerel kullanılabilirliğiyle güçlü bir şekilde ilişkilidir. Üretim süreçlerinin sürekli iyileştirilmesi, atık oluşumunun azaltılmasına yönelik giderek artan girişimler ve artan çimento tüketimi nedeniyle, yaygın olarak kullanılan SCM'ler çimento üretimi için yetersiz hale gelebilmektedir. Bu nedenle yeni alüminosilikat kaynaklarına ihtiyaç vardır. Kilin küresel alanda yüksek bulunabilirliği, çimento endüstrisi tarafından SCM'ler olarak geniş ölçekli kullanımına olanak sağlamakta ve killeri uygun bir alternatif haline getirmektedir. Farklı özelliklere sahip farklı kil kaynaklarının mevcut olması, bu malzemelerin reaktivitesini ve bunların uygun şekilde işlenmesini anlamak için zaruri hale gelmektedir. Daha önce yapılan bir çalışmaya göre, kaolinitik kil hidrasyon reaksiyonunda en etkili olanıdır. Kalsinasyon işlemi, alümina grubunun tetrahedral silikat yapısında daha zayıf bir bağ oluşturması nedeniyle silika-silika ve alüminyum-silika bağlarını daha kolay kırmaktadır. Metakaolin üretmek için kaolinit killerinin kalsinasyonu, yüksek reaktivitesi nedeniyle kilden elde edilen en geleneksel

SCM'dir ve Portland çimentosu uygulamaları için kapsamlı olarak rapor edilmiştir. Ayrıca, özellikleri sülfat direnci, klorür saldırısı, daha yüksek mukavemet ve önemli gözenek yapısının iyileştirilmesi üzerinde faydalı etkilere yol açmaktadır. Kalsinasyon ihtiyacına rağmen, bu prosedür Portland çimentosu klinkeri üretiminin enerjisinin %30'una kadarına ihtiyaç duymaktadır (Cao vd., 2021).

Metakaolin diğer alüminosilikat kaynaklarından çok daha reaktiftir; ancak reaktivite derecesi, klinker hidrasyonu ile salınan portlanditin (yani kristalli  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) mevcudiyeti ile sınırlıdır. Düşük klinker değişimi içeriği (~%20), metakaolin reaksiyonunun %100'üne ulaşmak için yeterlidir. Daha yüksek miktarlarda metakaolin dolgu maddesi görevi görür. Ek olarak, kireçtaşı kalsine kil çimentolarının (LC3) üretimi üzerine yapılan çalışmalar, (~%40) kaolinit içeren killerin %50'ye kadar Portland çimentosu klinkeri ikamesi olarak mümkün olduğunu göstermektedir. Bu tip çimentoda, metakaolin üzerinde bulunan alüminyum, karboalüminat fazlarının oluşumunu yoğunlaştıracak şekilde kireçtaşı dolgu maddesinde bulunan kalsiyum karbonat ile reaksiyona girebilmektedir. Böylece daha yüksek klinker değiştirme seviyesine olanak tanınır ve mikroyapısal, mekanik ve dayanıklılık özelliklerini geliştirir (De Matos VD., 2022).

### 3.3 Kanalizasyon çamuru atıkları ve çamur külü

Dünya genelinde kentleşme ve sanayileşmenin hızlı ilerlemesi nedeniyle büyük şehirlerde her yıl büyük miktarda belediye kanalizasyon çamuru üretilmektedir. Kentsel kaynaklı tüm belediye kanalizasyon çamuru bertaraf yöntemleri arasında, sıhhi depolama sahaları, denize ve okyanusa atılması, ayrıca bir kısmı tarımda organik gübre olarak ve toprak yönetimi için kullanılması yer almaktadır. Bununla birlikte, bertaraf maliyetinin yüksek olması nedeniyle, uygun depolama sahalarının bulunması giderek zorlaşmakta, bu da çamurun bertaraf edilmesi için alternatif yöntemlerin bulunması yönündeki yeni araştırmalara yol açmaktadır. Arıtma çamuru atıkları; hastanelerden, bakım evlerinden ve yerel yerleşkelerden gelen belediye atık sularından üretilmektedir. Taze çamur mekanik olarak ekstrakte edilebilmekte ve yüksek sıcaklıkta çalışan ayrı bir çamur çürütme tankına aktarılmaktadır. Çürütülmüş çamur genellikle çöplüklere atılmakta, bu da çok sayıda sağlık tehlikesine neden olmakta ve bölgenin flora ve faunasını bozmaktadır. Kanalizasyon çamurunda plastikleştiriciler, sentetik elyaflar, biyo-katılar ve çeşitli Cd-, Cu-, Pb-, Hg-, Mo-, Ni-, Se- ve Zn açısından zengin kompleks bileşikler dahil olmak üzere kirletici maddeler ve tehlikeli

maddeler mevcuttur. Ayrıca kanalizasyon çamuru patojenler, mikrokirleticiler, tespit edilemeyen bileşenler ve ağır metaller içermektedir (Türkçimento, 2023).

Birçok ülkede, bu tür atıkların sürekli olarak bertaraf edilmesi nedeniyle büyük tarım arazilerinin, ormanların ve deniz suyunun kirlendiği keşfedilmiştir. Bu tür araştırmalar sonucunda birçok yerleşim yerinde kanalizasyon çamurunun bertarafını yasaklamıştır. Ancak bu çamur yeterince arıtıldığı takdirde inşaat sektöründe kullanılabilir. (Abdul-Wahab vd., 2021) Çamurun bertarafına bir alternatif, çamurun inşaat malzemelerinde kullanılmasıdır. Yüksek sıcaklıklarda yakıldıktan sonra kanalizasyon külündeki ana bileşenler arasında  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ortaya çıkmaktadır ve bu bileşikler sıradan Portland çimentosu üretimi (OPC) için uygundur. Bu nedenle kanalizasyon külü, Portland çimentosunun kısmen yerini almak üzere beton veya harçta potansiyel olarak kullanılabilir.

Çamur külü ile yapılan bilimsel araştırmalar sonucunda genel olarak çamur külünün çimentonun priz süresini arttırdığı bulunmuştur. Portland çimentosu klinkerine alternatif olarak kullanıldığı durumda çimento harcının basınç dayanımına katkı sağladığı görülmüştür. Ayrıca arıtma çamurlarının bertarafı için çimento fabrikalarının kullanılmasıyla, enerji tüketiminin azaltılabileceği ve doğal kaynakların bu yolla korunabileceği ayrıca atık depolama sahalarına gelen yükün azalabileceği sonucuna varılmıştır (Shi ve Zheng, 2007).

### **3.4. Bina atıkları**

Bina atıkları genellikle eski binaların yıkılması sonucu oluşmaktadır. Bunlar bazen inşaat ve yıkım atığı olarak da kabul edilmektedir. İnşaat ve yıkım atıkları bileşim açısından çok karmaşıktır ve kil, kaya, beton ve tuğla gibi duvar malzemelerini ahşap, çatı kaplama, alçıpan ve az miktarda metalle karıştırılmış olarak içermektedir. Bu malzemeler genellikle kırılıp parçalanmakta, bu da enkaz yüklerinden kurtulmayı zorlaştırmaktadır. Ek olarak, bazı malzemelerin daha da karmaşıklaştırıcı faktörleri vardır. Örneğin ahşap malzemeler tipik olarak aşındırılmakta, boyanmakta ve çoğu durumda başka bir malzemeye bağlanmaktadır. Bir yıkım sahasındaki çatı kaplama malzemeleri ve tuğla, beton, kaya ve kir gibi duvar malzemeleri genellikle diğer yıkım malzemeleriyle karıştırılmaktadır. Özel değerlendirmelerine rağmen inşaat ve yıkım atıkları çimento üretiminde değerlendirilmektedir.

Yığılma malzemeler fiziksel özelliklerine bağlı olarak hem kaba hem de ince beton agregası olarak ta kullanılabilir (Şekil 2).



Şekil 2. Bina atıkları

İlk olarak laboratuvarlarda farklı derecelerde beton geliştirilmiş ve dayanıklılık, basınç dayanımı, hidrolik özellikler, fiziksel özellikler, vb. dahil olmak üzere çeşitli testler yapılmıştır. Test sonuçları bu malzemelerin çimento sektöründe değerlendirilme olanakları umut verici sonuçlar vermiştir. Özellikle İnşaat ve yıkım atıkları için geliştirilen kaplama betonu çok umut vericidir. Ayrıca birçok durumda İnşaat ve yıkım atık malzemeleri yol yapımında ve hatta bazı duvar malzemeleri hafif beton dayanımını geliştirmek için bile kullanılmıştır. Ancak bu atık ürünlerin daha fazla kullanılması için daha periyodik araştırmalara duyulan ihtiyaç devam etmektedir (Oh vd.,2014; Pokorný vd.,2021).

### 3.5 Atık Camlar

Son teknolojik gelişmeler, atık camın betonda sürdürülebilir çimento malzemeler (SCM) veya agrega olarak kullanılabilirliğini göstermiştir. Atık camın betonda oynadığı rol ve bunun betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisi iki baskın faktöre bağlıdır Silika açısından zengin inorganik atık

cam yüksek reaktivite göstermektedir. Atık camın bu reaktivitesi, ince ve kaba agregaların yerini almasına ek olarak, betonda sürdürülebilir çimento malzemeleri (SCM) olarak başka bir rol oynamasını sağlamıştır. Atık camın betonda oynadığı rol ve bunun betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisi iki baskın faktöre bağlıdır. Bunlar parçacık boyutu ve atık camın değiştirilme düzeyidir. Bununla birlikte, reaktif atık cam ve çimento matrisi arasındaki alkali-silika reaksiyonu (ASR) nedeniyle, çimentolu malzemelerin dayanıklılık performansının bozulması açısından camın zararlı etkisi gerçek bir endişe kaynağıdır (Chen vd., 2022).

### **3.6. Seramik Fayans Atıklarının ve Mermer Atıkları**

Mermer, dünya genelinde bol miktarda bulunan doğal taşlardan biridir, yani toplam doğal taş üretiminin %50'sini oluşturmaktadır. Ülkemiz Afyonkarahisar, Denizli, Balıkesir ve Muğla illeri başta olmak üzere büyük mermer endüstrilerine ve rezervlerine sahiptir. Saf kireçtaşı mermere dönüşür ve mermerin saflığı ise rengiyle tanımlanır. Ayrıca mermer dekoratif amaçlı da kullanılmakta olup estetik açıdan çekici yapısı nedeniyle tarihi yapılarda ve anıtlarda da kullanılmıştır. Mermer bloğunun yaklaşık %20-30'u işlenmesi sırasında moloz veya toza dönüşmektedir. Bu miktar aynı zamanda bertaraf edilmesi zor olan ve çevreyi kirleten mermerden üretilen atıklara da katkıda bulunmaktadır. Bu atık, toprakla etkileşime girerek toprağın özelliklerini etkilemekte, toprağın gözenekliliğini ve geçirgenliğini daha da değiştirmekte ve uygun teknikler uygulanarak iyileştirilinceye kadar araziye çorak hale getirmektedir. Daha sonra su mermer atıklarıyla temas ettiğinde kirlenmekte ve kullanılamaz hale getirmektedir (Şekil 3). Bununla birlikte mermer işlenmesi sırasında çevreye yönelik tehditler oluşturmaktadır; ancak betonda ve kaldırımlarda çimentolama malzemesi veya dolgu/agrega olarak kullanıldığında toplam boşluk içeriğini azalttığında çok sayıda avantaja da sahiptir. Mermer atıkları ve seramik karo atıkları kompakt yapıları nedeniyle geri dönüştürülebilir malzemelerdir. Çimento üretimi esnasında karbondioksit yayılırken bu durum çimentonun mermer atıklarıyla ikame edilmesiyle kontrol altına alınabilmektedir. Mermer ayrıca betonun özelliklerini iyileştirebilecek katkı maddesi olarak beton üretiminde kullanılabilir. Ayrıca mermer tozu beyaz çimento üretiminde de tercih edilen bir malzemedir (Korkmaz, 2020; Mangi vd., 2022).



**Şekil 3.** Mermer atıkları sahası

Seramik karolar çoğunlukla yüksek miktarda kil minerali içeren doğal malzemeler kullanılarak üretilmektedir. Ancak seramiğin dekoratif faydalarına rağmen ortaya çıkan atıklar çevreye birçok rahatsızlık vermektedir. Seramik ürünler çoğu binada kullanılan temel inşaat malzemelerinin bir parçasıdır. Yaygın olarak üretilen seramiklerden bazıları arasında duvar karoları, yer karoları, sıhhi tesisatlar, ev seramikleri ve teknik seramikler yer almaktadır. Mevcut literatüre dayanarak araştırmacılar, seramiğin doğal agregaların yerini alma potansiyelini belirlemişlerdir (Alsaif, 2021). Çeşitli araştırmalar ise, seramik üretimi sırasında malzemenin yaklaşık %30'unun atıklara gittiğini ve faydalı şekilde değerlendirilemediğini öne sürmektedir. Küresel ölçekte büyük miktarda inşaat atığı oluşurken, seramik malzemelere ait atıkların yaklaşık %54'ünün geri dönüştürülerek kullanılması, yapı malzemeleri atığı yönetimine önemli bir katkı sağlamaktadır. Ayrıca betonda kaba agregaların yerine kiremit ve seramik agregalarının eklenmesi durumunda çevre kirliliğinin azaltılabileceğini ve daha düşük maliyetli yeşil çimento ve betonların üretilebileceğini düşünmek yerinde olacaktır (Mangi vd., 2022; Mas vd., 2016).

### **3.7 Kırmızı Çamur**

Kırmızı çamur, alümina üretimi süreci sırasında ortaya çıkan güçlü alkali bir katı atıktır. Yüksek demir oksit içeriğinden dolayı kırmızımsı kahverengi renktedir ve kırmızı toprağa benzediğinden dolayı kırmızı çamur olarak adlandırılmıştır. Alümina üretiminin sürekli artması ve gerekli cevher kalitesinin düşmesiyle birlikte kırmızı çamur üretimi de artmaktadır. Kırmızı çamurun yüksek alkali içeriği, kullanımını zorlaştırdığından, günümüzde



genellikle depolanarak bertaraf edilmektedir. Bu kalıntıyı arıtmak için en çok kullanılan ve en ucuz yöntem, çamura su eklenmesi ve çözeltilinin çökeltme için bertaraf edilmesinden oluşan ıslak yöntemdir. Ancak bu yöntemin çevresel etki potansiyeli yüksektir. Bu çamur, dünya çapında yaklaşık 2,7 milyar ton kırmızı çamurun bertaraf edilmesiyle çevresel ve ekonomik bir sorunu temsil etmektedir ve büyümenin yılda yaklaşık 120 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. Kırmızı çamurun küresel envanterinin mevcut üretimi dikkate alındığında 4 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir. Kırmızı çamur, uzun bir süre alüminyum endüstrisi için kullanılamaz bir atık olarak görülmekteydi. Ancak bertarafıyla ilgili ekonomik maliyetler ve çevresel riskler, üreticileri ve araştırmacıları atık hacmini azaltmak için çevre dostu alternatifler aramaya yöneltmiştir. Bununla birlikte, belirli ülkelerde endüstriyel proseslerde, örneğin çimento üretiminde, yalnızca küçük bir yüzde (ağırlıkça %5'ten az) yeniden kullanılmaktadır. Daha sonra kalan tüm malzeme atık sahasında depo edilerek çevre kirliliğine neden olmaktadır. Kırmızı çamur %10-20 oranında alümina ve %6-7 oranında silika içermekte; bu da onun tuğla, agrega, çatı, çimento ve beton gibi yapı malzemeleri üretiminde kullanım potansiyelini göstermektedir. Bununla birlikte, sıradan Portland çimentosu (OPC) üretimi için farin içinde kullanılması uygun bir seçenektir ve örneğin Beyaz Rusya, Kıbrıs, Çin, Gürcistan, Yunanistan, Moldova, Romanya, Rusya ve Ukrayna'da birkaç başarılı örnek rapor edilmiştir. Kimyası ve mineralojisi OPC'den farklı olan alternatif çimentolarda (demir açısından zengin) kırmızı çamurun daha yüksek bir oranda dahil edilmesi mümkündür. Bunların arasında kalsiyumsülfoalüminat çimentoları (CSA) veya belit-ye'elimit-ferrit çimentoları (BYF) bulunur. CSA çimentolarının üretiminin önemli bir dezavantajı, maliyetli olabilen ve çoğunlukla alümina üretimi için kullanılabilen boksit kullanımınıdır. Başka bir alümina kaynağı yüksek dereceli kaolindir; ancak alternatif alümina kaynakları, örneğin alüminyum cürufu veya uçucu kül gibi atık malzemelerden elde edilenler de alternatif olabilmektedir. Alüminyum seviyesi çok yüksek olmamasına ve önemli miktarda ferrik oksit sağlamasına rağmen boksit kalıntısı da dikkate alınabilmektedir (Silveira vd., 2021; Liv d., 2022; Hertel vd., 2021).

#### **4. Endüstriyel Yan Ürünler**

Alüminyum ve çelik gibi metal endüstrilerinden, kömür bazlı enerji santralleri gibi termik santrallerden ve pirinç kabuğu külü ve küspe külü gibi yakılmış biyokütle yüklerinden kaynaklanan endüstriyel atıkların kullanımını

son yıllarda araştırmacılar tarafından yoğun ilgi görmektedir. Hammaddelerin işlenmesi sonucunda yüksek miktarlarda sanayi sonrası atık malzeme ortaya çıkmaktadır ve bu malzemelerin birçoğunun imhası bir zorunluluk haline gelmiştir. Kentleşme, sanayileşme ve ekonomik büyümeye bağlı olarak atık madde üretimi her geçen gün artmaktadır. Bu atık malzemelerin çöpe atılması ciddi çevre ve halk sağlığını tehdit etmektedir. Bu malzemelerin bertarafı için genellikle geniş arazilere ihtiyaç duyulmakta ve bunların depolanması, uzun vadede stabilite açısından zorluklar içermektedir. Farmasötik atıklar ve kağıt üretiminden kaynaklanan kimyasal atıklar gibi bazı endüstrilerle ilişkili tehlikeli atıkların sorumlu bir şekilde bertaraf edilmesi özellikle zordur. Bu malzemelerin büyük miktarda üretilmesi, güvenli bertarafın yüksek maliyeti ve uzun vadeli bertaraf için depolama alanlarının belirlenmesinin zorluğu nedeniyle, bu atık malzemelerden uygulanabilir bir ürün üretmek için kullanılmasına yönelik artan bir ilgi vardır. Alternatif ürünler üretmek ve insanlar ve çevre üzerindeki zararlı etkileri azaltmak için bu atık malzemelerin çevre ve enerji sınırlamaları dahilinde daha etkin kullanılması günümüzde aktif olarak teşvik edilmektedir (Jittin vd., 2021; Sharma vd., 2021).

Çimento endüstrisi, sürdürülebilirliği sağlamak ve Kyoto Protokolü taahhütlerine uymak için bu sorunlara çözüm aramaktadır. Bu nedenle üretimi daha az enerji yoğun, çevreye daha az zarar veren ve kirletici gaz yayma eğilimi daha düşük olan çimentoların geliştirilmesi için deneysel yollar araştırılmaktadır. Bu hedefe ulaşmanın bir yolu endüstriyel atıkların ve yan ürünlerin çimento üretiminde alternatif malzeme olarak kullanılmasıdır. Bu tür alternatif malzemeler, çimentonun nihai bileşiminde yakıtın, geleneksel hammaddelerin veya klinkerin yerini kısmen alabilmektedir (Rehan ve Nehdi, 2005).

#### **4.1. Yüksek fırın cürufları**

Son yıllarda araştırmacılar farklı atık malzemelerden çevre dostu çimentolu malzemelerin geliştirilmesine odaklanmışlardır. Yüksek fırın cürufu, demirin cevherden ekstraksiyonunda yan ürün olarak elde edilmektedir (Şekil 4). Demirin çıkarılması işlemi yüksek sıcaklık fırınlarında gerçekleştirilmektedir. Demir cevheri üzerinde elde edilen cüruf ayrıştırılarak yavaş yavaş soğutulmakta, bu da reaksiyona girmeyen kristalli malzemenin oluşmasına neden olmaktadır. Ayrıca bu cüruf çimento gibi ince öğütülmekte ve ihtiyaca göre klinker ile farklı oranlarda karıştırılmaktadır (Shumuye vd., 2021).



**Şekil 4.** Yüksek fırın cürüfları

Kireçtaşı, kum, kil ve boksit ile birlikte çelik cürufu kullanılarak üretilen klinkerin mineralojik bileşimi çelik cürufundan olumsuz etkilenmemiş ve sıradan Portland çimentosu (OPC) ile benzer özellikler göstermiştir. Portland çimentosu klinkerine benzer olarak dikalsiyum silikat ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ , kısaltılmışı  $\text{C}_2\text{S}$ ), trikalsiyum silikat ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ , kısaltılmış  $\text{C}_3\text{S}$ ) ve tetrakalsiyum alüminoferrit ( $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ , kısaltılmış  $\text{C}_4\text{AF}$ ) çelik cürufunun ana faz bileşenleridir. Cüruf, düşük kaliteli bir klinker olarak kabul edilebilir ve genellikle harmanlanmış çimentoların yerine kısmen normal klinkerin yerine kullanılmaktadır. Orta düzeyde çelik cürufu ile harmanlanan çimento, iyi hidrolik özelliklere ve standart priz süresine sahip olup, sıradan Portland çimentosu ile karşılaştırıldığında tatmin edici bir performans sergilemektedir. Çelik cürufu; kaynakların, enerjinin ve çevrenin korunmasına katkıda bulunurken sıradan Portland çimentosuyla karşılaştırılabilir bir performans elde etmek için, cürufun optimum ikame oranının yaklaşık %10-20 olması önerilmektedir. Ayrıca çelik cürufu eklenmesi klinkerin mineralojik özelliklerini etkilemediği gibi sinterleme sıcaklığının  $1320\text{--}1350^\circ\text{C}$ 'ye düşürülmesine yardımcı olmaktadır. Laboratuvar testleri ve endüstriyel çalışmalar, çelik cürufu bileşenlerinin klinkerin nispeten daha düşük sıcaklıklarda pişirilmesine izin verdiğini ve bunun da nihai ürünün kalitesini artırdığını tutarlı bir şekilde göstermiştir (Ghorbani vd., 2023).

Portland çimentosu üretimi, hammaddelerin eklenmesini,  $1500^\circ\text{C}$ 'de kalsinasyonu ve alçıtaşı, çimento klinkerlerinin öğütülmesini içermektedir. 1 ton çimento üretimi için gereken enerjinin toplam üretimi 4,8 milyon tondur. Bu,  $\text{CO}_2$  gibi önemli kirleticileri açığa çıkaran, enerji yoğun bir yöntemdir.

Portland çimentosu üretimi bir dizi çevresel ve ekolojik kaygıyı beraberinde getirmektedir. Çimento üretimi için gereken enerjiden tasarruf etmek için bakır cürufunun çimento yerine kısmi olarak kullanılması önemlidir, çünkü sadece öğütme gerektirmektedir. Artık yan ürün de yeniden kullanılabilir. İnşaat hacminin %75'inden fazlası doldurulduğundan, inşaatta granüler ve iri agrega kullanıldığında bakır cürufu kullanılabilir. Bakır cürufu, şeffaf bir bakırın eritilip işlenmesinden sonra oluşan bir yan üründür. Bakır cürufu arıtımına yönelik mevcut seçenekler arasında geri dönüşüm, metallerin geri kazanımı ve katma değerli malzemelerin işlenmesi ve atık depolama sahalarında veya cüruf sahalarında bertarafı yer almaktadır. Portland Çimentosu Üreticileri, birçok fabrikada büyük ölçekli çimento üretiminde bakır cürufunun kullanılabilirliğini endüstriyel ölçekte test etmiş ve başarılı sonuçlar elde etmiştir. Birçok araştırmacı, bakır cürufunun çimento klinkeri üretiminde bakır cürufunun kullanımı üzerindeki etkisini araştırmış ve çimento, ham ve ince çakıl yerine kullanılması sonucunda Portland çimentosu harcı ve betonunun özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür. Bakır cürufunun çimento ve betonda kullanılması, özellikle büyük miktarlarda bakır cürufu üretildiğinde tüm sektörler için çevresel ve ekonomik faydalar sunmaktadır (Maharishi vd., 2021).

#### 4.2. Uçucu küller

Çimento ve beton sektörünün sürdürülebilirlik açısından avantajlarından biri de uçucu kül ve öğütülmüş granül yüksek fırın cürufu gibi endüstriyel katı atıkların büyük miktarlarda değerlendirilebilmesidir. Atıklar, madencilik endüstrisindeki cevher zenginleştirme sürecinin katı atıklarıdır ve bazı ülkelerde büyük miktarlarda mevcuttur. Yanan kömürden yayılan uçucu kül, çimento endüstrisine yaygın olarak uygulanmaktadır ve çimentoyla karıştırılacak uçucu külün kalitesi her ülkede ilgili bir yönetmelik ile belirtilmektedir: Avrupa Birliği'nde EN 450, ABD'de ASTM C618-94, Avustralya'da AS 3582.1 ve Japonya'da JIS A-6201. Yani, kömürden elde edilen uçucu külün çimentoda kullanılmak üzere geri dönüştürülmesi dünyanın birçok yerinde standartlaştırılmıştır. İşlenebilirlik ve mukavemet göz önüne alındığında, uçucu külün ağırlıkça %10-20'si genellikle çimento ile karıştırılmaktadır. Uçucu külün ana bileşenleri silikat (yaklaşık ağırlıkça %40-50), alüminyum oksitler ve kimyasal özellikleri açısından çimento karıştırıcıları olarak uygun olan kalsiyumdur (Giergiczy, 2019; Park ve Choi, 2021)

### **4.3 Maden Atıkları**

Mineral ve metallere olan talebin artması nedeniyle, her yıl dünya çapında milyarlarca ton atık, cevher işleme yoluyla üretilmektedir. Bu atıklar genellikle çok sayıda arazi kaynağına stoklanmakta ve tarım arazilerini işgal etmektedir. Cevher işlemenin özel gerekliliğinin bir sonucu olarak, elde edilen atıklar ince tanelidir ve belirli bir konsantrasyonda reaktif içermektedir. Cevher işleme artıkları potansiyel bir kirletici kaynağı olarak kabul edilmekte ve çevre ve halk sağlığı için büyük tehlikeler oluşturmaktadır. Bu cevher işleme artıklarının geri dönüşümü ve zararsız arıtımı ve bertarafı büyük önem taşımaktadır (Jawadand, ve Randive, 2021). Tesisten deşarj edilen cevher zenginleştirme artıkları genellikle farklı tane boyutlarına göre sınıflandırılmaktadır. İri kumlar genellikle yeraltı boşluklarına doldurulmaktadır. İnce taneli atıklar ise atık barajın tabanına çökelmektedir (Şekil 5).



**Şekil 5.** Maden atık barajı

Her ne kadar bazı araştırmacılar maden atıklarından değerli bileşenlerin geri kazanımı üzerinde çalışıyor olsa da atıkların değerlendirilme kapasitesi küçüktür ve atıkların çoğu hâlâ barajlarda kalmaktadır. Cevher işleme artıkları, özellikle silisli atıklar, puzolanik malzemelere göre temel kimyasal bileşimlere ( $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ve potansiyel çimentomsu/puzolanik

özelliklere sahiptir. Maden atıkları, çimento yerine veya betona katkı maddesi olarak yapı malzemeleri için hammadde olarak kullanılabilir. Maden atıklarının çimento üretiminde değerlendirilmesi, çevre sorunlarını azaltabilir, atıkların kullanım oranını artırabilir, ekonomik ve teknolojik faydalar sağlayabilir. Bu da üreticilere gelecek vaat eden toplu ve zararsız bir kullanım yöntemi sunar (Franco de Carvalho vd., 2019).

Mineral artıkları, ham cevherin belirli bir teknoloji ile ayrılmasından elde edilen, beklenen mineral bileşeni daha düşük olan bir tür yan üründür. Son birkaç on yılda sanayinin gelişmesiyle birlikte tüm dünyada yoğun madencilik faaliyetleri nedeniyle giderek artan sayıda maden atığı üretilmiştir. Aynı zamanda bertarafı dünya çapında ciddi bir sorun ve gündem haline gelmiştir. Mineral atıkların normalde çimentolu özellikler taşımadığı ve buna çimento ve beton harçlarının mukavemetinin azalmasıyla birlikte eşlik ettiği de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle mineral atıklarının reaktivitesini ve çimentolu/puzolanik özelliklerini iyileştirmek için aktivasyon gereklidir. Yaygın aktivasyon yöntemleri termal, kimyasal, mekanik ve hibrit aktivasyon tekniklerini içermektedir. Kimyasal aktivasyon, çimentolu özellikler oluşturmak veya hidrolik özellikleri aktive etmek için bazı reaktiflerin uygulanmasına atfedilir. Alkali reaktifler (NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ve Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>), sülfatlar (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve CaSO<sub>4</sub>) ve bileşik aktivatörler genellikle kullanılmakta ve çimento bileşenlerinin potansiyel reaktivitesini güçlendirebilmektedir. Ancak bu kimyasal katkı maddeleri atıkların kimyasal bileşimini değiştirebilmektedir. Termal aktivasyon yöntemi genellikle harç sıcaklığının yükseltilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Ancak yüksek sıcaklık koşulları özel ısıtma ekipmanı gerektirmektedir. Yüksek sıcaklıkta aktivasyon aynı zamanda çok büyük enerji tüketimine de yol açmaktadır (Erçikdi vd, 2009; Alp vd., 2008).

Altın madenciliği insan toplumuna büyük zenginlik getirmiş ve ekonomik kalkınmayı desteklemiştir. Bununla birlikte, altın madenciliği ölçeğinin ve hızının artmasıyla birlikte altın cevheri artıklarının miktarı da hızla artmaktadır. Dünyadaki altın cevheri artıklarının miktarı 14.000 milyon tona ulaşmıştır. Bu altın cevheri artıklarının zamanında ve etkili bir şekilde bertaraf edilmediğinden, bunu bir dizi keskin sorun takip etmektedir. Altın cevheri artıklarının ekolojik çevre üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratmıştır. Birikecek hiçbir yer olmadığından geniş ekilebilir arazileri işgal etmiştir. Zamanın uzamasıyla birlikte bu altın cevheri artıklarındaki su yeraltına sızarak yeraltı suyunu zehirlemiş ve toprağın pH'ını değiştirmiştir. Havayla

kuruduktan sonra yüzeyde kalan ince parçacık halindeki altın cevheri artıkları toz fırtınalarına neden olarak solunabilir havayı kolayca kirletebilmektedir. Üstelik bitkilerin yetiştiği ortam tahrip edilmekte ve büyümeleri bu nedenle engellenmektedir. Öte yandan altın cevheri artıklarının yönetiminin maliyeti giderek artmaktadır. Bu nedenle altın cevheri artıklarının kullanımına yönelik daha fazla araştırma-geliştirme ve kullanım için özel bir malzemeye dönüştürülmesi gerekmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda altın cevheri artıklarının çimento endüstrisinin geleneksel silisli ham maddeye olan bağımlılığının azaltılmasına yardımcı olabileceği sonucuna varılmıştır. Altın cevheri artıklarının ilavesinin, çimento üretim maliyetlerini düşürebileceği görülmüştür (Wang vd., 2022).

## **SONUÇ**

Çimento üretiminde alternatif hammaddelerin varlığı, ürün çeşitliliğini arttırarak düşük maliyetli ve çevre dostu yeşil çimentoların üretimi destekleyecektir. Ancak, doğal kaynakların tükenmesi ve mineral ve endüstriyel atıklardaki azalma gibi faktörlerle karşılaşıldığında, sürekli üretim için yeni alternatif hammaddeleri aranması ve değerlendirilmesi kaçınılmaz olmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Abdul-Wahab, S. A., Al-Dhamri, H., Ram, G., & Chatterjee, V. P. (2021). An overview of alternative raw materials used in cement and clinker manufacturing. *International Journal of Sustainable Engineering*, 14(4), 743-760.
- Alp, İ., Deveci, H., Süngün, H. (2008). Utilization of flotation wastes of copper slag as raw material in cement production. *Journal of hazardous materials*, 159(2-3), 390-395.
- Alsaif, A. (2021). Utilization of ceramic waste as partially cement substitute— A review. *Construction and Building Materials*, 300, 124009.
- Cao, Y., Wang, Y., Zhang, Z., Ma, Y., & Wang, H. (2021). Recent progress of utilization of activated kaolinitic clay in cementitious construction materials. *Composites Part B: Engineering*, 211, 108636.
- Cardoso, T. C., de Matos, P. R., Py, L., Longhi, M., Cascudo, O., & Kirchheim, A. P. (2022). Ternary cements produced with non-calcined clay, limestone, and Portland clinker. *Journal of Building Engineering*, 45, 103437.
- Chen, H., Chow, C. L., & Lau, D. (2022). Developing green and sustainable concrete in integrating with different urban wastes. *Journal of Cleaner Production*, 368, 133057.
- Choplin, A. (2023). *Concrete City: Material Flows and Urbanization in West Africa*. John Wiley & Sons.
- De Matos, P. R., Andrade Neto, J. S., Sakata, R. D., Campos, C. E. M., Kirchheim, A. P., & Rodríguez, E. D. (2022). Effect of superplasticizer addition time and metakaolin source on the early-age hydration of limestone calcined clay cement (LC3). *Materials and Structures*, 55(8), 218.
- Detwiler, R. J., & Tennis, P. D. (1996). The use of limestone in portland cement: a state-of-the-art review (No. RP118, RP118. 02T.).
- Ercikdi, B., Cihangir, F., Kesimal, A., Deveci, H., Alp, İ. (2009). Utilization of industrial waste products as pozzolanic material in cemented paste backfill of high sulphide mill tailings. *Journal of hazardous materials*, 168(2-3), 848-856.
- Franco de Carvalho, J. M., Campos, P. A. M., Defáveri, K., Brigolini, G. J., Pedroti, L. G., & Peixoto, R. A. F. (2019). Low environmental impact cement produced entirely from industrial and mining waste. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(2), 04018391.



- <https://energosteel.com/en/raw-materials-in-cement-production/>(Erişim Tarihi:09.10.
- Frigione, G. (1983). Gypsum in cement. In *Advances in cement technology* (pp. 485-535). Pergamon.
- <https://gharpedia.com/blog/raw-materials-used-manufacturing-cement/>(Erişim Tarihi: 17.10.2023).
- Giergiczny, Z. (2019). Fly ash and slag. *Cement and Concrete Research*, 124, 105826.
- Ghorbani, S., Stefanini, L., Sun, Y., Walkley, B., Provis, J. L., De Schutter, G., & Matthys, S. (2023). Characterisation of alkali-activated stainless steel slag and blast-furnace slag cements. *Cement and Concrete Composites*, 143, 105230.
- <https://www.goltas.com.tr/tr/urunlerimiz/klinker-ve-cimentolar/demir-cevheri/>(Erişim tarihi:05.10.2023)
- Hertel, T., Van den Bulck, A., Onisei, S., Sivakumar, P. P., & Pontikes, Y. (2021). Boosting the use of bauxite residue (red mud) in cement-Production of an Fe-rich calciumsulfoaluminate-ferrite clinker and characterisation of the hydration. *Cement and Concrete Research*, 145, 106463.
- Jawadand, S., & Randive, K. (2021). A sustainable approach to transforming mining waste into value-added products. In *Innovations in sustainable mining: balancing environment, ecology and economy* (pp. 1-20). Cham: Springer International Publishing.
- Jittin, V., Rithuparna, R., Bahurudeen, A., & Pachiappan, B. (2021). Synergistic use of typical agricultural and industrial by-products for ternary cement: A pathway for locally available resource utilisation. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123448.
- Korkmaz, A.V., 2017. Çimento Üretiminde Kil Ham Maddesine Alternatif Olarak Metaşistin Kullanılabilirliği. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Korkmaz, A. V. (2020). Evaluation of Cappadocia perlites as a building material with natural stone residues. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, (044), 57-70.
- Maharishi, A., Singh, S. P., & Gupta, L. K. (2021). Strength and durability studies on slag cement concrete made with copper slag as fine aggregates. *Materials Today: Proceedings*, 38, 2639-2648.

- Li, W. Y., Zhang, Z. Y., & Zhou, J. B. (2022). Preparation of building materials from Bayer red mud with magnesium cement. *Construction and Building Materials*, 323, 126507.
- Mangi, S. A., Raza, M. S., Khahro, S. H., Qureshi, A. S., & Kumar, R. (2022). Recycling of ceramic tiles waste and marble waste in sustainable production of concrete: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(13), 18311-18332.
- Martínez-Barrera, G., Gencel, O., Reis, J. M. L. D., & del Coz Díaz, J. J. (2017). Novel Technologies and Applications for Construction Materials 2016. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017.
- Mas, M. A., Monzó, J., Payá, J., Reig, L., & Borrachero, M. V. (2016). Ceramic tiles waste as replacement material in Portland cement. *Advances in Cement Research*, 28(4), 221-232.
- Nehdi, M. L. (2014). Clay in cement-based materials: Critical overview of state-of-the-art. *Construction and Building Materials*, 51, 372-382.
- Oh, D. Y., Noguchi, T., Kitagaki, R., & Park, W. J. (2014). CO2 emission reduction by reuse of building material waste in the Japanese cement industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 796-810.
- Park, B., Choi, Y. C. (2021). Hydration and pore-structure characteristics of high-volume fly ash cement pastes. *Construction and Building Materials*, 278, 122390.
- Pokorný, J., Ševčík, R., Šál, J., & Zárýbnická, L. (2021). Lightweight blended building waste in the production of innovative cement-based composites for sustainable construction. *Construction and Building Materials*, 299, 123933.
- Rehan, R., & Nehdi, M. (2005). Carbon dioxide emissions and climate change: policy implications for the cement industry. *Environmental Science & Policy*, 8(2), 105-114.
- [https://www.turkcimento.org.tr/tr/alternatif\\_yakit\\_ve\\_hammaddeler](https://www.turkcimento.org.tr/tr/alternatif_yakit_ve_hammaddeler)(Erişim tarihi:01.10.2023).
- Sharma, U., Gupta, N., & Saxena, K. K. (2021). Comparative study on the effect of industrial by-products as a replacement of cement in concrete. *Materials Today: Proceedings*, 44, 45-51.
- Shi, C., & Zheng, K. (2007). A review on the use of waste glasses in the production of cement and concrete. *Resources, conservation and recycling*, 52(2), 234-247.

- Singh, Nakshatra Bahadur. "Clays and clay minerals in the construction industry." *Minerals* 12.3 (2022): 301. Silveira, N. C. G., Martins, M. L. F., da Silva Bezerra, A. C., & da Silva Araújo, F. G. (2022). Ecological geopolimer produced with a ternary system of red mud, glass waste, and Portland cement. *Cleaner Engineering and Technology*, 6, 100379.
- Shumuye, E. D., Zhao, J., & Wang, Z. (2021). Effect of the curing condition and high-temperature exposure on ground-granulated blast-furnace slag cement concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 15, 1-20.
- Wang, Z., Chu, H., Wang, J., Feng, E., Zhang, Y., & Lyu, X. (2022). Mechanical activation of siliceous tailings and its application as cement admixtures. *Minerals Engineering*, 177, 107366.  
<https://www.csacement.com/what-are-the-roles-of-gypsum-in-cement-production.html> (Erişim tarihi:28.09.2023).  
<https://energosteel.com/en/raw-materials-in-cement-production/>(Erişim tarihi:10.10.2023).  
[https://www.rawmin.com/cement\\_grade\\_bauxite.html](https://www.rawmin.com/cement_grade_bauxite.html)(Erişim tarihi:05.11.2023).
- Yao, G., Wang, Q., Wang, Z., Wang, J., & Lyu, X. (2020). Activation of hydration properties of iron ore tailings and their application as supplementary cementitious materials in cement. *Powder Technology*, 360, 863-871.

## **BÖLÜM 6**

### **GEMİLERDE UYGULANAN ISITMA, HAVALANDIRMA VE SOĞUTMA SİSTEM VE YÖNTEMLERİ**

Yük. Müh. Tahir Nezih ÖZDEMİR<sup>1</sup>

Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL<sup>2</sup>

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10435258>

---

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Gemi İnşaatı Programı, Haydar Aliyev Bulvarı, No: 32, Balçova - 35330 İzmir, Türkiye.

ORCID NO: 0000-0002-5830-5582 (tezih@gmail.com, +90 532 6167627)

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Gemi İnşaatı Programı, Haydar Aliyev Bulvarı, No: 32, Balçova - 35330 İzmir, Türkiye.

ORCID NO: 0000-0002-9681-680X (turgut.gursel@deu.edu.tr, +90 536 544 2802)



## GİRİŞ

60'lı ve 70'li yıllardan bu yana ısı konfor parametreleri teorik ve deneysel yöntemlerle belirlenmekte ve insanların yaşadığı ve çalıştığı binalar bu esaslara göre iklimlendirilmektedir. Ancak özellikle gemiler için kapsamlı çalışmalar yapılmamakta, ağırlıklı olarak binalar için belirlenen temel prensipler dönüştürülerek uygulanmaktadır. Oysa deniz araçlarında üretilen enerjinin yaklaşık 10-50%'si aracın ısıtılması, soğutulması, havalandırılması veya iklimlendirilmesi için tüketilmektedir. Bu nedenle termal konfor parametrelerinin belirlenmesi ve bu alandaki etki faktörlerinin elde edilmesi ile bu yüksek enerji tüketiminin azaltılması mümkündür. Bu araştırmanın temel amacı, saha ölçümlerini kullanarak yeni iklimlendirme ve kontrol sistemlerinin yanı sıra yapıcı önlemler geliştirmektir. Bu sayede hem düşük enerji tüketimi hem de yolcuların memnuniyetini ve çalışanların performansını artıran konforlu ortamların sağlanması hedeflenmektedir.

Gemilerdeki ısıtma, soğutma ve havalandırma (Heating, Ventilation, and Air Conditioning, HVAC) sistemleri, geminin iç mekanlarının tümüyle iklimlendirilmesini dolayısıyla temel yaşam ve çalışma koşullarının sağlaması için önemli bir rol oynar. Bu sistemler, gemilerde kabinler, yemekhaneler, sosyal alanlar, makine dairesi vb. farklı alanlarında sıcaklık kontrolü yaparak mürettebatın ve yolcuların konforunu ve güvenliğini sağlar. Bunun için de genellikle ısıtma kazanları veya ısıtma pompaları gibi cihazlar kullanılır.

Gemilerdeki soğutma sistemleri, iç mekân sıcaklığını kontrol etmek ve özellikle makine dairesi gibi yüksek ısı üreten bölgelerin aşırı ısınmasını önlemek için kullanılır. Soğutma sistemleri, chiller üniteleri, kondenserler ve fanlar gibi bileşenlerden oluşabilir. Bu sistemler, geminin farklı bölgelerine serin hava sağlayarak konforu artırır.

Havalandırma sistemleri, gemideki iç mekân havasını temizlemek, hava döngüsünü sağlamak ve filtrelemek için kullanılır. Bu sistemler, taze hava alımı ve eski havanın tahliyesi ile iç mekân havasının kalitesini artırır. Ayrıca, tehlikeli gazların, dumanın ve kötü kokuların uzaklaştırılmasını sağlar. Havalandırma sistemleri, geminin farklı bölgelerine özelleştirilebilir şekillerde entegre edilebilir.

Klima sistemleri, iç mekân sıcaklığını kontrol etmenin yanı sıra nem kontrolü sağlar. Klima sistemleri, genellikle daha hassas sıcaklık ve nem kontrolü gerektiren alanlarda tercih edilir.

Gemilerdeki HVAC sistemleri, gemi türüne, büyüklüğüne ve kullanım amacına göre farklılık gösterebilir. Bu sistemlerin verimli çalışması, mürettebatın ve yolcuların konforunu sağlamak ve geminin güvenliğini sürdürmek için önemlidir. Gemilerdeki ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri, uluslararası denizcilik kuruluşları ve standartları tarafından belirlenen yönergeler ve kurallara uygun olarak tasarlanır. HVAC sistemlerinin tasarımında dikkate alınan bazı önemli standartlar izleyen kısımda özetlenmiştir.

IMO (Uluslararası Denizcilik Örgütü) tarafından geliştirilen SOLAS (Uluslararası Can Kurtarma ve Güvenlik Sözleşmesi), gemi güvenliği ve can kurtarma standartlarını belirleyen temel bir uluslararası sözleşmedir. SOLAS, gemilerdeki yangın güvenliği, acil durum ekipmanları ve gemi tasarımı gibi konuları kapsar. HVAC sistemleri de gemi tasarımının bir parçası olduğu için bu standartlar göz önünde bulundurulur. (International Maritime Organization-IMO, 2014)

MARPOL (Uluslararası Denizel Çevre Koruma Sözleşmesi), denizel çevrenin korunması ve kirliliği önleme standartlarını belirler; HVAC sistemlerinin, gemi motorlarının ve ekipmanlarının çalışması için gereken soğutma suyu çevriminin ve yardımcı sistemlerinin çevre dostu şekilde tasarlanmasını içerir.

ASHRAE (Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Kurumu), ısıtma, soğutma ve iklimlendirme sistemleri tasarımında kullanılan uluslararası kabul görmüş bir referans kaynağıdır. Bu standartlar, iç mekân hava kalitesi, sıcaklık kontrolü, nem kontrolü ve enerji verimliliği gibi faktörleri ele alır (ASHRAE, 2004).

Gemiler, Lloyd's Register, DNV GL, ABS, Türk Loydu gibi klas kurumları tarafından denetlenir ve belirli standartlara uygun olmaları sağlanır. Bu klas kuruluşları, gemi tasarımının ve sistemlerinin denizcilik güvenliği ve performans standartlarına uygun olduğunu onaylar (International Association of Classification-IACS, 1978; Türk Loydu - Havalandırma, 2015)

Gemi tasarımı, geminin faaliyet göstereceği bölgelerin iklim koşullarına göre uyumlu olmalıdır. Bu nedenle, gemi HVAC sistemleri de geminin faaliyet göstereceği bölgelerin sıcaklık, nem ve diğer iklim koşullarına uygun olarak tasarlanır.

Gemi tasarımında ve HVAC sistemlerinin tasarımında dikkate alınan standartlar, geminin güvenliği, yolcu ve mürettebatın konforunun sağlanması ile çevrenin korunmasına yönelik önemli kuralları içerir. Bu standartlara uygun tasarım ve kurulum, gemilerin dünya genelinde güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde çalışmasını sağlar (Türk Loydu - Rules for the Classification of Naval Ships, 2016).

Bu çalışmanın amacı, saha ölçümlerini kullanarak yeni iklimlendirme ve kontrol sistemlerinin yanı sıra bu amaca yönelik etkili önlemler geliştirmektir. Böylelikle hem düşük enerji tüketimi hem de yolcuların memnuniyetini ve çalışanların performansını artıran konforlu ortamların sağlanması hedefine ulaşılması mümkündür.

## 1. MATERYAL VE YÖNTEM

Gemilerde ısıtma, havalandırma ve soğutma (HVAC) sistemleri, gemi tipine, kullanım amaçlarına, büyüklüğüne ve seyir/görev bölgelerine göre farklılıklar gösterir. Gemilerde yaygın olarak kullanılan HVAC sistemleri izleyen kısımda özetlenmiştir.

İlgili sistemlerin önemli bir bölümü Şekil 1’de verilen 24,00 metre tam boya sahip alüminyum (sac kısımda EN-AW 5083, profil ve diğer yapısal ürünlerde EN-AW 6061 ve 6062) malzemeden inşa edilmiş, Basra Körfezi ve Umman Denizi’nde çalışacak sahil kontrol ve devriye botunun HVAC tasarımında kullanılacaktır. Temel tasarım koşulu olarak 60 dakika içerisinde devriye botunun kamara sıcaklıklarının 50 °C’den 20 °C’ye indirilmesi talep edilmektedir. HVAC tasarımından sonra devriye botunun fabrika şartlarında test ölçümleri (Facility Acceptance Test, FAT), liman testi ölçümleri (Harbor Acceptance Test, HAT) ve seyir testi ölçümleri (Sailing Acceptance Test, SAT) yapılarak tasarım koşullarına uygunluğu değerlendirilecektir.





**Şekil 1:** 24,00 m tam boya sahip sahil kontrol ve devriye botu

## 2. GEMİLER İÇİN HVAC SİSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Merkezi havalandırma ve klima sistemleri, gemilerde iç mekân hava kalitesini ve sıcaklığını kontrol etmek amacıyla kullanılan sistemlerdir. Bu sistemler, geminin farklı bölgelerine merkezi bir üniteden temiz hava veya ısıtılmış/soğutulmuş hava sağlayarak, iç mekân sıcaklık ve nem seviyelerini denetler. Bu şekilde, gemi personelinin ve yolcuların konforu sağlanırken aynı zamanda hava kalitesi de korunmuş olur. Merkezi havalandırma ve klima sistemleri genellikle şu ana bileşenleri içerir:

**Hava Emiş Sistemi:** Dışarıdan temiz hava alımını sağlar. Bu hava genellikle filtrelenir ve gerektiğinde özellikle soğutma veya ısıtma amacıyla işlemden geçirilir.

**Hava İşlem Ünitesi (Air Handling Unit, AHU):** Temiz hava, AHU içinde işlenir. Isıtma, soğutma elemanları ve nem kontrol cihazları burada bulunur.

**Hava Dağıtım Sistemi:** İşlenmiş hava, geminin farklı bölgelerine dağıtılmak üzere havalandırma kanalları ve vantilatörler aracılığıyla iletilir. Bu sayede iç mekanlarda homojen bir hava sirkülasyonu sağlanır.

**Kontrol ve Otomasyon Sistemi:** Merkezi havalandırma ve klima sisteminin işletilmesini ve kontrolünü sağlar. Sıcaklık, nem ve hava akışı gibi parametrelerin izlenmesini ve ayarlanmasını kolaylaştırır.

**Filtreler ve Nem Kontrol Cihazları:** İç mekânlara giren hava filtrelenir, böylece toz, kir ve alerjenlerin iç mekânlara yayılması engellenir. Aynı zamanda nem kontrol cihazları, iç mekân nem seviyelerini ayarlar.

Merkezi havalandırma ve klima sistemleri, gemi iç mekânlarının konforunu artırmanın yanı sıra, yangın güvenliği ve duman tahliyesi için de önemli bir rol oynar. Ayrıca, enerji verimliliği sağlayarak yakıt tüketimini azaltabilir ve çevresel etkileri minimize edebilir. Gemi tipine, büyüklüğüne ve kullanım amacına bağlı olarak farklı özelliklere sahip merkezi havalandırma ve klima sistemleri tasarlanabilir.

Bireysel havalandırma ünitelerinde, her kamara veya bölme için ayrı havalandırma üniteleri, odaya özgü hava akışını kontrol etmek ve konforu artırmak için kullanılır. Bu yaklaşım, farklı bölgelerin ve kamaraların ihtiyaçlarına daha da özelleştirilmiş bir çözüm sunar.

**Atık Isı Kullanımı Sistemleri:** Gemilerdeki atık ısı, farklı amaçlar için kullanılabilir. Örneğin, motor veya jeneratörlerden çıkan atık ısı, ısıtma veya sıcak su üretimi için geri kazanılabilir. Bu yöntem, enerji verimliliğini artırarak yakıt tüketimini azaltır.

**Yangınla Mücadele HVAC Sistemleri:** Bu tür sistemler, gemilerde yangın çıkması durumunda duman tahliyesi ve iç mekânlardaki basınç dengesini sağlamak amacıyla kullanılır. Yangınla mücadele HVAC sistemleri, gemi güvenliği açısından kritik bir rol oynar. Gemilerde, tasarım, kullanım amacı ve gereksinimlere göre farklı HVAC sistemleri kombinasyonları kullanılabilir. Bu sistemler, geminin güvenliği, konforu ve etkili işletimi için kritik öneme sahiptir.

### **Havalandırma Kanal Tasarım İlkeleri:**

- i. Havalandırma kanalları, hava akışının düzgün ve kesintisiz bir şekilde ilerlemesini sağlamalıdır. Keskin dönüşler ve dar geçişlerden kaçınılmalıdır.
- ii. Hava hızı, hava akışının etkinliği ve gürültü düzeyi açısından önemlidir. Hava hızı, tasarım gereksinimlerine ve iç mekân özelliklerine uygun olarak ayarlanmalıdır.
- iii. Havalandırma kanallarında hava filtreleri kullanılmalıdır. Bu filtreler, dışarıdan gelen havayı temizler ve iç mekânlara toz, polen ve kirleticilerin girmesini engeller.
- iv. Havalandırma sistemleri genellikle gürültü üretir. Havalandırma kanalları ve bileşenleri, ses yalıtımı için tasarlanmalıdır.

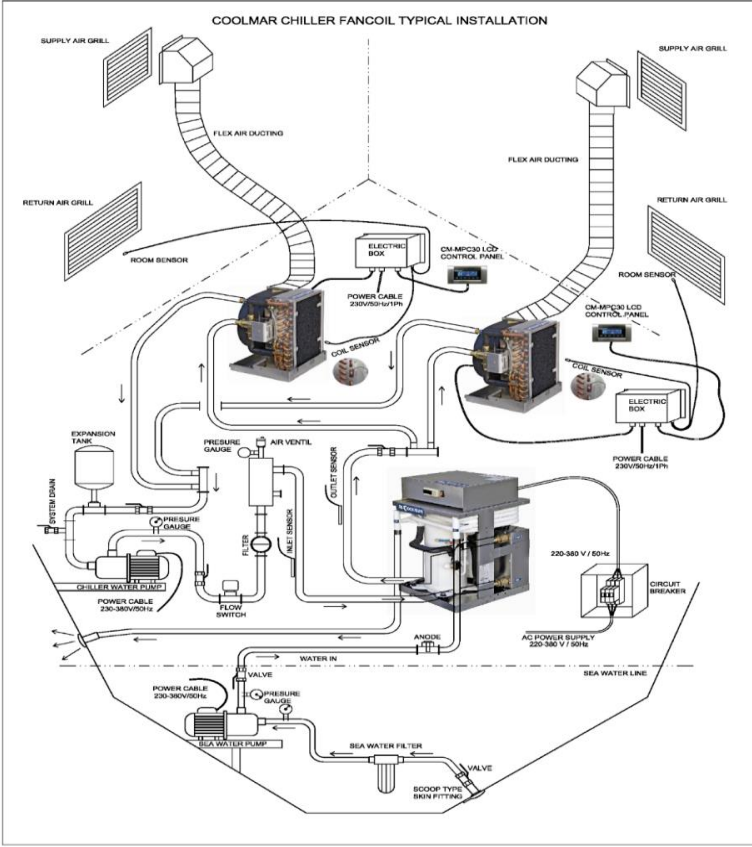
**Deniz tipi chiller sistemleri**, genellikle denizcilik endüstrisinde kullanılan ve deniz suyunun soğutma amacıyla kullanıldığı soğutma sistemleridir. Bu sistemler, gemilerde, deniz platformlarında, açık deniz tesislerinde ve benzeri uygulamalarda tercih edilir. Deniz tipi chiller sistemleri, özellikle deniz suyu soğutma tesislerinde enerji verimliliği sağlama, çevre dostu bir soğutma çözümü sunma ve deniz suyunu kullanarak sıcaklık kontrolünü sağlama amacıyla kullanılır. Deniz tipi chiller sistemleri, genellikle iki ana bileşenden oluşur:

**Deniz Su Soğutucuları:** Deniz suyunun alındığı ve bu suyun chiller ünitesine iletilmeden önce filtrelenip temizlendiği bölümdür. Deniz suyu, chiller ünitesinde ısı transferi için kullanılır. Deniz su soğutucuları, deniz suyunun tuzluluğu ve çevresel faktörlere dayanıklı malzemelerden yapılmış olmalıdır.

**Chiller Üniteleri:** Chiller üniteleri, soğutulması gereken akışkanın (genellikle suyun veya bazen özel soğutucu sıvıların) sıcaklığını düşürmek için kullanılır. Bu üniteler, deniz suyunun chiller ünitelerinden geçerek sıcaklığını düşürdüğü bir ısı değiştirici sistemini içerir. Chiller üniteleri genellikle kompresörler, kondenserler, buharlaştırıcılar ve genişleme valfleri gibi temel bileşenleri içerir.

**Chiller ve fan coil sistemi**, ısıtma, havalandırma ve soğutma (HVAC) alanında sıklıkla kullanılan bir kombinasyondur (Şekil 2). Chiller sistemleri, soğutma işlemini gerçekleştirirken, fan coil sistemleri ise iç mekanlardaki hava sirkülasyonunu sağlamak ve sıcaklık kontrolünü yapmak için kullanılır.

**Chiller Sistemi:** Bu sistemler, genellikle büyük hacimleri veya bir binanın tamamını soğutmak için kullanılır. Bu sistemler, genellikle su veya hava gibi soğutucu bir akışkan kullanarak ısıyı alır ve dış ortama atar, böylece iç mekanların sıcaklığını düşürür. Chiller sistemi, özellikle büyük binalar, oteller, hastaneler ve endüstriyel tesislerde tercih edilir.



**Şekil 2:** Chiller ve fancoil sistemi şematik montaj diyagramı

Sistem, soğutucu akışkanı sıkıştırarak basıncını yükselten kompresör, soğutucu akışkanın ısını alıp akışkanı buharlaştırarak soğutma etkisi yaratan buharlaştırıcı, buharlaşan soğutucu akışkanı, kondenserde yoğunlaştırarak ısını düşüren kondenser ve kondenserden geçen soğutucu akışkanının basıncını düşürerek tekrar buharlaşmasını sağlayan genişleme vanasından oluşur.

### Fan Coil Sistemi:

Fan coil sistemleri, iç mekanlardaki sıcaklık kontrolünü sağlamak ve havalandırmayı iyileştirmek amacıyla kullanılır. Bu sistemler, hava işlem ünitesi ile entegre edilmiş fan coil ünitelerinden oluşur. Üniteler, temizlenmiş ve işlenmiş hava ile birlikte sıcak veya soğuk suyu kullanarak iç mekanları ısıtır veya soğutur.

Fan coil sisteminin temel bileşenleri, hava sirkülasyonunu sağlayarak sıcaklık kontrolü yapan fan coil ünitelerinden, kullanıcıların isteğine

göre sıcaklık ayarlamasını sağlayan termostatlar veya sıcaklık kontrol sistemlerinden ve ünitelerin sıcak veya soğuk suyunu çeviren pompalardan oluşmaktadır.

Chiller sistemi, merkezi soğutma sağlarken, fan coil üniteleri odalarda kişisel sıcaklık tercihlerine göre yerel olarak kontrol edilebilir. Bu sistemler, gemilerin farklı kullanım ihtiyaçlarına göre tasarlanabilir ve uygulanabilir.

Chiller ve fan coil sistemi ile Chiller ve AHU (Hava İşlem Ünitesi) sistemi arasında bazı farklar vardır. Her iki kombinasyon da ısıtma, soğutma ve havalandırma amacıyla kullanılır, ancak sistem bileşenleri ve uygulama alanları açısından farklılıklar bulunmaktadır.

### **Chiller ve Fan Coil Sistemi:**

**Soğutma Metodu:** Chiller sistemi, su veya hava gibi bir soğutucu akışkanı kullanarak ısıyı alır ve dışarı atarak iç mekanları soğutur. Fan coil üniteleri ise bu soğuk suyu veya sıcak suyu kullanarak iç mekanları ısıtır veya soğutur.

**Hava Dağıtımı:** Fan coil üniteleri, her oda veya alan için ayrı ayrı hava sirkülasyonunu sağlar. Bu nedenle odalar arasındaki sıcaklık farkları ve tercihler yönetilebilir.

**Düşük Basınç:** Fan coil üniteleri, düşük basınçlı havayı dağıtma yeteneğine sahiptir. Bu nedenle genellikle daha küçük alanlar için tercih edilir.

**Konfor:** Fan coil sistemi, iç mekân konforunu kişiselleştirme olanağı sağlar. Her bir fan coil ünitesi, kullanıcının sıcaklık tercihlerine göre ayarlanabilir.

### **Chiller ve AHU Sistemi:**

**Soğutma Metodu:** Chiller sistemi, soğutucu akışkanı kullanarak geniş alanları soğutur. AHU, temizlenmiş hava işlemi sağlar ve soğutma veya ısıtma sağlamak için dışarıdan gelen hava ile birleştirilir.

**Hava Dağıtımı:** AHU, havayı merkezi bir noktadan dağıtır. Bu nedenle genellikle büyük binalar veya kompleksler için tercih edilir.

**Yüksek Basınç:** AHU, yüksek basınçlı havayı dağıtma kapasitesine sahiptir. Bu, uzun mesafelere hava taşıma yeteneği sağlar.

**Merkezi Kontrol:** AHU sistemi genellikle merkezi bir kontrol sistemi ile yönetilir. Gemi genelindeki hava kalitesi ve sıcaklık, merkezi olarak yönetilebilir.

Genel olarak, chiller ve fancoil sistemi daha küçük ve özelleştirilmiş alanlarda tercih edilirken, chiller ve AHU sistemi genellikle büyük gemiler ve alanlar için tercih edilen bir sistem yaklaşımıdır. Her iki sistem de gemi tasarımına, kullanım amacına ve bina sahiplerinin ihtiyaçlarına göre seçilmelidir. Chiller ve fancoil sistemi ile chiller ve AHU sistemi verimlilik açısından karşılaştırılabilir. Verimlilik açısından seçim, geminin tasarımı, kullanım amacı ve sahip olduğu enerji gereksinimlerine göre değerlendirilir.

### **Chiller ve Fan Coil Sisteminin Avantaj ve Dezavantajları**

●Fancoil üniteleri, odalarda kişisel sıcaklık tercihlerine göre ayarlanabilir. Bu, enerji verimliliğini artırabilir çünkü her oda ayrı ayrı kontrol edilebilir.

●Düşük basınçlı havayı dağıtma yeteneği, küçük yapılar veya bölümler için uygun olabilir.

●İç mekanlarda sıcaklık kontrolü ve konfor sağlama konusunda etkilidir.

●Eğer tüm odalarda fancoil üniteleri kullanılıyorsa, sistem bakımı ve işletilmesi daha karmaşık olabilir.

●Büyük alanlarda daha yaygın olan AHU sistemlerine göre enerji verimliliği daha düşük olabilir.

### **Chiller ve AHU Sisteminin Avantaj ve Dezavantajları**

●Merkezi bir havalandırma ve soğutma sistemi sağlar, bu da genellikle enerji verimliliğini artırır.

●Yüksek basınçlı havayı dağıtma yeteneği, büyük gemilerde veya alanlarda etkilidir.

●Merkezi kontrol ve otomasyon, sistemin daha verimli işlemesine yardımcı olur.

●Odalarda kişisel sıcaklık tercihleri daha sınırlı olabilir.

●AHU sistemi genellikle daha büyük alanlarda daha verimli çalışırken, küçük alanlarda gereksiz enerji tüketimi olabilir.

### **3. ISIL KAPASİTE HESAPLARI**

Gemi ve diğer kapalı mekanların ihtiyaçlarına göre, soğutma kapasitesi ve chiller (soğutucu ünite) kapasitesi hesaplamaları, yeterli soğutma sağlamak ve enerji tasarruflu sistemler tasarlayabilmek için önemlidir.

#### **i. Soğutma kapasite hesaplamaları:**

**Isı Yükü Hesaplama:** Bu yöntemde, iç mekanlarda oluşan ısı yükleri hesaplanır. Isı kaynakları, insanlar, aydınlatma, cihazlar ve ekipmanlar gibi faktörler göz önüne alınır. Toplam ısı yükü, gemi içi alanların her bölgesi için hesaplanır ve bu yükler toplam soğutma kapasitesini belirler.

**Soğutma Yükü Hesaplama:** Soğutma yükü hesaplaması, gemi dışı faktörleri de içerir. Bu faktörler arasında dış hava ve deniz suyu sıcaklıkları, güneş ışığına maruz kalan yüzeyler, gemi izolasyonu gibi unsurlar da bulunur.

**Soğutma Yükü Analiz Yazılımları:** Yazılımlar, detaylı soğutma yükü hesaplamalarını yapmak için kullanılır. Bu yazılımlar, gemi özelliklerini, kullanım şartlarını, deniz ve hava koşullarını hesaba katarak daha hassas sonuçlar üretebilir.

#### **ii. Chiller kapasite hesaplamaları:**

Chiller kapasitesi, gemi ve sistemler için gereken toplam soğutma yüküne göre belirlenir. Chiller kapasitesini hesaplarken aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurulmalıdır:

**Soğutma Yükü:** Gemi ve sistemler için gereken toplam soğutma yükü belirlenmelidir. Bu gemi içi ve dışındaki faktörlerin bir kombinasyonunu içerir.

**Termal Verimlilik:** Chiller ünitesinin termal verimliliği, verilen enerjinin soğutma kapasitesine dönüşüm oranını belirler.

**Yedek Kapasite:** Chiller ünitesinin seçiminde, gemi çalışma alanına bağlı olarak mevsimsel veya geçici yük artışlarına karşı yedek kapasite bırakılmalıdır.

**İklim Koşulları:** Bunlar, chiller ünitesinin verimliliğini etkileyen en önemli etkenlerdendir. Yani, sıcaklık, nem ve hava koşulları, deniz suyu sıcaklıkları chiller performansını etkileyecek faktörlerdir.

**Gemi Tipi ve Kullanımı:** Gemi tipi ve kullanım amacı, soğutma yükünü etkileyen faktörlerdir.

Soğutma yükü analiz yazılımları, gemilerin iç mekanlarını soğutmak için gereken enerji yükünü hesaplamak ve doğru boyutta HVAC sistemleri seçmek için kullanılan özel yazılımlardır. Bu tür yazılımlar, geminin konstrüksiyonunu, büyüklüğünü ve diğer ısı özelliklerini, iklim koşullarını, iç mekân bileşenlerini, aydınlatma, insanlar ve ekipmanlar gibi birçok faktörü göz önünde bulundurarak detaylı hesaplamalar yapar.

Bu yazılımlar, insanların yaşayıp çalıştığı bina ve sitelerin, karasal değişkenlere bağlı soğutma yükü analizlerini yaptığı için, gemilerin denizlerde maruz kaldığı

- Deniz suyu sıcaklıkları,
- Geminin sürekli yer değişiminden kaynaklı dış etkenler,
- Gemi izolasyon sistemleri

gibi değişkenlere göre nasıl sonuç verdiği bu araştırmada yapılan saha ölçümleri ve kontrolleri ile incelenmiştir.

Ölçümler; fabrika şartlarında test ölçümleri (Facility Acceptance Test, FAT), liman testi ölçümleri (Harbor Acceptance Test, HAT) ve seyir testi ölçümleri (Sailing Acceptance Test, SAT) olarak üç grupta yapılmaktadır. Bu amaçla ölçümlerde özel formlar kullanılmaktadır (Şekil 3).

Bu saha çalışmaları sırasında ayrıca gemilerin tüm konstrüksiyonu ile HVAC sistem performansları ve izolasyonları analiz edilmektedir. Belirlenen eksikler ve yetersizlikler, gemi konstrüksiyonlarına ve HVAC sistemlerine göre gruplandırılarak, önlemler ve çözümler listesi oluşturulacaktır.

#### **4. UYGULANAN SİSTEMLERİN ANALİZİ**

Şekil 1’de verilen, 24,00 metre tam boya sahip alüminyum (sac kısmında EN-AW 5083, profil ve diğer yapısal ürünlerde EN-AW 6061 ve 6062) malzemeden inşa edilmiş, sahil kontrol ve devriye botu için yapılan kapasite hesapları, HVAC ekipmanlar ve montaj çizimleri bu bölümde verilmektedir. Sahil kontrol ve devriye botunun çalışma bölgesi, Basra Körfezi ve Umman Denizi olup, çalışma koşulları Tablo 1’de verilmektedir. Temel tasarım koşulu olarak 60 dakika içerisinde kamara sıcaklıklarının 50 °C’den 20 °C’ye indirilmesi talep edilmektedir.



**Tablo 1:** Sahil kontrol ve devriye botunun çalışma koşulları

Ortam sıcaklığı	Soğutma (°C)	Isıtma (°C)
Kamara	22	22
Dış Ortam	50	5
Deniz suyu	35	15

#### 4.1 Geminin Soğutma Kapasitesi Hesabı

Gemi tam boyunun 24,00 metre, soğutulacak alanların küçük (Şekil 3) ve mürettebatın kısıtlı olması nedeniyle chiller ve fancoil ünitelerinden oluşan bir HVAC sistemi dizayn edilmiştir ve ekipmanlar da buna göre hesaplanmıştır. Ayrıca AHU ve kanallı sistem için yeterli alanların bulunmayışı, bu tekne için chiller ve fancoil sistemini en uygun çözüm olarak öne çıkarmıştır. Kapasite hesabı, için Aqua Air yazılımı (Aquaair, 2023) kullanılmıştır (Tablo 2).

**FCU COOLING LOAD CALCULATIONS**

Project :

Capacity :  Btu/h

Fancoil Model :

Power supply :

Temperature Design Values

Indoor Temp. :

Outdoor Temp. :

Selected Region :

**TECHNICAL AREA**

SELECTION TABLE	
AREA	TECHNICAL AREA
AREA m2	4,50
VOLUME m3	4,50
COOLING FACTOR	1,371
REQUIRED CAPACITY Btu/h	6.161
PERSON	0
PERSON Btu/h	0
TOTAL CAPACITY Btu/h	6.161
FANCOIL SELECTION	MAF007

**Room Dimensions**

Average Length:  Average Width:  Average Height:

All Dimensions in Meters

**Room Type**

Plothouse  
 Galley  
 Upper Deck Area  
 Mid Deck Area  
 Lower Deck Area

**Air Temperatures °C**

Room Temperature Desired  
 Maximum Outside Air Temperature

**Required Capacity in BTU/H**

**Şekil 3:** Teknik alan “Fan Coil Unit” (FCU) kapasitesi hesap tablosu

**Tablo 2:** Soğutma kapasite hesabı

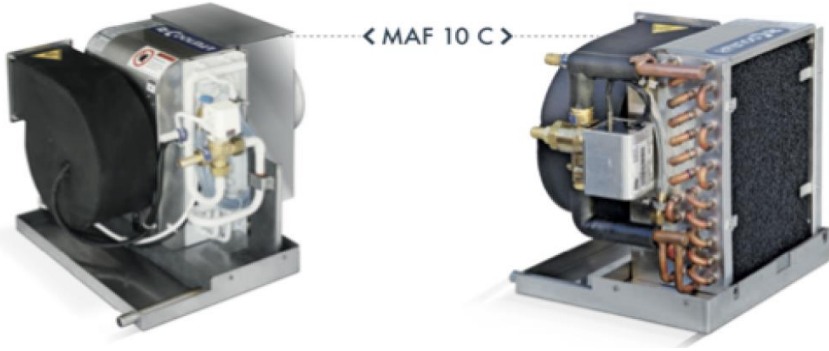
CAPACITY : 234.841 Btu/h  
 CHILLER MODEL : MAC200 T3  
 Power supply : 400V / 3Ph / 50Hz  
 Temperature design values  
 Indoor : 22 °C  
 Outdoor : 50 °C

AREA	AREA m2	VOLUME m3	Cooling factor	Required Capacity Btu/h	Person	Person Btu/h	Total Capacity Btu/h	Fancoil Unit		
UPPER DECK	WHELLROOM	16	35,2	1925	64.240	4	1.600	65.840	3xMAF024	
	STORAGE	11	15,4	814	12.536	0	0	12.536	MAF012	
	TECHNICAL AREA	4,5	4,5	1369	6.161	0	0	6.161	MAF007	
	AMMUNITION STORAGE	4,5	4,5	1369	6.161	0	0	6.161	MAF008 EX	
MAIN DECK	GALLEY	6	13,2	1.521	20.077	3	1.200	21.277	MAF024	
	CREW MESS	8,5	18,7	1140	21.318	6	2.400	23.718	MAF024	
	OFFICER 2	4	8,8	1140	10.032	1	400	10.432	MAF010	
	ENGINEER'S 2	3,6	7,92	1140	9.029	2	800	9.829	MAF010	
	CREW CABIN 4	5	11	1.140	12.540	4	1.600	14.140	MAF015	
	COMMANDER 1	4	8,8	1140	10.032	2	800	10.832	MAF012	
	GARBAGE AREA	2	4,4	1140	5.016	0	0	5.016	MAF006	
	ELECTRICAL ROOM	10	22	950	20.900	0	0	20.900	MAF020	
	FRESHAIR CREWMESS	AIR FLOW 150M3/H INLET AIR : 45°C OUTLET AIR : 28°C						8.000	MAF008 FA	
	FRESHAIR UNIT	AIR FLOW 450M3/H INLET AIR : 45°C OUTLET AIR : 28°C						20.000	MAF020 FA	
TOTAL m2		79						TOTAL	234.841	Btu/h

## 4.2 HVAC Sistemi Ekipmanları

Tablo 2'deki soğutma kapasitesi hesabına göre bu tekne için öngörülen HVAC sistemi 1 chiller, 13 fan coils, 1 exproof, 2 fresh air fancoil, 2 chiller pompası ve 2 adet deniz suyu pompasından oluşmaktadır ve ekipmanlar Şekil 4 ve 5'de, ekipman listesi ise Tablo 3'deki gibidir.

**Şekil 4:** Chiller



Şekil 5: Fan Coil üniteleri

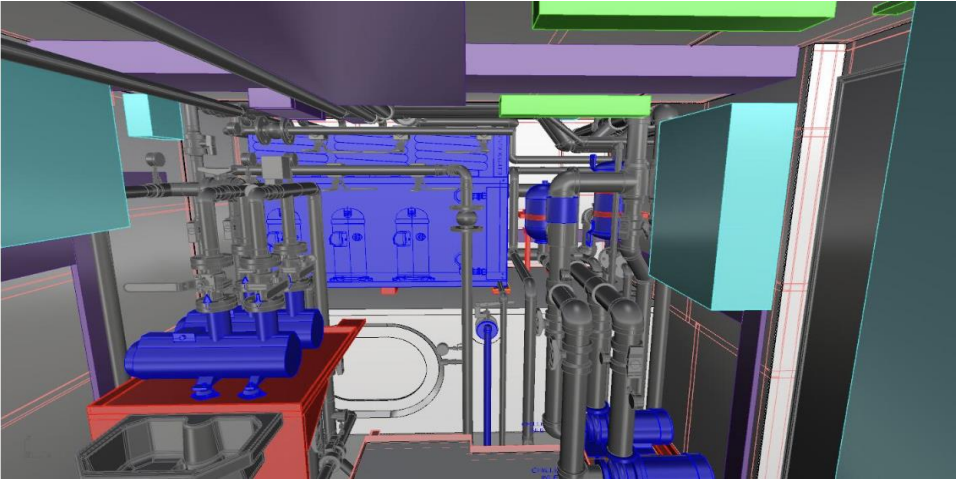
Tablo 3: HVAC Sistem Ekipman listesi

HVAC SYSTEM			
HVAC SYSTEM	MAC 200 T3 HVAC SYSTEM	CC	
HVAC SYSTEM COMPONENTS MODEL AND SERIAL NUMBERS			
PRODUCT	MODEL	CODE	SERIAL NO
<u>CHILLER UNIT</u>	MAC 200 T3 - <u>H3DAAD</u>	CC	
FCU	MAF 024 C - E7V	FC	
FCU	MAF 024 C - E7V	FC	
FCU	MAF 024 C - E7V	FC	
FCU	MAF 024 C - E7V	FC	
FCU	MAF 020 C - E6V	FC	
FCU	MAF 015 C - E5V	FC	
FCU	MAF 012 C - E4V	FC	
FCU	MAF 012 C - E4V	FC	
FCU	MAF 010 C - E3V	FC	
FCU	MAF 010 C - E3V	FC	
FCU	MAF 007 C - E1.5V	FC	
FCU	MAF 006 C - E1V	FC	
FCU EXPROOF	MAF008 EX - S2E	FEX	
FAMU	MAF008 FA - E2V	FFA	
FAMU	MAF020 FA - E6V	FFA	
SEA WATER PUMP 1	B-SPB-2-1.5-2P		
SEA WATER PUMP 2	B-SPB-2-1.5-2P		
CHILLER PUMP 1	<u>WTX32-160/2.2-P</u>		
CHILLER PUMP 2	<u>WTX32-160/2.2-P</u>		

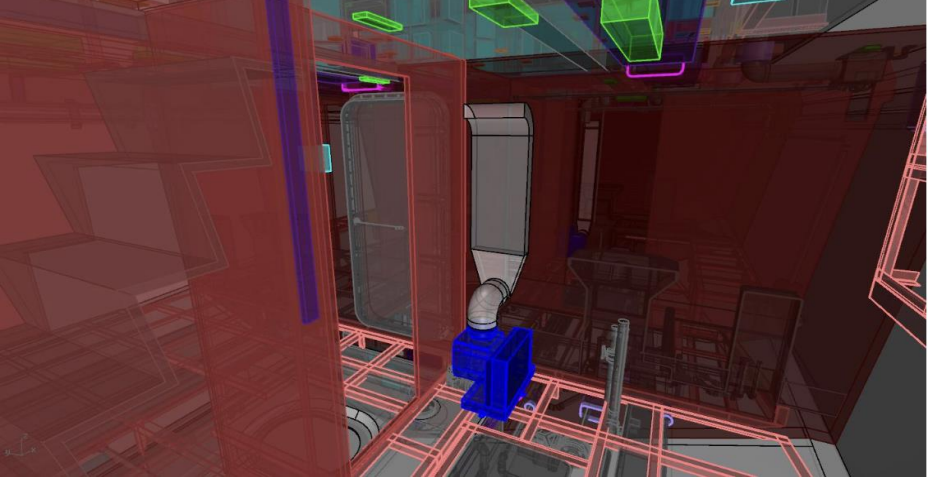




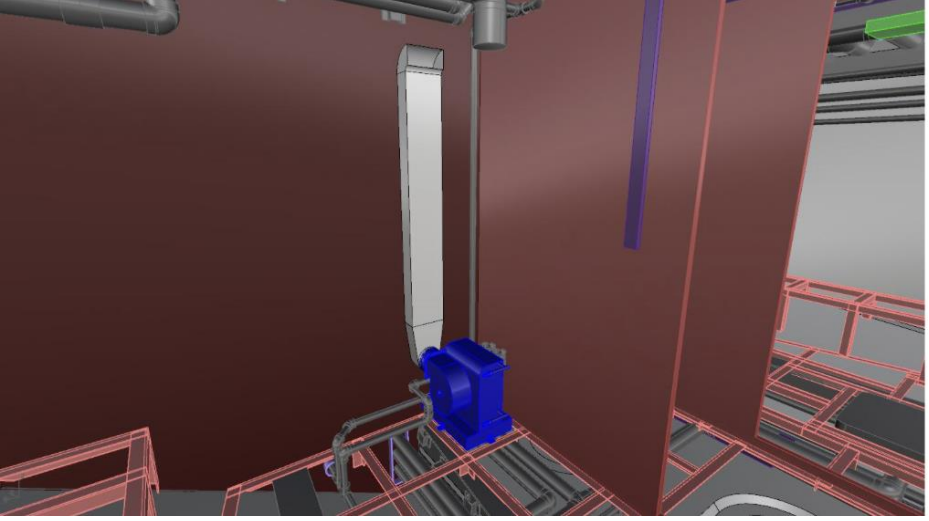
**Şekil 7.** HVAC Sistemi kanal planı



**Şekil 8:** Chiller yerleşim planı

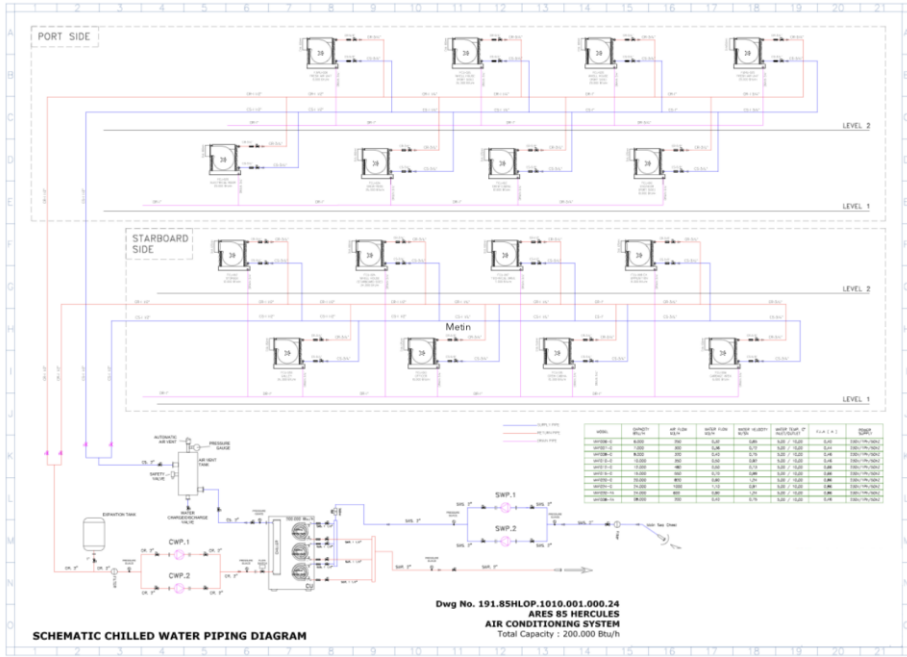


Şekil 9. Kamara fancoil ve kanal yerleşim planı

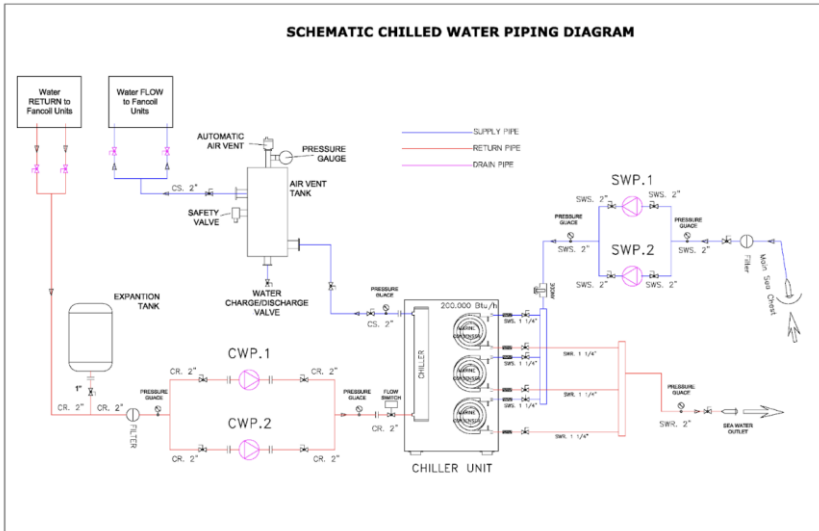


Şekil 10. Kamara fancoil ve kanal yerleşim planı

Hazırlanan HVAC sistemi şematik boru devre planı ile chiller şematik boru devre planı Şekil 11 ve 12’de verilmektedir.



Şekil 11: HVAC sistemi şematik boru devre planı



Şekil 12: Chiller şematik boru devre planı

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

24,00 metre tam boya sahip alüminyum (sac kısımda EN-AW 5083, profil ve diğer yapısal ürünlerde EN-AW 6061 ve 6062) malzemeden inşa edilmiş, Basra Körfezi ve Umman Denizi'nde çalışacak sahil kontrol ve devriye botu için yapılan kapasite hesaplarının yanında ayrıntılı FAT, HAT ve SAT soğutma testleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 4'de verilmiştir.

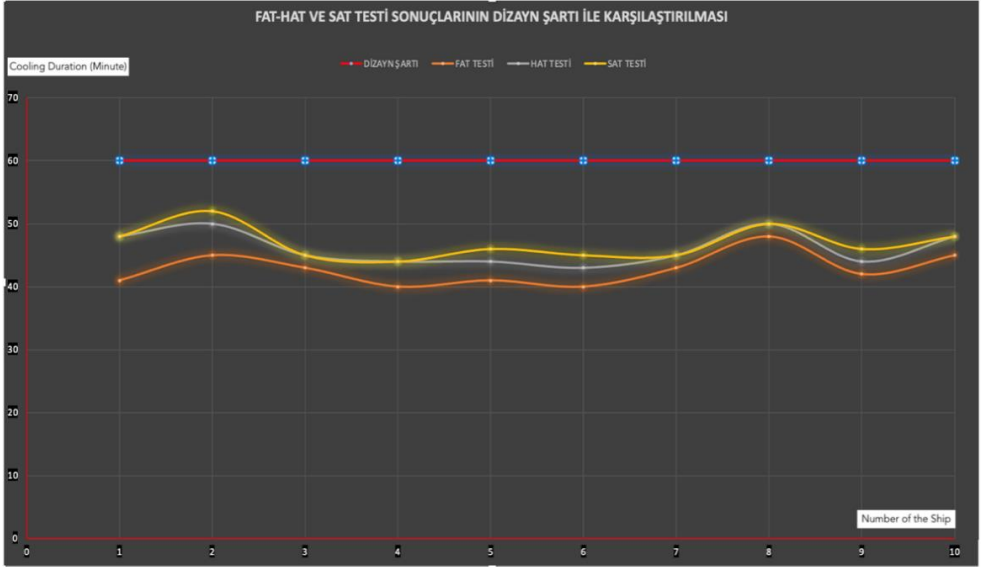
Öncelikle testler için 50 °C ortam sıcaklığı sağlandıktan sonra soğutma işlemine başlanmıştır. “60 dakika içerisinde ortamın 20 °C düşürülmesi” temel tasarım şartı test edilmiştir. Testler en geniş alana sahip olan ve dış etkenlere en çok maruz kalan kaptan köşkü için yapılmıştır. HAT ve SAT testleri Antalya'da gerçekleştirilmiştir. Testin yapıldığı günlerde, hava ve deniz suyu sıcaklıkları farklı olduğundan çevresel etkiler nedeniyle HAT ve SAT test sonuçları farklılık göstermektedir.

**Tablo 4:** FAT, HAT ve SAT soğutma test sonuçları

TEKNE NO	FAT TESTİ	HAT TESTİ	SAT TESTİ	AÇIKLAMALAR
P1	41 dakika	48 dakika	48 dakika	
P2	45 dakika	50 dakika	52 dakika	
P3	43 dakika	45 dakika	45 dakika	
P4	40 dakika	44 dakika	44 dakika	
P5	41 dakika	44 dakika	46 dakika	
P6	40 dakika	43 dakika	45 dakika	
P7	43 dakika	45 dakika	45 dakika	
P8	48 dakika	50 dakika	50 dakika	
P9	42 dakika	44 dakika	46 dakika	
P10	45 dakika	48 dakika	48 dakika	

Tablo 4 ve Şekil 14 incelendiğinde temel tasarım şartının sorunsuz olarak sağlandığı anlaşılmaktadır.





Şekil 14: FAT, HAT ve SAT test sonuçlarının dizayn şartı ile karşılaştırılması

Araştırma ve tasarım konusu 24,00 metre tam boya sahip olan ve 10 adet olarak inşa edilen sahil kontrol ve devriye botlarında yapılan FAT (Fabrika şartlarında test ölçümleri), HAT (Liman testi ölçümleri) ve SAT (Seyir testi ölçümleri) test sonuçlarına göre aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir.

- Tasarlanan sistemin yeterli olduğu ve tasarım şartlarını sağladığı gözlenmiştir.

- Kapasite hesabının 234.841 BTU sonucunu vermesine rağmen seçilen chiller sistemi 200.000 BTU kapasitesine sahiptir. Kullanıcıların tüm sistemleri aynı anda devreye almayacağı/alamayacağı öngörülerek, sistemin kapasitesi yaklaşık olarak 10% daha düşük seçilmiştir. Bu nedenle daha düşük bir güce sahip jeneratör kurulmuştur.

- Ancak teknelerin çalışma alanı Basra Körfezi ve Umman Denizi olacağı göz önüne alındığında;

- Özellikle Basra Körfezinde sıg su etkisi nedeniyle deniz suyu sıcaklıklarında artış olacağı,

- Kullanıcı personelin tüm sistemleri aynı anda devreye alma olasılığı,

○ Hava şartlarında, küresel ısınma ile birlikte artış olabileceği düşünüldüğünde, seçilmesi gereken chiller ünite kapasitesinin yaklaşık 10-15% daha yüksek kapasiteye sahip olması uzun vadede daha doğru bir çözüm olarak değerlendirilmektedir.

● Teknelerde bulunan mevcut izolasyonların daha iyi uygulanması halinde özellikle kaptan köşkünde yaklaşık 15% civarında bir tasarruf sağlanabileceği beklenmektedir.

● Gölgeleme ve güneş yansıtma panelleri yardımıyla ölçümlenen soğutma yüklerinde 10-15%'e varan tasarruflar sağlanabileceği beklenmekte olup, bu ön tasarım, planlanan araştırmanın konusunu oluşturmaktadır.

## **KAYNAKLAR**

- Aqua Air Cooling Calculations , [Çevrimiçi]. <http://www.aquaair.net/Quick-Calc.html>, (Erişim tarihi: 2 Şubat 2023)
- ASHRAE. 2004. ANSI/ASHRAE Standart 55-2004 –Thermal environmental conditions for human occupancy , American Society of Heating , Refrigerating and Air conditioning Engineers , Atlanta , USA.
- Det Norske Veritas-Germanischer Lloyd. Seagoing Ships-21 Ventilation;2014;[Çevrimiçi].  
[https://rules.dnv.com/docs/pdf/gl/marimerules/gl\\_i-121\\_e.pdf](https://rules.dnv.com/docs/pdf/gl/marimerules/gl_i-121_e.pdf) (accessed on 10 July 2023).
- International Association of Classification-IACS. UR-M28 Requirements Concerning Machinery Installations—Ambient Reference Conditions; International Association of Classification: Kolkata, India, 1978.
- International Maritime Organization-IMO. Load Lines, 1966/1988-International Convention on Load Lines, 1966, as Amended by the Protocol of 1988; Lloyd’s Register Rulefinder 2020 Version 9.33-Fix; International Maritime Organization: London, UK, 2014.
- Trane TRACE Design and Analysis Tools, [Çevrimiçi].  
<https://www.trane.com/commercial/north-america/us/en/products-systems/design-and-analysis-tools/trane-design-tools/trace-700.html>, (Erişim tarihi: 15 Nisan 2023)
- Türk Loydu Kısım 20 – Havalandırma , [Çevrimiçi].  
<https://www.turkloydu.org/pdf-files/turk-loydu-kurallari/cilt-c/kisim-28-havalandirma-2015.pdf> , (Erişim tarihi: 10 Mayıs 2023)
- Türk Loydu Rules for the Classification of Naval Ships, [Çevrimiçi].  
<https://www.turkloydu.org/pdf-files/turk-loydu-kurallari/cilt-e/chapter-107-naval-ship-technology-ship-operation-installations-and-auxiliary-systems-2016-JAN.pdf>, (Erişim tarihi: 12 Haziran 2023)

## **BÖLÜM 7**

### **HAT-P-10 YILDIZ SİSTEMİNİN ADYU60 TELESKOBU İLE YAPILAN 3 YENİ GEÇİŞ GÖZLEMLERİNİN İNCELENMESİ VE BU GEÇİŞLERİN MİNİMUM ZAMANLARININ BELİRLENMESİ<sup>1</sup>**

Dr. Öğr. Üyesi Nazlı KARAMAN<sup>2</sup>

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10435272>

---

<sup>1</sup> Bu çalışma 2. Uluslararası Uludağ Bilimsel Çalışmalar Kongresinde tam metin olarak sunulmuştur.

<sup>2</sup> Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Adıyaman, Türkiye. [nkaraman@adiyaman.edu.tr](mailto:nkaraman@adiyaman.edu.tr), ORCID: 0000-0003-3910-2285



## GİRİŞ

Güneş Sistemi dışında ve başka bir yıldızın yörüngesinde dolanan gezegenler “Ötegezegen” olarak bilinirler. İlk ötegezegen arama çalışmalarına 1938 yılında konumölçüm yöntemi kullanılarak başlanmıştır (van deKamp 1943). İlk ötegezegen keşfi ise, 1992 yılında Wolszczan ve Frail (1992) tarafından PSR 1257+12 atarcasının etrafında dolanan gezegenin varlığıyla tespit edilmiştir. Bu keşfinin ardından bilim insanları büyük bir heyecanla Güneş Sistemi’nin dışında başka gezegenlerin olup olmadığını araştırmaktadırlar. Bu keşiften hemen sonra, 51 Pegasi yıldızının radyal hız değişimleri incelenerek etrafında dolanan 0.41  $M_J$  kütleyle sahip bir gezegen olduğu rapor edilmiştir (Mayor and Queloz 1995). Geçiş yöntemi kullanılarak keşfedilen ilk ötegezegen ise “HD 209458 b” dir (Charbonneau et al. 2000; Henry et al. 2000).

Gezegen sistemlerini ve gezegen tiplerini belirlemek için en yaygın kullanılan keşif yöntemlerinden bazıları; Dikine (Radyal) Hız, Geçiş (Transit), Doğrudan Görüntüleme, Zamanlama, Kütle Çekimsel Mikromercek ve Konumölçüm (Astrometri)’ dir. Elde edilen bulgular sonucunda, geçiş yöntemi ötegezegen araştırmaları için daha kapsamlı bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntemin kullanıldığı yer tabanlı gözlemlere WASP (Wide Angle Search for Planets) (Pollacco et al. 2006; Collier et al. 2007) ve 2003 yılından bu yana faaliyet gösteren HATNet (Hungarian-made Automated Telescopes Network, Bakos et al. 2004; Howard et al. 2012) gibi projeler örnek olarak verilebilir. Bununla birlikte geçiş yöntemini kullanarak yaptığı keşiflerle gezegen kataloğuna büyük katkı sağlayan uzay tabanlı gözlemlerinden biri NASA’nın 0.95 m’lik KEPLER uydusudur (Borucki et al. 2009; Doyle et al. 2011; Mullally et al. 2015). Ayrıca bu tür çalışmalarda kullanılan diğer bir önemli gözlemevi olarak Fransız Uzay Ajansı (CNES) ile Avrupa Uzay Ajansı (ESA) iş birliğinde uzaya gönderilen CoRoT uydusu da örnek verilebilir. Günümüzde ise 25 Aralık 2021’de uzaya fırlatılan NASA, ESA ve CSA (Kanada Uzay Ajansı) arasında uluslararası bir çalışma olan ve birincil aynası 6,5 m çapında olan James Webb Uzay Teleskobu (Webb) ile ötegezegen araştırmaları hızla devam etmektedir.

Ötegezegenlerin tespiti için kullanılan yöntemlerden biri olan geçiş yöntemi; bir gezegen bizim bakış açımıza göre yıldızının önünden geçtiğinde kullanılan bir yöntemdir. Gezegenin etrafında dolandığı yıldızın önünden geçmesi sonucunda yıldızın ölçülen parlaklığında küçük miktarlarda bir değişim meydana gelmekte ve parlaklıktaki bu değişim miktarı ve değişimin

zamanları yıldız-gezegen sistemlerinin yörüngesi, periyodu ve fiziksel boyutları gibi birçok fiziksel parametresi hakkında bilgi vermektedir. Son yıllarda geçiş yöntemi ile keşfedilen ötegezegenlerin keşif oranında hızlı bir artış görülmektedir (Huang et al. 2015). NASA Ekim 2023 verilerine göre ötegezegen keşiflerinde şu ana kadar 4164'ü geçiş yöntemiyle olmak üzere toplamda 5535 gezegen keşfedilmiştir ve 6881 tane de aday ötegezegen olduğu rapor edilmektedir (NASA Exoplanet Archive, 2023).

Geçiş yöntemiyle elde edilen ışık eğrilerinin minimum zamanları incelenerek tespit edilen geçiş zamanları değişimleri (TTV) yöntemi ile de sistemde ilave cisimlerin varlığı hakkında önemli bilgiler sağlanabilmektedir (Agol et al. 2005). Bununla ilgili Veras et al. (2011) tarafından, sistemde var olduğu düşünülen 3. cisim (gezegeni) ve yörüngesini hassas bir şekilde tespit edebilmek için en az 50 ardışık geçiş gözleminin gerekli olduğu söylenmektedir. Bu nedenle geçiş ışık eğrilerinin minimum zamanlarının belirlenmesi ve bu zamanların sayısının çokluğu hem sistemin yörünge parametrelerinin hem de ilave cismin varlığının tespitinde büyük önem taşımaktadır.

HAT-P-10b ötegezegeni ilk olarak WASP (West vd., 2009) ve HATNet (Bakos G. Á vd., 2009) araştırmaları ile eş zamanlı olarak keşfedilmiştir. Bu nedenle literatürde aynı zamanda WASP 11 b olarak da bilinmektedir. Ötegezegenin kütle ve yarıçapını sırasıyla; Bakos vd. (2009)  $M_p = 0.487 \pm 0.018 M_J$ ,  $R_p = 1.0005^{+0.00320}_{-0.0027} R_J$  olarak ve West vd. (2009) ise  $M_p = 0.53 \pm 0.07 M_J$ ,  $R_p = 0.91^{+0.06}_{-0.03} R_J$  olarak belirlemişlerdir. Her iki grupta gezegen yörüngesini çembersel ( $e=0$ ) olarak kabul etmişlerdir. Ancak her iki grubun elde ettiği sonuçlar birbiriyle çok uyum içerisinde değildir. Gezegenin ana yıldızı GSC 02340–01714 ise bir erken dönem K sınıfı bir yıldızdır. Parlaklığı ise  $V=11.89$ ' dur. Ayrıca HAT-P-10

HAT-P-10b'nin yörünge periyodu değişimi Sada ve ark. (2012) tarafından incelenmiş ve yörünge periyodu  $P = 3,7224793 \pm 0,0000007$  gün olarak hesaplanmıştır. HAT-P-10b'nin TTV' leri, Wang ve arkadaşları (2014) tarafından elde edilen beş yeni orta geçiş süresine sahip doğrusal efemeris kullanılarak analiz edilmiş ve tespit edilebilir bir TTV sinyali tespit edilemediği bildirilmiştir. Son olarak Mancini ve ark. (2015), HAT-P-10b'nin yörünge periyodu değişimini incelemiş ve geçiş ortası zamanlarında gözlemlenen belirsizliklerin istatistiksel olarak ek bir nesne veya yıldız aktivitesinden kaynaklanabileceğini bulmuşlardır.

Bu çalışmada HAT-P-10b'nin 3 yeni geçiş ışık eğrisi paylaşılmıştır. Bölüm 2' de bu gözlemlerin özellikleri, ışık eğrilerinin veri indirgeme ve modelleme süreçleri verilmiştir. Bölüm 3' te ise modelleme sonucu elde edilen yeni sistem parametreleri paylaşılmış ve bu sonuçlar yorumlanmıştır.

## 1.ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Elde edilen bulgular, HAT-P-10b adlı ötegezegenin özellikleri hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Adıyaman Üniversitesi Astrofizik Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilen gözlemler ve veri indirgeme süreci sayesinde, ötegezegenin geçiş karakteristikleri, ışık eğrileri ve parametreleri hakkında ayrıntılı bilgiler elde edilmiştir. Bu çalışma, ötegezegenlerin doğası ve evrimi hakkında daha iyi bir anlayış elde etmek için yapılan araştırmaların bir parçasıdır ve HAT-P-10b sistemi üzerinde elde edilen sonuçlar, gezegenlerin oluşumu ve gelişimi hakkında değerli bilgiler sağlamaktadır. Detaylı bilgiler ilerleyen bölümlerde verilmektedir.

### 1.1.Gözlemler ve Veri İndirgeme

HAT-P-10b'nin elde edilen geçiş gözlemleri Adıyaman Üniversitesi Astrofizik Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan yüksek hızlı ve hassasiyetli 1K x 1K Andor iKon-M 934 CCD kamera ile 60 cm'lik ayna çapına sahip ADYU60 teleskopu ile gerçekleştirildi. Gözlem tarihleri ve detayları Tablo 1'de verilmiştir. Gözlemlerin tamamında Johnsons R filtresi kullanıldı. Bu ötegezegenlerinin geçiş gözlem zamanlarının planlanması için Exoplanet Transit Database (Exoplanet Transit Database (ETD), 2023) kullanıldı. ETD sitesinde yer alan zamanlar geçişin başlangıç ve bitiş zamanlarını göstermektedir. Bu nedenle gözlemler, ışık eğrilerinin daha iyi sonuç verebilmesi için ETD yer alan başlangıç ve bitiş sürelerinden daha erken başlanıp daha geç bitirilerek yapıldı. Yine gözlemler verilerinin kalitesi için gözleme en uygun hava koşullarına sahip geceler seçilmeye çalışılmıştır.

**Tablo 1.** HAT-P-10b'nin Gözlem tarihleri ve detayları

Tarih	Filtre	Hava Kütlesi (Airmass)	Poz Süresi (s)	Görüntü sayısı	rms (mmag)
22.11.2016	R	1.10-1.00	120	121	1.66
18.12.2016	R	1.00-1.72	120	125	2.08
12.09.2017	R	1.97-1.08	120	86	3.00



## 1.2.Verilerin İndirgenmesi

Gözlemler sonucu elde edilen tüm görüntülerin kalibrasyonları, fotometrisi ve gürültünün ayıklanması (detrend) işlemleri için AstroImageJ (AIJ; Collins, K.A., Kielkopf, J.F., Stassun, K.G., 2017) yazılımı kullanılmıştır. Veri indirgeme işlemi sırasında Bias çıkarımı ve düz alan düzeltmeleri yapıldı. Veri analizi sırasında 2 referans yıldız kullanıldı (bkz. Tablo 2). Referans yıldızlar, hedef yıldızın parlaklığına yakın parlaklığa sahip olanlardan seçildi. Bu referans yıldızların hepsi, her analizde hep aynı sıra ile seçilerek analiz edildi. Bu işlem sırasında hedef yıldızın ve referans yıldızların aperture ve annulus yarıçapları AIJ programının Radial Profile özelliği kullanılarak belirlendi. Fark fotometrisi sırasında modelleme artıklarını minimize edebilmek için (Collins vd. 2017) aperture büyüklüklerinin her bir görüntüdeki FWHM (full-width-half-maximum) değerinin 1,2 katı oranında değişime izin verildi. Işık eğrilerine en iyi modellemeyi elde edebilmek için detrend işlemi uygulandı. En iyi modelleme sonucunu veren detrend parametrelerinin belirlenmesi için AIJ'nin "Fitting" modülündeki BIC (Bayesian information criterion) değerinin değişimi esas alındı. Sadece "airmass" detrend parametresi en iyi istatistiksel sonucu vermiştir. Bu nedenle ışık eğrilerinin modellenmesinde ışık eğrilerine sadece airmass detrend uygulanmıştır. Yine verilerin JD'den BJD' ye zaman dönüşümleri AIJ ile yapılmıştır. Elde edilen modellenmiş üç ışık eğrisi ve bu üç eğrinin üst üste toplanmış modeli sırasıyla Şekil 1' de paylaşılmıştır.

**Tablo 2.** HAT-P-10b sistemi için hedef ve referans yıldızlarının bazı özellikleri

Kaynak İsmi	Kaynak tipi	RA (deg)	Dec (deg)	Tür	K (mag)
HAT-P-10b	Hedef	47.368964	+30.673594	Yıldız	9.42
2MASS 03091482+3041291	Referans	47.311776	+30.691431	Yıldız	10.77
2MASS 03095121+3037114	Referans	47.463398	+30.619846	Yıldız	9.67

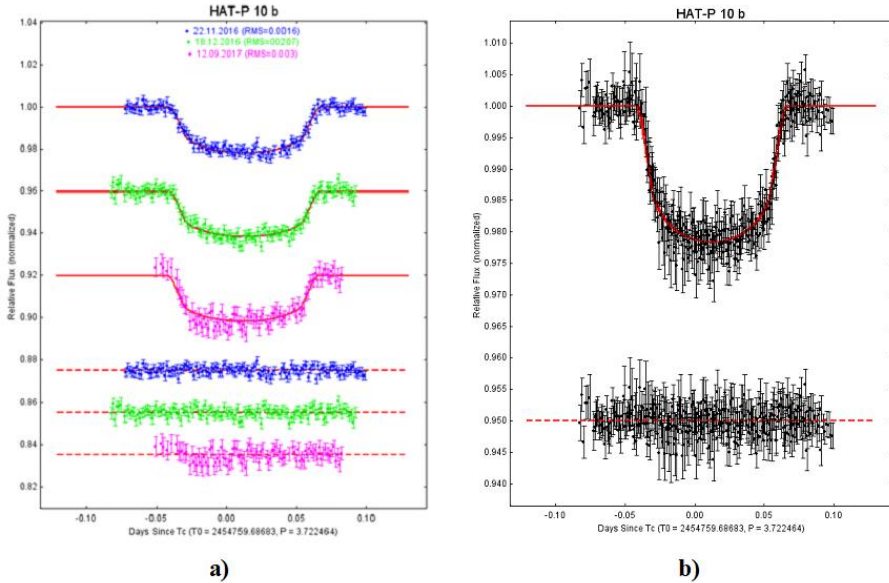
## 1.3.Işık Eğrisi Analizi

Yıldız-gezegen sisteminin geçiş ışık eğrilerini modelleyebilmek, sisteme ait bazı fiziksel parametrelerin hesaplanması ve bu parametrelerinin belirsizliklerini hesaplayabilmek için EXOFAST (Eastman et al. 2013) programı kullanıldı. EXOFAST programı parametrelerin hesabı için Monte Carlo Markov Zinciri (MCMC) kullanır. Monte Carlo algoritması tekrarlı şekilde parametreler için rastgele değerler üretir ve yeni üretilcek değerlerin

bir önceki değerlerden bağımsız olmasını sağlar. EXOFAST, bu rastgele üretilen bağımsız parametrelerin veri dahilinde ne kadar olası olduğunu gösteren olasılıklar oluşturur (Eastman et al. 2013).

EXOFAST ile HAT-P-10 sisteminin modellemek için ihtiyaç duyulan RV verileri, West vd. NOT (2009) çalışmalarından alındı. Ayrıca EXOFAST ile modelleme yapılırken bazı başlangıç değerleri verildi ( $\log g_*$ ,  $T_{\text{eff}}$  ve  $[\text{Fe}/\text{H}]$ ). Başlangıç değerlerinin bazıları literatürden elde edildi (Bakos vd. 2009). Yine EXOFAST ile modelleme yaparken sistemin yörüngesi çembersel olarak kabul edilmiştir. Her bir modellemenin istatistiksel karekök ortalamaları (RMS) Tablo 1 ve Şekil 1’de ilgili ışık eğrisinde verilmiştir. Modelleme sonucu güncellenen sistem parametreleri ve bu parametrelerin literatür değerleri ile karşılaştırılması Tablo 3’te verilmiştir.

Sistemde üçüncü bir cismin varlığını tespit etmek ve yörünge parametrelerinin hassasiyeti için kullanılan TTV analizleri için gerekli olan geçiş zamanlarının minimum değerleri de bu çalışmada 3 geçiş ışık eğrisi için belirlenmiştir. Bu geçişlerin minimum zamanlarını belirleyebilmek için EXOFAST’de her bir gece ayrı ayrı modellenmiştir. Bu modellemeler sonucunda her bir gece için ayrı ayrı minimum zamanlar elde edilmiştir. Elde edilen minimum zamanlar Tablo 4’te paylaşılmıştır.



**Şekil 1** HAT-P-10b sisteminin ADYU60 ile elde edilen üç yeni ışık eğrisi. a)Üst tarafta geçiş ışık eğrileri alt tarafta aynı ışık eğrisine ait artıkları aynı renk ile

verilmiştir. EXOFAST' den elde edilen en iyi modelleme sonuçları kırmızı çizgilerle gösterilmiştir. Modelleme sonucu elde edilen karekök ortalama (RMS) değerleri ilgili tarihlerin yanında verilmiştir. b) HAT-P-10b' nin üç gözlemin toplanmış ışık eğrileri siyah noktalarla verilmiştir. Eşzamanlı modelleme sonuçları kırmızı çizgilerle gösterilmiştir. Modelleme artıkları alt panelde verilmiştir. Işık eğrilerinde görülen saçılmalar gözlem esnasında hava şartlarından kaynaklıdır

## 2. SONUÇ

HAT-P-10b sisteminin sistem parametrelerini güncellemek için ADYU60' tan alınan üç yeni ışık eğrisi AIJ programı ile indirgenmiş ve fark fotometrisi yapılmış, EXOFAST programı ile modellenmiştir. Elde edilen indirgenmiş ve modellenmiş ışık eğrileri Şekil 1'de paylaşılmıştır. Işık eğrilerinde görülen saçılmalar gözlemin yapıldığı gecede hava şartlarından kaynaklanmaktadır. Ayrıca ışık eğrilerinin EXOFAST' ten elde edilen modelleme ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

Sistemin güncellenen fiziksel parametreleri ve literatürdeki değerleri ile karşılaştırılması Tablo 3' te verilmiştir. HAT-P-10b için bu sistem parametrelerinden bazıları  $M_p = 0.5222^{+0.0524}_{-0.0463} M_J$ ,  $R_p = 0.9664^{+0.0244}_{-0.0227} R_J$ ,  $a = 0.0433 \pm 0.0008 AU$  dur. Bu değerler incelendiğinde literatür değerleri ile belirsizlikler aralığında uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Ancak etki parametresi b'nin tüm çalışmalarda farklı değerler aldığı görülmektedir. Bu sapmalar yıldız aktivitelerinden yada gözlem koşullarından kaynaklı ışık eğrisi saçılmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak daha net sonuçlara ulaşabilmek için gözlem sayısının çokluğu ve daha hassas gözlem verilerine ihtiyaç bulunmaktadır.

TTV analizleri için gerekli olan geçiş zamanları minimum değerleri ise Tablo 4' te paylaşılmıştır.

Bu sistem için fiziksel ve sistem parametrelerinin daha kesin çözümlerinin yapılabilmesi ve TTV analizleri için önümüzdeki dönemlerde farklı projelerle veriler alınmaya devam edilecektir.

**Tablo 3.** HAT-P-10 sisteminin bu çalışmadan elde edilen fiziksel parametreleri ve West vd. (2009), Bakos vd. (2009) ve Wang vd. (2014) çalışmaları ile karşılaştırılması

Para metre	Birimler	Bu çalışma	West vd. (2009)	Bakos vd. (2009)	Wang vd. (2014)
<b>Yıldız Parametreleri</b>					
$M_*$	Kütle ( $M_\odot$ )	$0.784^{+0.047}_{-0.045}$	$0.770^{+0.100}_{-0.080}$	0.830 $\pm 0.030$	0.862 $\pm 0.014$
$R_*$	Yarıçap ( $R_\odot$ )	$0.752^{+0.018}_{-0.017}$	$0.740^{+0.040}_{-0.030}$	0.790 $\pm 0.020$	$0.784^{+0.018}_{-0.011}$
$\log g_*$	Yüzey çekimi (cgs)	$4.580^{+0.013}_{-0.014}$	4.450 $\pm 0.200$	4.560 $\pm 0.020$	...
$\rho_*$	Yoğunluk (cgs)	$2.61^{+0.088}_{-0.097}$	...	...	$1.789^{+0.072}_{-0.116}$
<b>Gezegen Parametreleri</b>					
$M_P$	Kütle ( $M_J$ )	$0.522^{+0.052}_{-0.046}$	0.530 $\pm 0.070$	0.487 $\pm 0.018$	0.526 $\pm 0.019$
$R_P$	Yarıçap ( $R_J$ )	$0.966^{+0.024}_{-0.023}$	$0.910^{+0.060}_{-0.030}$	$1.005^{+0.032}_{-0.027}$	$0.999^{+0.029}_{-0.018}$
$\log g_P$	Yüzey çekimi	3.141 $\pm 0.039$	$3.16^{+0.04}_{-0.05}$	$3.08 \pm 0.03$	...
$\rho_P$	Yoğunluk (cgs)	$0.717^{+0.076}_{-0.068}$	$0.690^{+0.070}_{-0.110}$	0.594 $\pm 0.052$	$0.526^{+0.035}_{-0.046}$
$T_{eq}$	Denge sıcaklığı (K)	968.73 $\pm 20$	$960 \pm 70$	$1020 \pm 17$	$1006.5^{+16.4}_{-14.6}$
<b>Yörünge Parametreleri</b>					
$P$	Periyot (gün)	3.722456 $\pm 0.000006$	$3.722465^{+0.0}_{-0.0}$	$3.72244747 \pm 0.0000065$	$3.72247669 \pm 0.0000018$
$a$	Yarı-büyük eksen (AU)	0.043 $\pm 0.0008$	0.0430 $\pm 0.0020$	0.0435 $\pm 0.0006$	0.0447 $\pm 0.0002$
<b>Geçiş Parametreleri</b>					
$R_P/R_*$	Gezegen ve yıldız yarıçaplar oranı	0.132 $\pm 0.001$	0.127 $\pm 0.0001$	0.132 $\pm 0.001$	$0.131^{+0.00011}_{-0.00005}$
$a/R_*$	Yıldız yarıçapı cinsinden yarı-büyük eksen	$12.402^{+0.138}_{-0.155}$	...	11.87 $\pm 0.270$	...
$i$	Eksen eğikliği (derece)	$89.59^{+0.276}_{-0.376}$	$89.8^{+0.2}_{-0.8}$	$88.60^{+0.50}_{-0.40}$	$89.138^{+0.503}_{-0.470}$
$b$	Etki parametresi	$0.089^{+0.079}_{-0.059}$	$0.054^{+0.168}_{-0.050}$	$0.282^{+0.067}_{-0.095}$	$0.185^{+0.094}_{-0.107}$

$T_{14}$	Toplam geçiş süresi (gün)	0.108 $\pm 0.001$	...	0.1090 $\pm 0.0008$	$0.1078^{+0.0006}_{-0.0004}$
----------	---------------------------	----------------------	-----	------------------------	------------------------------

**Tablo 4** Üç geçiş ışık eğrisi için belirlenen geçiş minimum zamanları

Tarih	Geçiş Minimum zamanı ( $T_0$ ) BJD
22.11.2016	$T_0 = 2457715.337751^{+0.000443}_{-0.000440} BJD$
18.12.2016	$T_0 = 2457741.394076^{+0.000436}_{-0.000425} BJD$
12.09.2017	$T_0 = 2458009.410441^{+0.000793}_{-0.000788} BJD$

### Teşekkür

Gözlem verilerini almamızı destekleyen Adıyaman Üniversitesi Astrofizik Uygulama ve Araştırma Merkezine teşekkür ederim.

## KAYNAKÇA

- Agol, E., Steffen, J., Sari, R., & Clarkson, W. (2005). On detecting terrestrial planets with timing of giant planet transits. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS)*, 359, 567  
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2966.2005.08922.x>.
- NASA Exoplanet Archive web sitesi (2023). 15. 11. 2023 tarihinde [https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/docs/counts\\_detail.html](https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/docs/counts_detail.html) adresinden erişildi.
- Exoplanet Transit Database (2023) 15.11.2023 tarihinde <http://var2.astro.cz/ETD/>
- Bakos, G., Noyes, R.W., Kovács, G., Stanek, K.Z., Sasselov, D.D., Domsa, I., (2004). “Widefield milli magnitude photometry with the hat: a tool for extrasolar planet detection. *Publ. Astron. Soc. Pac.* 116, 266.
- Bakos G. Á, Pál, A., Torres, G., Sipőcz, B., Latham, D.W., Noyes, R.W., Kovács, G., et al. (2009). HAT-P-10b: a light and moderately hot jupiter transiting a K dwarf. *The Astrophysical Journal*. 696, 1950.  
<http://dx.doi.org/10.1088/0004-637X/696/2/1950>.
- Borucki, W. J., Koch, D., Jenkins, J., et al. (2009). Kepler’s Optical Phase Curve of the Exoplanet HAT-P-7b. *Science*, 325, 709.  
<https://doi.org/10.1126/science.1178312>
- Charbonneau, D., Brown, M.T., Latham, D.W. and Mayor, M. (2000). Detection of planetary transits across a Sun-Like star. *The Astrophysical Journal*, 529, 45  
[https://ui.adsabs.harvard.edu/link\\_gateway/2000ApJ...529L..45C/doi:10.1086/312457](https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2000ApJ...529L..45C/doi:10.1086/312457)
- Collier, C.A., Bouchy, F., Hebrard, G., Maxted, P. et al. (2007). WASP-1b and WASP-2b: Two new transiting exoplanets detected with SuperWASP and SOPHIE. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS)*, 375(3), 951–957.  
[https://ui.adsabs.harvard.edu/link\\_gateway/2007MNRAS.375..951C/doi:10.1111/j.1365-2966.2006.11350.x](https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2007MNRAS.375..951C/doi:10.1111/j.1365-2966.2006.11350.x)
- Collins, K.A., Kielkopf, J.F., Stassun, K.G. (2017). AstroImageJ: image processing and photometric extraction for ultra-precise astronomical light curves. *The Astronomical Journal*. 153, 78.  
<http://dx.doi.org/10.3847/1538-3881/153/2/78>.
- Doyle, L. R., Carter, J. A., Fabrycky, Daniel C. et al. (2011). Kepler-16: A Transiting Circumbinary Planet. *Science*, 333(6049), 1602–1606

- [https://ui.adsabs.harvard.edu/link\\_gateway/2011Sci...333.1602D/doi:10.1126/science.1210923](https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2011Sci...333.1602D/doi:10.1126/science.1210923)
- Eastman, J., Gaudi, B.S., Agol, E., (2013). EXOFAST: A Fast Exoplanetary Fitting Suite in IDL. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific (PASP)* 125, 83.  
<http://dx.doi.org/10.1086/669497>.
- Henry, G. W., Marcy, G. W., Butler, R. P., & Vogt, S. S. (2000). A Transiting "51 Peg-like" Planet. *The Astrophysical Journal*, 529, L41  
<http://dx.doi.org/10.1086/312458>
- Huang, C. X., Hartman, J.D., Bakos, G.A vd. (2015). HAT-P-56b: An Inflated Massive Hot Jupiter Transiting A Bright F Star Followed Up With K2 Campaign 0 Observations. *The Astronomical Journal*,150, 85.  
<https://doi.org/10.1088/0004-6256/150/3/85>
- Howard, A.W., Bakos, G.A., Hartman, J., Torres, G. vd (2012). HAT-P-17b,c: A Transiting, Eccentric, Hot Saturn and a Long-period, Cold Jupiter. *The Astrophysical Journal*, 749(2), 134.  
[https://ui.adsabs.harvard.edu/link\\_gateway/2012ApJ...749..134H/doi:10.1088/0004-637X/749/2/134](https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2012ApJ...749..134H/doi:10.1088/0004-637X/749/2/134)
- Mancini, L., Esposito, M., Covino, E., Raia, G., Southworth, J., Tregloan-Reed, J.,Biazzo, K. vd. (2015). The GAPS Programme with HARPS-N at TNG. VIII. Observations of the Rossiter-McLaughlin effect and characterisation of the transiting planetary systems HAT-P-36 and WASP-11/HAT-P-10. *Astronomy and Astrophysics*. 579, A136.  
<http://dx.doi.org/10.1051/0004-6361/201526030>
- Mayor, M. and Queloz, D. (1995). A Jupiter-mass companion to a solar-type star. *Nature*, 378(6555), 355–359  
<http://dx.doi.org/10.1038/378355a0>.
- Mullally, F., Coughlin, J. L., Thompson, S. E. vd. (2015). Planetary candidates observed by kepler. VI. Planet sample from Q1–Q16 (47 months). *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 217(2),31.  
<https://doi.org/10.1088/0067-0049/217/2/31>
- Pollacco, D. L., Skillen, I., Collier Cameron, A., vd. (2006) The WASP Project and the SuperWASP Cameras. *PASP*, 118, 1407  
<http://dx.doi.org/10.1086/508556>.
- Sada, P.V., Deming, D., Jennings, D.E., B.k., Jackson, Hamilton, C.M., Fraine, J.,Peterson, S.W., vd. (2012).Extrasolar Planet Transits Observed at Kitt Peak National Observatory. *PASP* 124, 212.  
<http://dx.doi.org/10.1086/665043>.

Van de Kamp, P. (1943). The Astrometric Study of Unseen Companions to Near-by Stars. *PASP*, 55(327), 263

<https://adsabs.harvard.edu/full/1943PASP...55..263V>

Veras, D., Ford, E. B., & Payne, M. J. (2011). Quantifying the challenges of detecting unseen planetary companions with transit timing variations *The Astrophysical Journal*, 727, 74.

DOI 10.1088/0004-637X/727/2/74

Wang, X.-bin, Gu, S.-hong, Collier Cameron, A., Wang, Y.-bo, Hui, H.-K., Kwok, C.-T., Yeung, B., vd. (2014). The refined physical properties of transiting exoplanetary system WASP-11/HAT-P-10. *The Astronomical Journal*. 147, 92.

<http://dx.doi.org/10.1088/0004-6256/147/4/92>

West, R.G., Collier Cameron, A., Hebb, L., Joshi, Y.C., Pollacco, D., Simpson, E., Skillen, I., vd. (2009). The sub-Jupiter mass transiting exoplanet WASP-11b. *Astronomy and Astrophysics*. 502, 395.

<http://dx.doi.org/10.1051/0004-6361/200810973>.

Wolszczan, A. and Frail, D.A. (1992). A planetary system around the millisecond pulsar PSR1257 + 12. *Nature*, 355, 145–147

<http://dx.doi.org/10.1038/355145a0>.





## BÖLÜM 8

### **NİKOTİNAMİDLİ Cu(II), Zn(II), Co(II) ve Ni(II) 2,4-Dihidroksibenzoat KOMPLEKSLERİNİN NİTROAROMATİK PATLAYICI DEDEKSİYONU İÇİN POTANSİYELLERİNİN İNCELENMESİ**

Mehmet Fatih YASUL<sup>1\*</sup>

Prof. Dr. Mustafa YÜKSEK<sup>2</sup>

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10435312>

---

<sup>1</sup> İskenderun Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1824-6634.yasulfatih@gmail.com>

<sup>2</sup> İskenderun Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2169-1827.mustafa.yuksekk@iste.edu.tr>



## 1.GİRİŞ

Günümüzde artan terör ve yasa dışı faaliyetler nedeniyle patlayıcı dedekte etme yöntemleri günbegün önem kazanmıştır. Bu yöntemlerden biri de nitroaromatik patlayıcıların floresans ve optik soğurma yöntemiyle patlayıcıların tespit edilme yöntemidir (Bünzli, 2016). Nikotinamidli benzoatların geçiş metalleri ile oluşturulan kompleksleri sahip oldukları optik soğurma ve floresans özellikleri nedeniyle biyosensör, optik ve kimyasal sensör, veri depolama, barkod okuma, optik filtreleme ve lazer uygulamaları gibi birçok uygulamada kendilerine yer edinebilmektedirler (Liu, Zhang, Zhu, Yao ve Han, 2014). En önemli uygulama alanlarından biri olarak insanlar için çok büyük tehdit oluşturan nitroaromatik patlayıcıların dedeksiyonudur (Basabe-Desmonts, Reinhoudt ve Crego-Calama, 2007). Söz konusu malzemelerin nitroaromatik patlayıcıları dedekte etme işlemleri bu malzemelerin yaydıkları floresans ışığını sönmüleme özelliğinin altında yatmaktadır (Lakowicz, 2006; Caron ve diğerleri, 2009). Bilindiği gibi organik ve inorganik malzemelerin yapısına dâhil edilen geçiş metalleri ve geçiş metallerinin koordinasyon çevresi optik ve elektrik özelliklerini çok önemli ölçüde değiştirmektedir (Strobel ve Czarnopys, 2010). Bu nedenle, bu çalışma kapsamında bakır (Cu(II)), çinko (Zn(II)), kobalt (Co(II)) ve nikel (Ni(II)) geçiş metallerini içeren nikotinamidli benzoatların optik soğurma ve floresans özellikleri incelendi. Daha sonra bu çözeltilere  $2\text{NO}_2$ ,  $3\text{NO}_2$ ,  $\text{KNO}_3$  ve  $\text{NH}_4\text{NH}_3$  malzemeleri farklı oranlarda eklenerek optik soğurma ve floresansı sönmüleme yetenekleri incelenerek nitroaromatik patlayıcıların dedeksiyonunda kullanılma potansiyelleri belirlenmiştir.

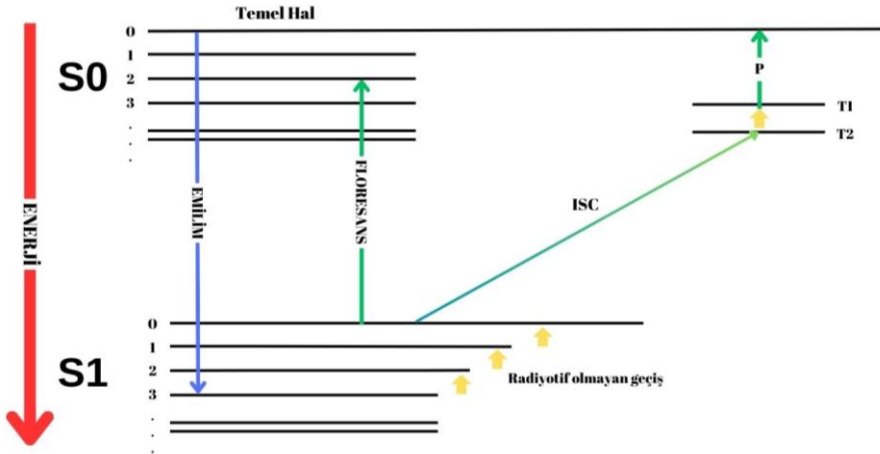
### 1.1. Optik Soğurma

Soğurma(emilim), maddenin içerisinde bulunan yük taşıyıcılarla elektromanyetik dalgalarla etkileşimi sonucu oluşan enerji kaybıdır. Işık madde yüzeyini kestiğinde yansır, emilir veya iletilir (Hodgson, 2012). Burada soğurma durumunun olması ışığın enerjisinin emilmesi ile gerçekleşir. Cisim sadece renk oluşumundaki türevleri veya rengini yansır (Walker, 1979). Kısacası her cisim emilim sağlamadığı renk veya renk türevinde görölüm sağlar (Judd, 1962). Örneğin beyaz renkli bir cisim tüm renkleri yansıtırken siyah renkteki cisim tüm renkleri soğurur. Soğurmaya ek olarak

koyu renge sahip cisimler daha fazla emilim gerçekleştirdiğinden dolayı ışığın enerjisi azalır (Tharmalingam, 1963). Işık enerjisi ısı enerjisine dönüşür. Bu nedenden dolayı siyah renkli cisimler açık renkli cisimlerden daha fazla ısınır (Koidl, 1977).

## 1.2. Floresans

Floresans, maddelerde moleküler fotonun emilmesinin ve emdiği ışığı daha büyük bir dalga boyunda yayılmasını tetiklemesiyle olan ışımaya (ışık verme) olayına denir. Emilen veya yayılan ışınlar arasında bir enerji farkı vardır. Bu enerji farkı ise ısı veya titreşim olarak açığa çıkar. Işık soğurma, atomun etrafındaki elektronların yerleşmesine bağlıdır (Lakowicz, 1999). Bu nedenle bir molekül foton soğurma yaptığında elektron kendisinden daha yüksek değerli orbitale katılır. Böylece foton soğurmuş yani emilimi gerçekleşmiş olur ve moleküllerde uyarılmış duruma geçer. Ama bu molekül bu durumda kararlı yapıdan kararsız yapıya geçiş yapar. Uyarılmış moleküller kararlı yapıya tekrardan dönüş yapmak için eski orbitaline geri döner. Böylece uyarılmış moleküller eski durumuna döndüğünde ışık salınımı meydana gelir. Bu ışığa Floresans adı verilir. Floresans ışımada her zaman dalga boyu soğurması gerçekleşen dalga boyundan fazladır. Dalga boyu fazla olan Floresans ışımalarının enerjisi düşüktür (Choy, Choyke ve Libutti, 2003).



Şekil 1. Floresansın Genel Gösterimi

Yukarıdaki şekilde enerji seviyelerine ait diyagram verilmiştir. Enerji yukarıdan aşağıya doğru artmaktadır. Diyagrama bakıldığında iki tane yatay düzlemde ana singlet verilmiştir (Offenbacher, Wolfbeis ve Furlinger, 1986). Bunlar  $S_0$  ve  $S_1$  signetleridir. Ayrıca uyarılmış halde triplerde gösterilmiştir. Diyagramda moleküllerin uyarılması  $S_0$ 'dan  $S_1$  doğru gerçekleşir ve uyarılma  $S_n$  kadar yapılabilir.  $S_0$ 'daki  $\lambda_0$  dalga boyu  $S_1$  deki  $\lambda_1$  dalga boyundan fazladır. Bu nedenle  $S_0$  dan  $S_1$ 'e doğru bu emilim gerçekleşir (Wolfbeis, 1986).

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada daha önce kristal yapısı karakterize edilmiş olan, nikotinamidli Cu(II), Zn(II), Co(II) ve Ni(II) 2,4-dihidroksibenzoat komplekslerinin kloroform çözücüsü içerisinde 2g/l derişiminde çözeltileri hazırlandı. Çözeltiler optik derinliği 1mm olan quartz küvetlere konularak optik soğurma spektrumları Uv-Vis spektrofotometresi (Shimadzu Uv-1800) yardımıyla kaydedildi. Daha sonra 1mm kalınlığındaki quartz küvetler 100, 300, 500 ve 700 mikrolitre  $2NO_2$ ,  $3NO_2$ ,  $KNO_3$  ve  $NH_4NH_3$  eklenerek optik soğurma davranışları belirlendi. Optik floresans spektrumları da 300 nm dalgaboyundaki ışık ile uyarılmaları sonucunda floresans spektrofotometresi (Perkin Elmer LS55) vasıtasıyla araştırıldı. Optik soğurma spektrumlarının belirlendiği gibi floresans spektrumları da 1 mm kalınlığındaki quartz küvetlere konularak kaydedildi. Daha sonra 1mm kalınlığındaki quartz küvetler içindeki çözeltilerin içerisine 100, 300, 500 ve 700 mikrolitre oranlarda  $2NO_2$ ,  $3NO_2$ ,  $KNO_3$  ve  $NH_4NH_3$  eklenerek floresans sönümlenmeleri belirlenerek nitroaromatik patlayıcıların dedeksiyonunda kullanılma potansiyelleri belirlendi.

## 3. BULGULAR

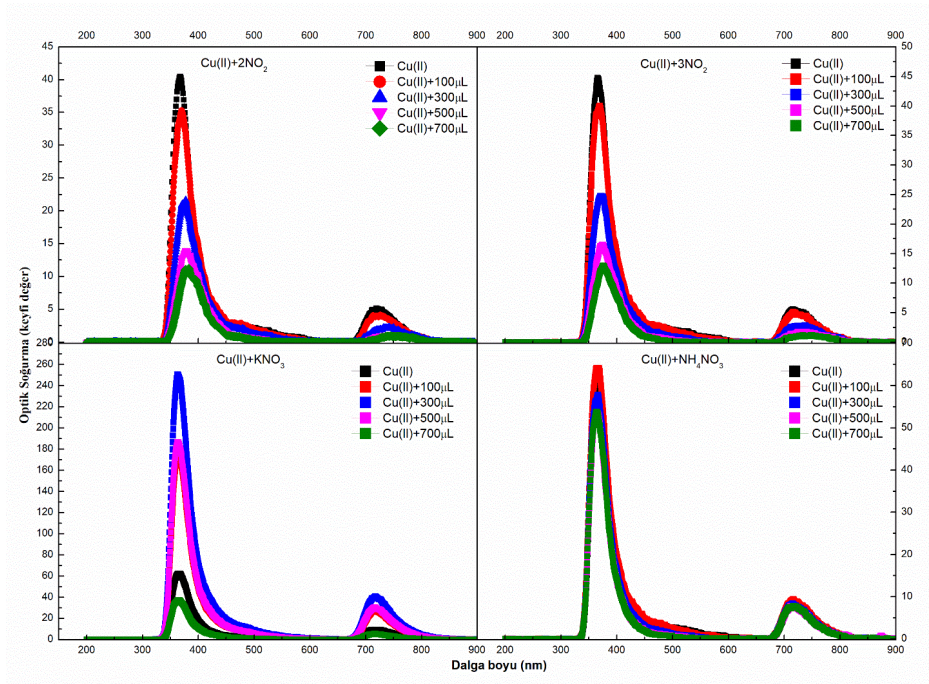
Nitroaromatik patlayıcıların dedekte edilmesini araştıran bu çalışma, hedef analite Nikotinamid Cu(II), Zn(II), Co(II) ve Ni(II) 2-4 dihidroksibenzoat kompleksinin dâhil edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Kapsamlı analiz; bilhassa hedef analit ile kompleks arasında meydana gelen reaksiyonlar sonucunda, optik soğurma ve floresans sonuçlarının değerlendirilmesiyle oluşmaktadır. Bu değerlendirme hedef analitin varlığının tespiti için kullanılmaktadır. Değerlendirmede, floresansa bağlı oluşan ışık şiddetinin azalması ve optik soğurmanın artması gibi durumlara bakılır. Böylece bu yaklaşım nitroaromatik patlayıcıların güvenilir bir şekilde tespit edilmesini ve patlayıcı miktarının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Goodpaster ve McGuffin, 2001).

### 3.1. Optik Soğurma

Nitroaromatik patlayıcıların tespit edilmesi sensörlerin saptaması gereken bir değişiklik meydana gelmektedir. Bu kısımda sensörler vasıtasıyla ilave edilen  $2\text{NO}_2$ ,  $3\text{NO}_2$ ,  $\text{KNO}_3$  ve  $\text{NH}_4\text{NH}_3$  bileşenlerinin bakır, çinko, nikel olmak üzere optik soğurma işlemleri gözlemlenmiştir. Bu bileşenlere elektronik sistemler arasında geçiş olması nedeniyle  $100\mu\text{L}$ ,  $300\mu\text{L}$ ,  $500\mu\text{L}$  ve  $700\mu\text{L}$  olacak şekilde farklı ölçeklerde karışım ilave edilmiştir.

$\text{Cu(II)}$  kompleksi ve içerisine  $2\text{NO}_2$ ,  $3\text{NO}_2$ ,  $\text{KNO}_3$  ve  $\text{NH}_4\text{NH}_3$  eklenmiş hallerinin optik soğurma spektrumları Şekil 2’de gösterilmektedir. Bakır geçiş metali ile 2,4-dihidroksibenzoat bileşiği komplekslerini birleştirmiştir. Bu kompleks yapısına nitroaromatik patlayıcı ilave edilmeden önceki optik soğurması ile  $2\text{NO}_2$  ilave edildikten sonraki optik soğurması kıyaslandığında optik soğurmanın azaldığı gözlenmektedir. Bu azalma ilave edilen miktarla doğru olacak şekildedir. Kompleksin içerisine  $3\text{NO}_2$  ilave edildiğinde ilave edilen miktar oranında azaldığı görülmektedir. Komplekse  $\text{KNO}_3$  ilave edildiğinde diğer patlayıcıların aksine optik soğurma arttığı gözlemlenmektedir. Fakat  $700\mu\text{L}$   $\text{KNO}_3$  ilave edilmesiyle optik soğurmada önemli bir azalma meydana gelmiştir. Son olarak komplekse  $\text{NH}_4\text{NH}_3$  maddesi ilave edildiğinde başlangıçtaki optik soğurma ile hemen hemen aynı değerde kaldığı ve önemli bir değişikliğin olmadığı gözlemlenmiştir. Böylece  $\text{Cu(II)}$  kompleksine en uygun sonucu  $350\text{ nm}$  dalga boyuna sahip ışın ve  $500\mu\text{L}$  değerinde  $\text{KNO}_3$  maddesi ilave edilmesi halinde alınacağı gözlemlenmiştir.

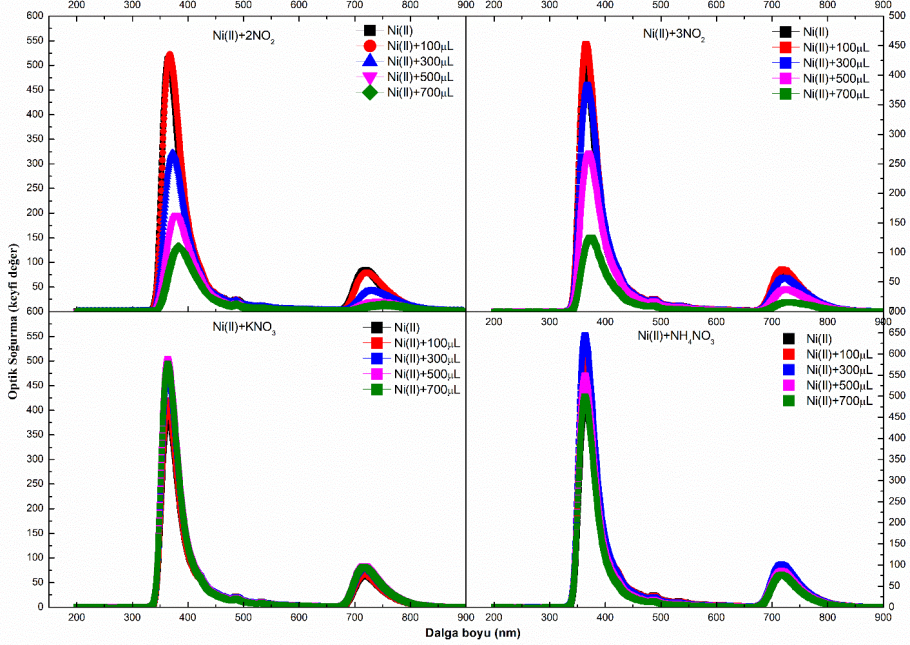
Şekil 2’e bakıldığı zaman, optik soğurmanın sadece belirli bir dalga boyuna sahip ışınlarda meydana geldiği gözlemlenmektedir. Bunun nedeni  $350 - 500\text{ nm}$  aralığında oluşan optik soğurmalar elektronik sistemler arasındaki  $\pi \rightarrow \pi^*$  ve  $n \rightarrow \pi^*$  geçişlerinden kaynaklanmaktadır. Bunun yanında yaklaşık  $700 - 800\text{ nm}$  aralığındaki düşük şiddetli optik soğurmalar elektronik seviyeler arasındaki da gerçekleşen  $\sigma \rightarrow \sigma^*$  uyarılmalarından kaynaklanmaktadır (Özbek ve diğerleri, 2001).



**Şekil 2.** Cu(II) kompleksi ve içerisine  $2NO_2$ ,  $3NO_2$ ,  $KNO_3$  ve  $NH_4NH_3$  eklenmiş hallerinin optik soğurma spektrumları.

Ni(II) kompleksi ve içerisine  $2NO_2$ ,  $3NO_2$ ,  $KNO_3$  ve  $NH_4NH_3$  eklenmiş hallerinin optik soğurma spektrumları Şekil 3'te verilmektedir. Nikel geçiş metali ile 2,4-dihidroksibenzoat bileşiği komplekslerini birleştirmiştir. Bu kompleks yapısına nitroaromatik patlayıcı ilave edilmeden önce optik soğurması ölçülmüştür. Komplekse  $2NO_2$  ilave edildikten sonra  $100 \mu L$  de optik soğurma değişmemiştir. Fakat  $2NO_2$  maddesinin miktarı arttıkça optik soğurma ilave edilen miktarla doğru orantılı olacak şekilde azaldığı gözlemlenmiştir. Kompleksin içerisine  $3NO_2$  ilave edildiğinde başlangıçta optik soğurma artmıştır. Fakat  $3NO_2$  maddesinin eklenen miktarı arttıkça optik soğurmanın azaldığı gözlenmektedir. Komplekse  $KNO_3$  ilave edildiğinde diğer patlayıcıların aksine optik soğurmada hiçbir değişiklik meydana gelmemiştir. Son olarak komplekse  $NH_4NH_3$  maddesi ilave edildiğinde optik soğurma ilave edilen miktar doğrultusunda azalma meydana gelmiştir. Böylece Ni(II) kompleksi en uygun dalga boyunun 350-400nm dalga boyu aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca Ni(II) kompleksine  $NH_4NH_3$  maddesi  $300 \mu L$  ilave edildiğinde optik soğurmanın patlayıcı tespit potansiyeli en iyi durum olduğu gözlemlenmektedir.

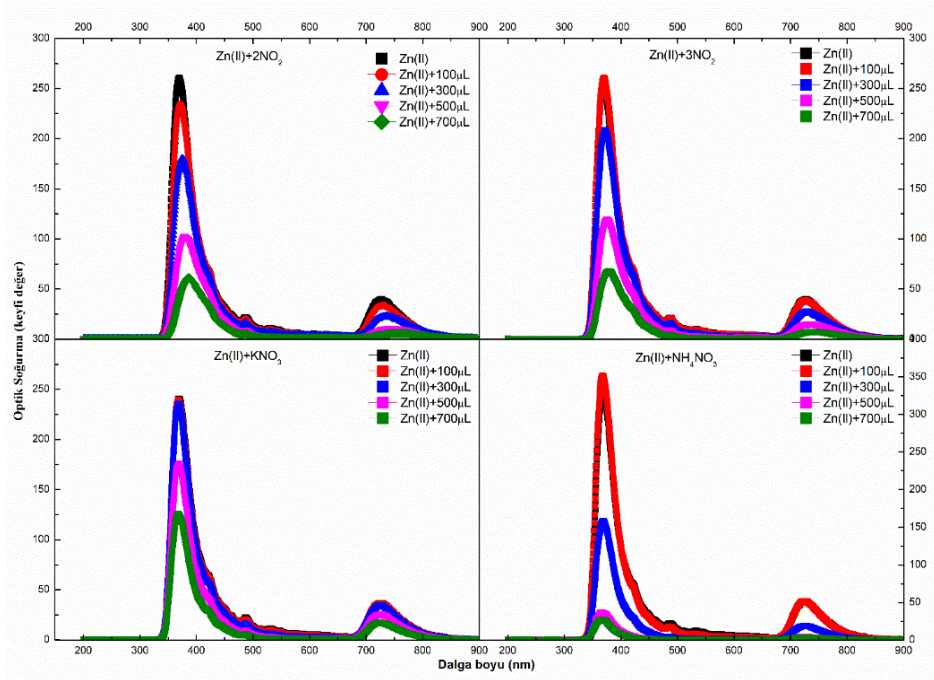




**Şekil 3.** Ni(II) kompleksi ve içerisine  $2\text{NO}_2$ ,  $3\text{NO}_2$ ,  $\text{KNO}_3$  ve  $\text{NH}_4\text{NH}_3$  eklenmiş hallerinin optik soğurma spektrumları.

Zn(II) kompleksi ve içerisine  $2\text{NO}_2$ ,  $3\text{NO}_2$ ,  $\text{KNO}_3$  ve  $\text{NH}_4\text{NH}_3$  eklenmiş hallerinin optik soğurma spektrumları Şekil 4'te verilmektedir. Çinko geçiş metali ile 2,4-dihidroksibenzoat bileşiği komplekslerini birleştirmiştir. Bu kompleks yapısına nitroaromatik patlayıcı ilave edilmeden önce optik soğurması ölçülmüştür. Komplekse  $2\text{NO}_2$  ilave edildikten sonra ilave edilen madde miktarıyla doğru olacak şekilde azaldığı gözlenmiştir. Komplekse  $100 \mu\text{L}$   $3\text{NO}_2$  ilave edilmesiyle optik soğurma artmıştır. Fakat ilave edilen miktarın artırılması optik soğurmaya düşürmüştür. Komplekse  $\text{KNO}_3$  ilave edilmesi halinde, optik soğurma  $100 \mu\text{L}$  ve  $300 \mu\text{L}$  önemli ölçüde değişiklik göstermemiştir. Ardından  $500 \mu\text{L}$  ve  $700 \mu\text{L}$  de optik soğurma azalmıştır. Son olarak komplekse  $\text{NH}_4\text{NH}_3$  maddesi ilave edildiğinde optik soğurma  $100 \mu\text{L}$  de değişiklik göstermemiştir.  $300 \mu\text{L}$  ilave edilmesiyle optik soğurmada önemli derecede düşme meydana gelmiştir ve bu düşme ilave miktarı arttıkça devam etmektedir. Böylece Zn(II) kompleksine en uygun dalga boyu  $350\text{-}400\text{nm}$  dalga boyu aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca

Zn(II) kompleksine  $3\text{NO}_2$  maddesi  $100\ \mu\text{L}$  ilave edildiğinde optik soğurmanın patlayıcı tespit potansiyeli en iyi durum olduğu gözlemlenmektedir.



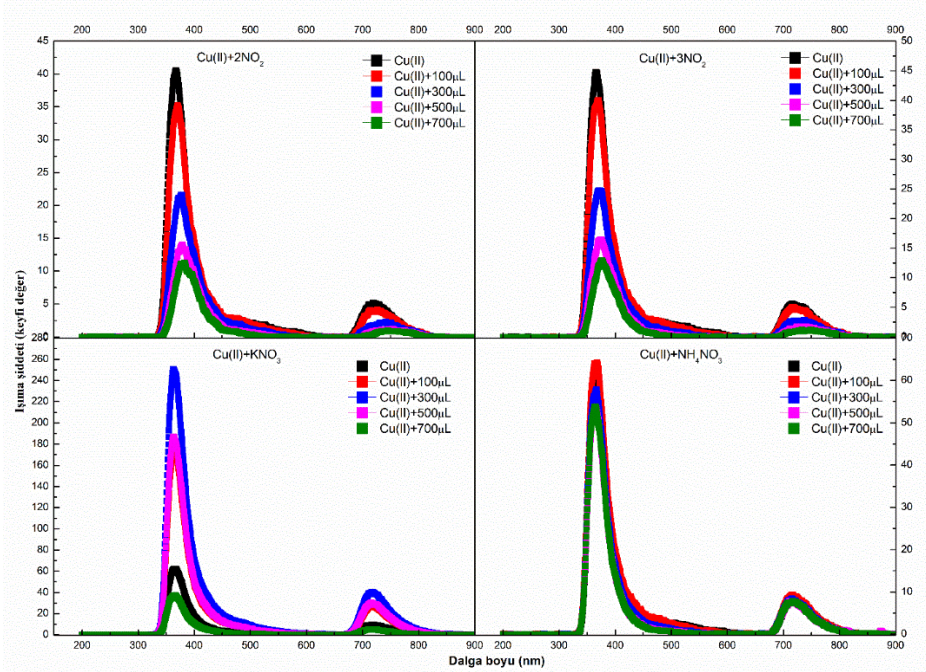
**Şekil 4.** Zn(II) kompleksi ve içerisine  $2\text{NO}_2$ ,  $3\text{NO}_2$ ,  $\text{KNO}_3$  ve  $\text{NH}_4\text{NH}_3$  eklenmiş hallerinin optik soğurma spektrumları

### 3.1. Floresans

Nitroaromatik patlayıcıların tespit edilmesi sensörlerin saptaması gereken bir değişiklik meydana gelmektedir. Bu kısımda sensörler vasıtasıyla ilave edilen  $2\text{NO}_2$ ,  $3\text{NO}_2$ ,  $\text{KNO}_3$  ve  $\text{NH}_4\text{NH}_3$  bileşenlerinin bakır, çinko, nikel olmak üzere floresans işlemleri gözlemlenmiştir. Bu bileşenlere elektronik sistemler arasında geçiş olması nedeniyle  $100\ \mu\text{L}$ ,  $300\ \mu\text{L}$ ,  $500\ \mu\text{L}$  ve  $700\ \mu\text{L}$  olacak şekilde farklı ölçeklerde karışım ilave edilmiştir.

Cu(II) kompleksi ve içerisine  $2\text{NO}_2$ ,  $3\text{NO}_2$ ,  $\text{KNO}_3$  ve  $\text{NH}_4\text{NH}_3$  eklenmiş hallerinin floresans spektrumları Şekil 5'te verilmektedir. Bakır geçiş metali ile 2,4-dihidroksibenzoat bileşiği komplekslerini birleştirmiştir. Bu kompleks yapısına nitroaromatik patlayıcı ilave edilmeden önce floresans şiddeti ile  $2\text{NO}_2$  ilave edildikten sonra floresans şiddeti kıyaslandığında ilave edilen miktar doğrultusunda floresans şiddeti azalmaktadır. Kompleksin içerisine  $3\text{NO}_2$  ilave edildiğinde ilave edilen miktar oranında floresans

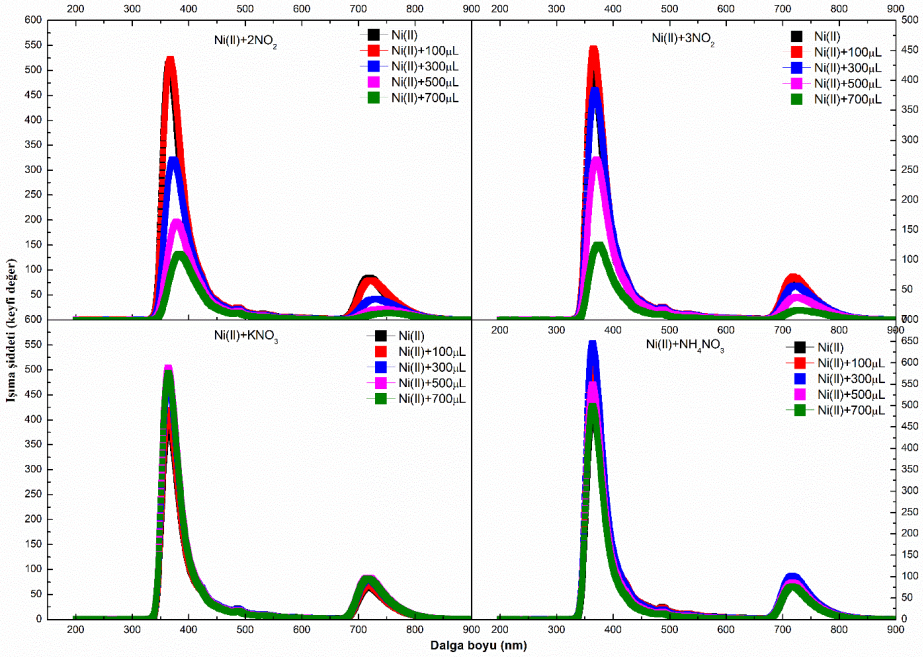
şiddetinin azaldığı görülmektedir.  $2\text{NO}_2$  ve  $3\text{NO}_2$  komplekslerinin davranışı nitroaromatik patlayıcıların dedeksiyon potansiyel kullanımına uygundur. Komplekse  $\text{KNO}_3$  ilave edildiğinde diğer patlayıcıların aksine floresans şiddetinin arttığı gözlemlenmektedir. Fakat  $700 \mu\text{L}$   $\text{KNO}_3$  ilave edilmesiyle floresans şiddetinde önemli bir azalma meydana gelmiştir. Böylece  $\text{KNO}_3$ 'ün eklenmesinin kompleksin yapısını bozduğu düşünülmektedir. Son olarak komplekse  $\text{NH}_4\text{NH}_3$  maddesi ilave edildiğinde başlangıçtaki floresans şiddeti ile hemen hemen aynı değerde kaldığı ve ilave edilen miktarın artmasıyla az miktarda azaldığı gözlemlenmiştir. Böylece  $\text{Cu(II)}$  kompleksi  $350\text{--}400\text{nm}$  dalga boyuna sahip ışınlar kullanıldığında,  $2\text{NO}_2$  ve  $3\text{NO}_2$  maddeleri ilave edildiğinde; nitroaromatik patlayıcı potansiyeline en iyi sonucu vermiştir.



**Şekil 5.**  $\text{Cu(II)}$  kompleksi ve içerisine  $2\text{NO}_2$ ,  $3\text{NO}_2$ ,  $\text{KNO}_3$  ve  $\text{NH}_4\text{NH}_3$  eklenmiş hallerinin floresans spektrumları.

$\text{Ni(II)}$  kompleksi ve içerisine  $2\text{NO}_2$ ,  $3\text{NO}_2$ ,  $\text{KNO}_3$  ve  $\text{NH}_4\text{NH}_3$  eklenmiş hallerinin floresans spektrumları Şekil 6'da verilmektedir. Nikel geçiş metali ile 2,4-dihidroksibenzoat bileşiği komplekslerini birleştirmiştir. Bu kompleks yapısına nitroaromatik patlayıcı ilave edilmeden önce floresans şiddeti ile  $2\text{NO}_2$  ilave edildikten sonra floresans şiddeti kıyaslandığında ilave edilen miktar doğrultusunda floresans şiddeti azalmaktadır. Fakat  $100\mu\text{L}$  ilave

edilen  $2\text{NO}_2$  maddesi floresans şiddetini önemli ölçüde değiştirmemiştir. Kompleksin içerisine  $3\text{NO}_2$  ilave edildiğinde ilave edilen miktar oranında floresans şiddetinin azaldığı görülmektedir.  $2\text{NO}_2$  ve  $3\text{NO}_2$  komplekslerinin davranışı nitroaromatik patlayıcıların dedeksiyon potansiyel kullanımına uygundur. Komplekse  $\text{KNO}_3$  ilave edildiğinde diğer patlayıcıların aksine floresans şiddetinin değişmedi gözlemlenmiştir. Bu durum ise  $\text{KNO}_3$  maddesi nikel kompleksiyle ile metal-iyon etkileşimine girmediği anlaşılmaktadır. Son olarak komplekse  $\text{NH}_4\text{NH}_3$  maddesi ilave edildiğinde başlangıçtaki floresans şiddeti ile hemen hemen aynı değerde kaldığı ve ilave edilen miktarın artmasıyla az miktarda azaldığı gözlemlenmiştir. Böylece Ni(II) kompleksine 350-400nm dalga boyuna sahip ışınlar uygulandığında ve  $2\text{NO}_2$  veya  $3\text{NO}_2$  maddeleri ilave edildiğinde nitroaromatik patlayıcı dedekte etmek potansiyeline en uygun sonuç olduğu gözlemlenmiştir.

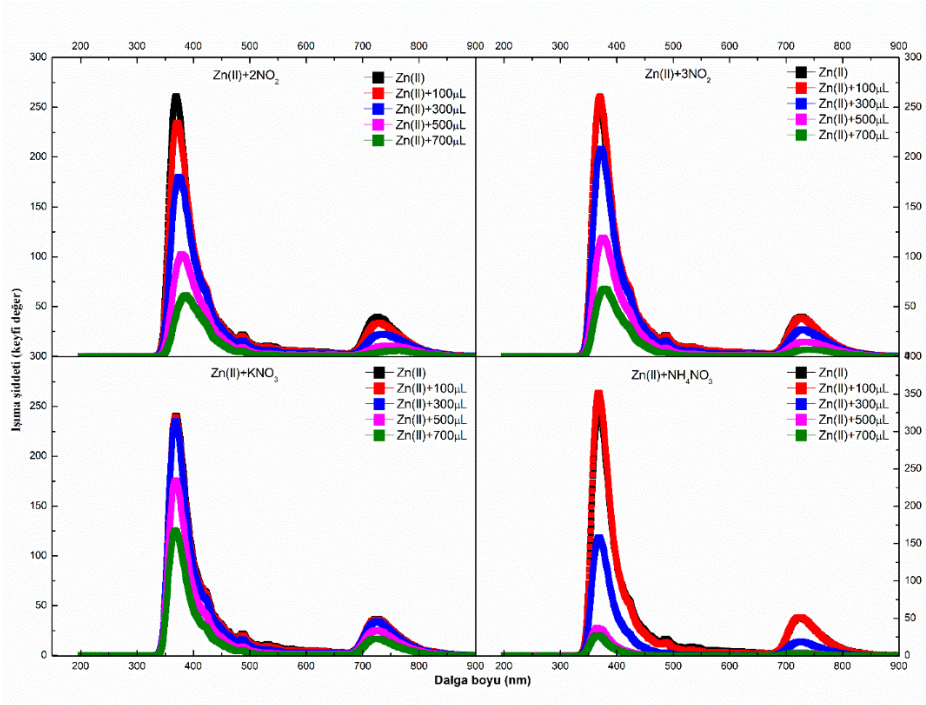


**Şekil 6.** Ni(II) kompleksi ve içerisine  $2\text{NO}_2$ ,  $3\text{NO}_2$ ,  $\text{KNO}_3$  ve  $\text{NH}_4\text{NH}_3$  eklenmiş hallerinin floresans spektrumları.

Zn(II) kompleksi ve içerisine  $2\text{NO}_2$ ,  $3\text{NO}_2$ ,  $\text{KNO}_3$  ve  $\text{NH}_4\text{NH}_3$  eklenmiş hallerinin floresans spektrumları Şekil 7'de verilmektedir. Çinko geçiş metali ile 2,4-dihidroksibenzoat bileşiği komplekslerini

birleştirmiştir. Bu kompleks yapısına nitroaromatik patlayıcı ilave edilmeden önce floresans şiddeti ile  $2\text{NO}_2$  ilave edildikten sonra floresans şiddeti kıyaslandığında ilave edilen miktar doğrultusunda floresans şiddeti azalmaktadır. Kompleksin içerisine  $3\text{NO}_2$  ilave edildikten sonra floresans şiddeti kıyaslandığında, ilave edilen miktar doğrultusunda floresans şiddeti azalmaktadır. Fakat bu duruma istisna olarak,  $100\mu\text{L}$  ilave edilen  $2\text{NO}_2$  maddesi floresans şiddetini önemli ölçüde değiştirmemiştir.  $2\text{NO}_2$  ve  $3\text{NO}_2$  komplekslerinin davranışı nitroaromatik patlayıcıların dedeksiyon potansiyel kullanımına uygundur. Komplekse  $\text{KNO}_3$  ilave edildiğinde floresans şiddetinin azaldığı gözlemlenmiştir. Son olarak komplekse  $\text{NH}_4\text{NH}_3$  maddesi ilave edildiğinde başlangıçtaki floresans şiddeti ile hemen hemen aynı değerde kaldığı ve ilave edilen miktarın artmasıyla önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir. Böylece  $\text{Zn(II)}$  kompleksi  $350\text{-}400\text{nm}$  dalga boyuna sahip ışınlar uygulandığında ve  $\text{NH}_4\text{NH}_3$  maddeleri ilave edildiğinde nitroaromatik patlayıcı dedekte etmek potansiyeline en uygun sonuç olduğu gözlemlenmiştir.  $\text{Zn(II)}$  kompleksindeki floresans spektrumları incelendiğinde eklenen tüm maddeler sonucunda floresans şiddetinde bir azalma olmuştur. Buda nitroaromatik patlayıcıların tespitinde çinko yarı metalinin potansiyeli konusunda stratejik bilgiler elde edilmesini sağlamaktadır.

$\text{Co(II)}$  kompleksi için, diğer komplekslere yapılan tüm işlemlerin aynısı tekrarlanmıştır. Fakat kobalt malzemesinin içerisine  $2\text{NO}_2$ ,  $3\text{NO}_2$ ,  $\text{KNO}_3$  ve  $\text{NH}_4\text{NH}_3$  maddeleri ilave edilmesine karşın, optik soğurma ve floresans olaylarına dayalı sonuçlar, anlamsız olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle  $\text{Co(II)}$  yarı metal kompleksinin nitroaromatik patlayıcıların dedekte etme potansiyeli oldukça karmaşık ve stabil olmadığından düşüktür ve bu malzemenin patlayıcıyı dedekte etmek için kullanılması uygun değildir.



**Şekil 7.** Zn(II) kompleksi ve içerisine  $2NO_2$ ,  $3NO_2$ ,  $KNO_3$  ve  $NH_4NH_3$  eklenmiş hallerinin floresans spektrumları.

#### 4. SONUÇ

Cu(II), Ni(II) Co(II)ve Zn(II) komplekslerine  $2NO_2$ ,  $3NO_2$ ,  $KNO_3$  ve  $NH_4NH_3$  eklenmesi sonucunda optik soğurma ve floresans şiddeti bazılarında arttığı, bazılarında azaldığı ve bazılarında da değişmediğini gözlemledik. Bu dinamik davranış, eklenen malzemelerle etkileşimler yoluyla oluşan yeni ligandların ortaya çıkmasına ve böylece kompleksler içinde farklı reaksiyonların tetiklenmesine bağlanabilir. Bu görüngü, kimyasal grupların oluşumundan kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Bu çalışmada, nitroaromatik patlayıcıların dedeksiyonunda kullanılabilecek en uygun kompleksin Zn(II) kompleksi olduğunu gösterilmiştir. Zn(II) kompleksinin eklenen maddelere karşı fark edilen duyarlılığı ve reaktivitesi, nitroaromatik bileşiklerin varlığında seçici bir sensör olarak potansiyelinin altını çiziyor ve böylece güvenlik ve analitik kimya alanlarında algılama teknolojilerinin ilerlemesine katkıda bulunuyor.

## KAYNAKLAR

- Basabe-Desmonts, L., Reinhoudt, D. N., & Crego-Calama, M. (2007). Design of fluorescent materials for chemical sensing. *Chemical Society Reviews*, 36(6), 993-1017.
- Bünzli, J. C. (2016). *Light Conversion: Lanthanide-Containing Systems*.
- Caron, T., Guillemot, M., Veignal, F., Montméat, P., Pasquinet, E., Prené, P., ... & Serein-Spirau, F. (2009, May). Optical sensor for the detection of explosives: example of a fluorescent material. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1137, No. 1, pp. 83-85). American Institute of Physics.
- Choy, G., Choyke, P., & Libutti, S. K. (2003). Current advances in molecular imaging: noninvasive in vivo bioluminescent and fluorescent optical imaging in cancer research. *Molecular imaging*, 2(4), 15353500200303142.
- Goodpaster, J. V., & McGuffin, V. L. (2001). Fluorescence quenching as an indirect detection method for nitrated explosives. *Analytical Chemistry*, 73(9), 2004-2011.
- Hodgson, J. N. (2012). *Optical absorption and dispersion in solids*. Springer Science & Business Media.
- Judd, B. R. (1962). Optical absorption intensities of rare-earth ions. *Physical review*, 127(3), 750.
- Koidl, P. (1977). Optical absorption of Co<sup>2+</sup> in ZnO. *Physical Review B*, 15(5), 2493.
- Lakowicz, J. R. (1999). Introduction to fluorescence. *Principles of fluorescence spectroscopy*, 1-23.
- Lakowicz, J. R. (Ed.). (2006). *Principles of fluorescence spectroscopy*. Boston, MA: springer US.
- Liu, L., Zhang, G. M., Zhu, R. G., Liu, Y. H., Yao, H. M., & Han, Z. B. (2014). Dinuclear Cd (II), Mn (II) and Cu (II) complexes derived from (anthraquinone-1-diyl) benzoate: DNA binding and cleavage studies. *RSC advances*, 4(87), 46639-46645.
- Offenbacher, H., Wolfbeis, O. S., & Furlinger, E. (1986). Fluorescence optical sensors for continuous determination of near-neutral pH values. *Sensors and Actuators*, 9(1), 73-84.
- Özbek, F. E., Sertçelik, M., Yüksek, M., Uğurlu, G., Tonbul, A. M., Necefoğlu, H., & Hökelek, T. (2019). *Synthesis and Crystallographic*,

- Absorption and Emission Studies of 4-Pyridine Carboxamide of Zn (II) 4-Chlorophenylacetate. *Journal of Fluorescence*, 29, 1265-1275.
- Strobel, R. A., & Czarnopys, G. (2010). Analysis and detection of explosives and explosives residues. In 16th International Forensic Science Symposium Interpol–Lyon 5 th-8 th October 2010 Review Papers (Vol. 609, p. 453).
- Tharmalingam, K. (1963). Optical absorption in the presence of a uniform field. *Physical Review*, 130(6), 2204.
- Walker, J. (1979). Optical absorption and luminescence in diamond. *Reports on progress in physics*, 42(10), 1605.
- Wolfbeis, O. S. (1985). Fluorescence optical sensors in analytical chemistry. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 4(7), 184-188.





## BÖLÜM 9

### THORNTHWAITE METODU İLE KESİKKÖPRÜ BARAJ GÖLÜ HAVZASI'NA AİT SU BÜTÇESİ ELEMENLARININ BELİRLENMESİ

Dr. Olcay GÜLÇİÇEK UYSAL<sup>1</sup>

Dr. Öğr. Üyesi Kağan CEBE<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mersin, Türkiye.olcayozer@mersin.edu.tr, ORCID ID 0000-0001-9032-4241

<sup>2</sup> Ondokuzmayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Samsun, Türkiye.kagan.cebe@omu.edu.tr, ORCID ID 0000-0003-1288-1362



## 1. GİRİŞ

Dünyamızda tüm canlıların temiz ve yeterli su kaynaklarına ulaşılabilirliği oldukça önemlidir. Nüfusunun hızla artması, iklim değişikliği, temiz suyun dağılımı/kullanım amacı, kaynakların kirletilmesi, doğru yönetilmemesi ve suyun ticarileştirilmesi gibi unsurlar su kaynakları ile ilgili sorunları oluşturmaktadır.

Karmaşık olaylar zinciri olan hidrolojik döngü, sadece bulunduğu coğrafyayı etkilemekle kalmayıp, kıtasal ölçekte de su elemanları ile bağlantılıdır. Bu da döngüdeki toplam su bütçesinin temelde durağan kalmasına rağmen bağlantılı olduğu kıtasal ölçekli havzalar içinde değişkendir. Bir havzadaki su bütçesi iklime ve havza karakteristiklerine bağlı olup bu ilişkinin tanımlanması lineer yöntemlerle mümkün olmayıp zamansal ve mekânsal dağılım açısından karmaşıklık taşımaktadır.

Su bütçesi, sisteme giren su ile çıkan/ depolanan suyun denge durumunda bulunması şeklinde tanımlanabilir (Hacısalıhoğlu ve Karaer, 2020). Bütçe denkleminde sisteme giren akışlar pozitif miktarlar, sistemden ayrılan akışlar ise negatif miktarlar olarak gösterilir (Gökdereli,2015). Su bütçesi yeraltı suyu beslenimi, yağış elemanları, buharlaşma, yüzey suyu elemanları ve çekilen su miktarları olarak kabul edilen girdi ve çıktılardan oluşmaktadır (Hacısalıhoğlu ve Karaer, 2018). Su kaynaklarında sürdürülebilir kullanım için su bütçelerinin belirlenmesi gerekir.

Bazı bölgelerde su bütçesi ve iklim tipi belirlemede kullanılan iklim sınıflandırma yöntemleri aracılığıyla araştırmalar yapılmıştır. (Köppen 1918; Thornthwaite 1948; Yeşilnacar vd. 1998; Bacanlı ve Saf 2005; Çoban 2013; Demir vd. 2015; Yılmaz ve Çiçek 2016, Dursun ve Yazıcı,2022). Türkiye için Thornthwaite iklim sınıf analizleri ilk olarak Erinç (1949) tarafından yapılmış olup meteorolojik verilerin eksikliği nedeniyle istenilen sonuçlar elde edilememiştir. İlerleyen yıllarda çalışmanın benzeri yapılmış olup, analizler ve haritalar istasyon değerlerine göre yapılmış olup meteorolojik veriler yayınlanmıştır (MGM, 2016). Birsoy ve Ölgün (1992) Thornthwaite iklim sınıflandırmasını bilgisayar ortamında yapan bir yazılım geliştirmişlerdir (Dursun ve Yazıcı, 2022).

Türkiye'nin, Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) raporunda yirmibirinci yüzyılın son dönemlerinde şiddetli yağışlar ile iklim değişikliği etkilerine maruz kalacağını, Akdeniz havzasında yağışlarda azalışa karşılık kuraklığın artış göstereceği bildirmiştir.

Ankara ili içme suyu kaynağı olarak da kullanılan Kesikköprü Baraj Gölü ve Havzası'nın, değişen iklim koşulları altında su bütçesinin tanımlanması su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için planlanan çalışmalar için önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, Ankara ili için alternatif içme suyu kaynağı olarak kullanılan Kesikköprü Baraj Gölü ve havzasına ait su bütçesi elemanlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, bütçe hesabı havza bazında Thornthwaite iklim sınıflandırma yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

## **2. ÇALIŞMA ALANI**

İç Anadolu Bölgesi'nin doğusunda yer alan Kızılırmak Havzası, Türkiye'nin ikinci en büyük havzasıdır. 1.151 km'lik uzunluğu ile Türkiye akarsularının en uzununu olan Kızılırmak, 82.181 km<sup>2</sup>'lik bir drenaj alanına sahiptir (SYGM, 2016). Kesikköprü Baraj Gölü Havzası, 82.181 km<sup>2</sup>'lik yağış alanına sahip Kızılırmak Havzası sınırlarında yer alan ve bu havzanın en batısında bulunan 22.264,5 km<sup>2</sup>'lik yağış alanına sahip Orta Kızılırmak alt havzası sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1).

Kızılırmak nehri üzerinde kurulu 11 barajdan biri olan Kesikköprü Barajı, Ankara'nın güney doğusunda bulunmakta olup, Ankara iline 120 km uzaklıktadır. Baraj, 1959-1966 yılları arasında inşa edilmiştir (DSİ, 2016).

Kesikköprü Barajı enerji üretimi, sulama ve içme suyu amacı ile kullanılmaktadır. Yapımında sadece enerji amacı ile planlanan Kesikköprü Barajı, 2000 yılında Ankara ili içme suyu temininde kullanılmasına karar verilmiştir. Bu nedenle Kesikköprü Barajı aynı zamanda içme suyu barajı olarak ilan edilmiştir.



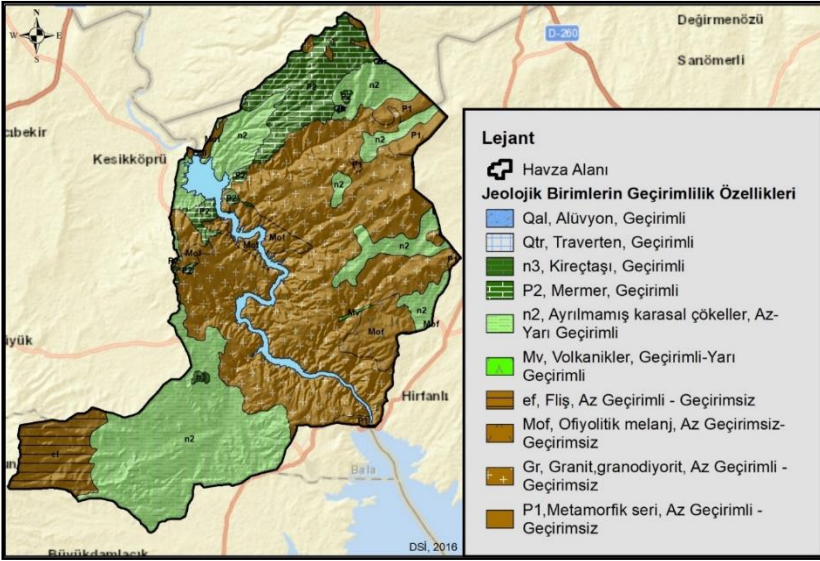
Kesikköprü Baraj Havzasının 11.122 ha'lık alanı Hirfanlı-Kesikköprü YAS Alt Havzası içinde, 14.120 ha'lık kısmı ise Savcılı YAS Alt Havzası içinde kalmaktadır. Buna göre Hirfanlı-Kesikköprü YAS Alt Havzası'nın %21,14'ü, Savcılı Alt Havzasının ise %26,84'lük kısmı Kesikköprü Baraj Havzası alanını oluşturmaktadır (DSİ, 2016).



**Şekil 2.** Havza Alanı ve Çevresi YAS Alt Havzaları

Kesikköprü Hirfanlı YAS Alt Havzası; Paleozoyik yaşlı mermerler (P2) ve metamorfik seri (P1), Mesozoyik yaşlı granit-granodiyorit (Gr) ve ofiyolitik melanj (Mof), Neojen yaşlı ayrılmamış karasal çökeller (n2) ve kireçtaşı (n3), Eosen filiş (ef) ve baraj sınırı boyunca dar alanlarda gözlenen Kuvaterner alüvyon (Qal) birimlerini içermektedir.

Kesikköprü Baraj Havzası'nın doğu kesiminde kalan Kırşehir ilini kapsayan Savcılı YAS Alt Havzası; Paleozoyik yaşlı mermerler (P2) ve metamorfik seri (P1), Mesozoyik yaşlı granit-granodiyorit (Gr), Volkanikler (Mv) ve ofiyolitik melanj (Mof), Neojen yaşlı ayrılmamış karasal çökeller (n2), Kuvaterner traverten (Qtr) ve yine baraj sınırı boyunca gözlenen Kuvaterner alüvyon (Qal) birimlerini içerdiği görülmektedir. Havza alanı'ndaki jeolojik birimlerin geçirimsizlik özellikleri Şekil 3'te verilmiştir.



**Şekil 3.** Havza Alanı'ndaki Jeolojik Birimlerin Geçirimsizlik Özellikleri

Hirfanlı YAS Alt Havzasında zengin ve yaygın bir akifer olmadığı belirtilmekle beraber, havzada yarı geçirimli birimler sınıfında yer alan Neojen yaşlı karasal çökellerin kumlu-çakıllı seviyelerinden yer yer zayıf debilerde su alınabileceği ifade edilmektedir (DSİ, 2016). Kesikköprü Baraj Gölü'nün güney kesimlerinde kalan ve dar alanlarda yüzlek vermiş Paleozoyik yaşlı mermerler ise bu YAS alt havzasındaki geçirimli birimi temsil etmektedir. Alt havzada DSİ tarafından açılmış su temin amaçlı sondaj kuyusu bulunmadığından akiferlerin tanımlamalarının net yapılamadığı ifade edilmiştir (DSİ, 2016).

DSİ yaptığı çalışmalarda Hirfanlı – Kesikköprü YAS Alt Havzası'nda; havzanın büyük bir bölümünü kaplayan Neojen karasal çökeller için belirlenen YAS beslenimini, YAS işletme rezervi olarak kabul etmiş ve 2  $\text{hm}^3/\text{yıl}$  olarak belirlemiştir (Tablo 4). Hirfanlı Alt havzasında ki yeraltı suyu kullanımı incelendiğinde; bölgede kuru tarım yapılması sebebiyle yoğun bir yeraltı suyu kullanımına sahip olmadığı belirtilmekte olup, yeraltı suyu potansiyelinin, yerleşim birimlerinin içme-kullanma suyu ihtiyacı için 1  $\text{hm}^3/\text{yıl}$ , sulama için de yine 1  $\text{hm}^3/\text{yıl}$  olarak tahsis edilecek şekilde planlama yapıldığı ifade edilmiştir (DSİ, 2016).

Savcılı alt havzasında da, DSİ yaptığı çalışmalar ile mermerleri yaygın akifer özellikli, karasal çökellerin kumlu çakıllı seviyeleri ile granit-



granodiyoritlerin arenalaşmış seviyelerini ise yerel bazda akifer özellikli olarak tanımlamıştır. Savcılı YAS Alt havzasında DSİ tarafından açılmış su temin amaçlı sondaj kuyusu bulunmadığından akiferlerin tanımlamalarının yapılamadığı ve bu nedenle YAS bilançosunun oluşturulamadığı ifade edilmiştir (DSİ, 2016).

Kayseri DSİ 12. Bölge Müdürlüğü tarafından bu alt havza için hesaplanan yıllık işletme rezervi 10,12 hm<sup>3</sup>/yıl olarak tespit edilmiş olup, sektörel bazda toplam yeraltı suyu kullanımının 0,99 hm<sup>3</sup>/yıl olduğu belirtilmiştir (Tablo 1).

**Tablo 1.** Savcılı ve Hirfanlı-Kesikköprü YAS Alt Havzaları Su Bütçesi (DSİ, 2016).

YAS Alt Havza No, Adı	Yıllık Emniyetli YAS Verimi (1)  (hm <sup>3</sup> /yıl)	DSİ ve Sulama Koop.  YAS Tahsis Miktarı (hm <sup>3</sup> /yıl)	YAS Kullanma Belgesi Kuyular				Kalan Su	Tahsis e Açık/ Kapalı
			İçme- Kullanma -hayvan sul.	Sanay i	Sulama	Toplam		
15-2-10 Hirfanlı- Kesikköprü	2,0	0,0	0,887	0,180	0,009	1,076	+0,92 4	Açık
15-2-9 Savcılı	9,67	0,0	0,49	0,0	0,5	0,99	+8,68	Açık

#### 4.THORNTHWAITE İKLİM SINIFLANDIRMA YÖNTEMİ

Potansiyel Evapotranspirasyon (ETP) kavramına dayanan Thornthwaite iklim sınıflandırması yöntemi, iklim bilimci C. Warren Thornthwaite tarafından ortaya konulan bir yöntemdir (Thornthwaite 1948). Potansiyel evapotranspirasyon, sıcaklık artışı ile artan, nemin artışı ile azalan teorik bir değerdir. Potansiyel evapotranspirasyon aşağıdaki formüller (1-4) kullanılarak tespit edilir (Thornthwaite 1948[SG1]).

$$ETP = 16 * \left( \frac{10+t}{I} \right) G \quad (1)$$

$$\alpha = 6,7510 * 10^{-7} * I^3 - 7,7110 * 10^{-5} * I^2 + 1,791210 * 10^{-2} * I + 0,49 \quad (2)$$

$$I = \sum_1^{12} i \quad (3)$$

$$i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1,514} \quad (4)$$

Bu formüllerdede (t) aylık ortalama sıcaklık, (I) yıllık sıcaklık indeksi, (G) ise enlem düzeltme katsayısını, i ise yağış şiddetini (mm) ifade etmektedir.

Bu yöntemde ilk olarak su bütçesinin elemanları belirlenmesi zorunludur. Su bütçesi, aylık ortalama yağış, sıcaklık ve evapotranspirasyon değerleri ve bunlara bağlı olarak hesaplanan gerçek potansiyel evapotranspirasyon, su fazlası / eksikliği, akış, nemlilik parametrelerinden oluşmaktadır (Thorntwaite 1948).

## 5. BULGULAR

Çalışma alanı su bütçesi hesabı sistemin kararlı koşullarda olduğu varsayımına dayanarak, boşalım ve beslenimin birbirine eşit olduğu kabul edilerek yapılmıştır. Çalışma alanının su bütçesi Thorntwaite (Thorntwaite, C.W., 1948) yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır.

Bölgenin su bütçesi Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden sağlanan Kaman Meteoroloji İstasyonu'na ait 1959–2021 yılları arası veriler kullanılarak, aylık temelde hesaplanmıştır. Su bütçesi hesaplamaları Tablo 2'de sunulmuştur.

**Tablo 2.** Çalışma alanına ait Thornthwaite Metodu ile Su Bütçesi Hesaplamaları

Thornthwaite Metodu ile Buharlaşma ve Su Bütçesi														
Yıl:	1959-		Açıkl	Uzun Yıllar içinde Gerçekleşen Ortalama Değerler										
Mevki:	Kaman		Enle	39°N										
Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam	Yüzde
T (°C)	0	0.7	4.8	9.8	14.3	18.2	21.4	21.3	17.5	12.2	6.1	1.4		
Sıcaklık indisi	0.00	0.05	0.94	2.77	4.91	7.07	9.04	8.97	6.66	3.86	1.35	0.15	45.77	
a	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	14.64	
Potansiyel Evapotranspirasyon (U-PET)	0.00	1.63	16.95	40.41	63.99	85.82	104.51	103.92	81.82	52.75	22.69	3.79	578.28	
Düzeltilme Katsayısı	0.85	0.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	0.96	0.84	0.82		
Düzeltilmiş Potansiyel Evapotranspirasyon (mm)(PET)	0.00	1.37	17.46	44.86	78.71	106.42	131.68	122.63	85.09	50.64	19.06	3.11	661.02	
Yağış (mm)	55.2	45.1	49.1	57.7	48.4	32.5	11.3	9.4	15.5	32.5	50.5	64.7	471.90	
İnfiltrasyon (l)	38.64	31.57	34.37	40.39	33.88	22.75	7.91	6.58	10.85	22.75	35.35	45.29		
I-PET	38.64	30.20	16.91	-4.47	-44.83	-83.67	-123.77	-116.05	-74.24	-27.89	16.29	42.18		
Gerçek Evapotranspirasyon (mm)	0.00	1.37	17.46	40.39	70.88	58.75	26.91	12.58	11.85	22.75	19.06	3.11	285.11	
Yüzev Akışı	16.6	13.5	14.7	17.3	14.5	9.8	3.4	2.8	4.7	9.8	15.2	19.4	141.57	30.0

PERC	0,00	0,00	45,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	45,22	9,6
														471,9	100
														0	

Tablo 2 incelendiğinde, Kesikköprü Baraj Gölü Havzası'nda toplam 471,9 mm yağışın %60,4'ünün buharlaşma-terleme yolu ile atmosfere geri döndüğü, kalan %39,6'lık kısmın ise efektif yağışı oluşturduğu ortaya konulmuştur. Efektif yağışın yüzeysel akışa geçen kısmı bölgenin hakim bitki örtüsü ve toprak grupları verileri göz önünde tutularak 0,30 olarak seçilmiştir. Hesaplama sonucunda yüzeysel akışın %30 paya sahip olduğu anlaşılmıştır. Yeraltı suyuna sızma miktarı ise %9,6 olarak hesaplanmıştır. I İnfiltrasyon hesabı ortamda hiç buharlaşma yokmuş varsayımına göre oluşturulmuştur.

I-PET yani infiltrasyon-potansiyel buharlaşmada ise, pozitif değerler buharlaşma ve yeraltı suyuna süzülme için yeterli miktarda su olduğunu, negatif değerler yer altına süzülmenin ve potansiyel buharlaşmanın gerçekleşmeyeceğini, gerçek buharlaşmanın potansiyel buharlaşmadan düşük olduğunu göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde nisan ile ekim aylarındaki potansiyel buharlaşma miktarı “gelen yağış – yüzey akışı” miktarından daha yüksek olduğu için negatife düşmekte, yani yeraltına beslenme hiç olmamaktadır.

### 5.1. Çalışma Alanı Yeraltı suyu (YAS) Beslenme Hesabı

Havzadaki beslenme hesaplanırken belli bir metodoloji ve formülizasyon kullanılmıştır. Bu kapsamda yağışın alansal dağılımı hesaplanmış ve litolojik birimlerin özelliklerine göre süzülme katsayıları belirlenmiştir. Ayrıca akiferlerin beslenme kayaçları sınırları belirlenirken; mimbada yer alan su yapılarının oluşturduğu hidrolojik şartlar, az geçirimli-geçirimsiz kayaçların oluşturduğu negatif sınır şartları, geçirimli kayaçların oluşturduğu pozitif sınır şartları özellikle dikkate alınmıştır. Oluşturulan YAS beslenimi tablosunda, litolojik birimlerden beslenme hesabı için aşağıdaki formül (5) kullanılmıştır:

$$Q = (A * P * I) / 1000 \quad (5)$$

Burada, Q yağıştan beslenme miktarı ( $\text{hm}^3/\text{yıl}$ ), A alan ( $\text{km}^2$ ), P yağış (mm), I süzülme (infiltrasyon) katsayısını temsil etmektedir.

Çalışma alanı beslenme hesabı yapılırken, baraj beslenme havzası baz alınmıştır. Havza 25,242 ha'lık bir alan kaplamaktadır. Bu alan içerisinde 10 ayrı litoloji bulunmaktadır. Beslenme hesabı litoloji bazlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Beslenme hesabı yapılırken bölgeye ait yağış verileri incelenmiş ve çalışma alanını temsil eden 62 yıllık Kaman Meteoroloji istasyonuna ait yağış verileri kullanılmıştır. Kaman Meteoroloji İstasyonu yağış değerlerinin yıllık ortalaması 39,3 mm olarak tespit edilmiştir. Çalışma alanı beslenme hesabı litoloji bazlı olarak gerçekleştirilmiş olup, her litolojik birim için litolojik süzülme katsayıları atanmıştır. Buna göre; Kuvaterner yaşlı Alüvyon (Qal) ve Kuvaterner yaşlı Traverten (Qtr) nispeten ince taneli malzemedir olduğundan ve emniyetli tarafta kalmak için süzülme oranı %15 alınmıştır. Eosen yaşlı Filiş (ef), Mesozoyik yaşlı Granit, Granodiyorit (Gr), Mesozoyik yaşlı Ofiyolitik Melanj (Mof) ve Paleozoyik yaşlı Metamorfik Seri (P1) az geçirimli-geçirimsiz özellikte olduğu için akifere süzülme %1 olarak alınmıştır. Paleozoyik yaşlı Mermer (P2) birimden içe akış oranı %10 olarak alınmıştır. Neojen yaşlı Ayrılmamış Çökeller (n2) de killi-siltli ince taneli malzemedir olduğundan süzülme oranı %5 olarak alınmıştır. Mesozoyik yaşlı Volkanikler (Mv) birimlerinde süzülme oranı %5 olarak alınmış olup, geçirimli pekişmiş sınıfında olan Neojen yaşlı Kireçtaşı (n3) biriminin süzülme oranı %10 olarak seçilmiştir.

Kesikköprü Barajı beslenme havzası için yağışlardan litolojik birimlere süzülme yolu ile hesaplanan YAS beslenme tablosu aşağıda verilmiştir (Tablo 3).

**Tablo 3.** Baraj Beslenme Havzası için Hesaplanan YAS Beslenme Tablosu

Litoloji	Ortalama Yağış (P)	Alan (A) ( $\text{km}^2$ )	Litolojik Süzülme (I)	Yağıştan Beslenme	Yağıştan Beslenme
Qal	471,6	0,014	0,15	0,99	0,001
Qtr	471,6	0,13	0,15	9,20	0,009
n3	471,6	0,39	0,10	18,39	0,018
n2	471,6	78,99	0,05	1,862,58	1,863
ef	471,6	12,99	0,01	61,26	0,061
Mv	471,6	0,21	0,05	4,95	0,005

Mof	471,6	14,20	0,01	66,97	0,067
Gr	471,6	110,09	0,01	519,18	0,519
P2	471,6	20,81	0,10	981,40	0,981
P1	471,6	5,92	0,01	27,92	0,028
Toplam					<b>3,553</b>

Yeraltı suyu boşaltım hesabı yapılırken çalışma alanında var olan kuyulara ait kot-koordinat bilgisi Tablo 4’de verilmiştir. Mevcut verilerden hareketle bütçe hesabı yapılırken havzada kullanılan kaynaklara ilişkin boşalım Tablo 5’te verilmiştir.

**Tablo 4.** Çalışma alanı yeraltı suyu kaynak noktaları koordinatları

Kod	X Koordinatı	Y Koordinatı	Kot
YA-1	539066	4362590	911
YA-2	537646	4359060	788
YA-3	545465	4361880	1077
YA-4	543844	4356520	1021
YA-5	547856	4356060	1125
YA-6	544318	4351410	972
YA-7	538616	4349930	893
YA-8	536354	4354750	975
YA-9	535727	4356430	983
YAS-11	536576	4352370	872
YAS-12	536417	4352140	885
YAS-13	543571	4361990	1013
YAS-14	544492	4358444	1112
YAS-15	538702	4349440	886
YAS-16	544394	4358990	1114
YAS-17	545522	4354830	1023
YAS-18	536989	4347190	857
YAS-19	538872	4348470	883
YAS-20	538567	4363250	946
YAS-21	538628	4363230	941

**Tablo 5.** Baraj Havzası İçin Hesaplanan YAS Boşalım Tablosu

No	Tip	Kod	L	sn	Debi L/sn	m <sup>3</sup> /yıl	hm <sup>3</sup> /yıl
1	Kaynak	YA-1	1	1	1,00	31536,0	0,031536
2	Kaynak	YA-2	1	1	1,00	31536,0	0,031536
3	Kaynak	YA-3	1	2,6	0,38	12129,2	0,012129
4	Kaynak	YA-4	1	2	0,50	15768,0	0,015768
5	Kaynak	YA-5	1	32	0,03	985,5	0,000986
6	Kaynak	YA-6	1	7	0,14	4505,1	0,004505

7	Kaynak	YA-7	1	26	0,04	1212,9	0,001213
8	Kaynak	YA-8	1	10	0,10	3153,6	0,003154
9	Kaynak	YA-9	1	1	1,00	31536,0	0,031536
10	Kaynak	YAS-11	1	26	0,04	1212,9	0,001213
11	Kaynak	YAS-12	1	21	0,05	1501,7	0,001502
12	Kaynak	YAS-13	1	3	0,33	10512,0	0,010512
13	Kaynak	YAS-14	1	2,3	0,43	13711,3	0,013711
14	Kuyu	YAK-15	1	30	0,03	1051,2	0,001051
15	Kaynak	YAS-16	1	2,4	0,42	13140,0	0,01314
16	Kaynak	YAS-17	1	3,1	0,32	10172,9	0,010173
17	Kaynak	YAS-18	1	21	0,05	1501,7	0,001502
18	Kaynak	YAS-19	1	23	0,04	1371,1	0,001371
19	Kuyu	YAK-20	1	7	0,14	4505,1	0,004505
20	Kuyu	YAK-21	1	9	0,11	3504,0	0,003504
Kaynaklardan Boşalım (hm <sup>3</sup> /yıl)		0,185					
Kuyulardan Boşalım (hm <sup>3</sup> /yıl)		0,009					
Toplam Boşalım (hm <sup>3</sup> /yıl)		0,2					

[SG2]

Havzada her birim için yağıştan yeraltı suyuna süzen miktar toplamda 3,5 hm<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır. Yeraltı suyundan çekim ve kaynaklardan boşalım ise 0,2 hm<sup>3</sup>/yıl'dır. DSİ standartlarına göre havzadan çekilebilecek su miktarı hesaplanırken, yeraltı suyu deposu verimine zarar vermeden devamlı olarak alınabilecek su miktarının beslenimin %80'i olduğu kabul edilmektedir.

Dolayısıyla havzada beslenme miktarı olan 3,5 hm<sup>3</sup>/yıl'ın, %80'i 2,8 hm<sup>3</sup>/yıl'dır. Bu değer havzada emniyetli çekim miktarını ifade eder. Havzada kaynaklardan boşalım ve kuyu çekimi miktarı 0,2 hm<sup>3</sup>/yıl'dır. Dolayısıyla bu havzada 2,6 hm<sup>3</sup>/yıl yeraltı suyu tahsise açıktır. Emniyetli çekim miktarını aşmamak için bu değer üzerinde çekim yapılmamalıdır (Tablo 6).

**Tablo 6.** Baraj Havzası Yeraltı Suyu Bütçesi

Baraj Havzası Yeraltı Suyu Bütçesi			
Beslenme	hm <sup>3</sup> /yıl	Boşalım	hm <sup>3</sup> /yıl
Yağıştan yeraltı suyuna süzülme	3,5	Kaynaklardan	0,185
		Kuyulardan çekim	0,009
Beslenme-Boşalım (hm <sup>3</sup> /yıl)	3,3 hm <sup>3</sup> /yıl		

## 6. TARTIŞMA VE SONUÇ

62 yıllık meteorolojik veriler kullanılarak Thornthwaite Yöntemi ile oluşturulan, Kesikköprü Baraj Gölü Havzasına ait su bütçesi incelendiğinde, Özellikle Aralık ayı olmak üzere Kasım, Ocak, Şubat, Mart, Nisan aylarında alanda en yüksek yağış değerlerinin gözlemlendiği tespit edilmiştir.

Çalışma alanının jeolojisi, toprak ve bitki örtüsü nedeniyle yeryüzüne inen yağışın, yüzeysel akışa geçme eğilimi yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, yüzeyde meydana gelen çevresel kirliliğe neden olan faaliyetlerin yüzey akış ile taşınabileceğini ortaya koymaktadır.

I-PET yani infiltrasyon-potansiyel buharlaşma verileri incelendiğinde ise nisan ile ekim aylarındaki potansiyel buharlaşma miktarı “gelen yağış – yüzey akışı” miktarından daha yüksek olduğu için negatife düşmekte, yani yeraltına beslenme hiç olmadığı tespit edilmiştir.

Yeraltı suyu beslenme-boşaltım bütçesi sonuçlarına göre de havzada yağıştan yeraltı suyuna süzülen beslenme miktarı toplamda  $3,5 \text{ hm}^3/\text{yıl}$  iken yeraltı suyundan çekim ve kaynaklardan boşalım ise  $0,2 \text{ hm}^3/\text{yıl}$  olarak hesaplanmıştır. DSİ tarafından belirlenen emniyetli çekim miktarı (beslenimin %80'i) çalışma alanı için  $2,8 \text{ hm}^3/\text{yıl}$ 'dır. Halahazırda Kesikköprü Baraj Gölü Havzasında yeraltı suyu kaynaklarının kullanımında emniyetli tarafta kalabilmek için  $2,6 \text{ hm}^3/\text{yıl}$  suyun kullanımı mümkün olduğu ortaya konulmuştur.

Yapılan bu çalışma ile Ankara ili için önemli bir içme suyu kaynağı olan Kesikköprü Barajı'nın uzun yıllara ait su potansiyeli ortaya konulmaya çalışılmış olup, su bütçesi elemanlarına ait her bir parametrenin mevsimsel değişimi göz önüne alınmıştır.

Su kaynaklarının gelecekteki durumu için yağış rejimindeki değişiklikler son derece önemlidir. Bu çalışmanın sonuçları alanda ileride yapılacak olan, hidrojeolojik modelleme ve su kaynaklarının kalite modelleme çalışmalarına, iklim değişikliğinin su kaynaklarına olan etkisini belirleyen senaryoların oluşturulmasında basvurulacak kaynak olabilme niteliğine sahiptir.

Çalışma alanında mevcut arazi kullanım faaliyetleri ve gelecekte öngörülen arazi kullanım faaliyetleri planlanırken, elde edilen sonuçlar göz önüne alınmalı ve çalışma alanında ki su kaynaklarının korunması öncelikli olmalıdır.



## **TEŞEKKÜR**

Bu çalışma Ankara Büyükşehir Belediyesi, Su ve Kanalizasyon İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen “Kesikköprü Barajı Havza Koruma Planı ve Özel Hüküm Belirleme Projesi” çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

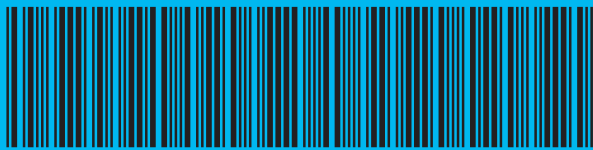
## KAYNAKÇA

- Bacanlı Ü.G. & Saf B., (2005), Kuraklık belirleme yöntemlerinin Antalya ili örneğinde incelenmesi, *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Sempozyumu*, Antalya, ss.184-196
- Birsoy Y. & Ölgen K., (1992), Thornthwaite yöntemi ile su bilançosunun ve iklim tipinin belirlenmesinde bilgisayar kullanımı, *Ege Coğrafya Dergisi*, 6, 153-178.
- Çoban A., (2013), Sungurlu-Boğazkale yöresinin iklim tipleri ve bazı öneriler, *International Journal of Social Science*, 6(3), 149-158
- Demir Y., Doğan Demir A., Meral R. & Yüksel A., (2015), Bingöl ovası iklim tipinin Thornthwaite ve Erinç indisine göre belirlenmesi, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 2(4), 332-337.
- DSİ (2016). *Kızılırmak Havzası Master Plan Raporu Hazırlanması İşİ, Havza Çevre ve Su Kalitesi Nihai Raporu*, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Dursun İ. & Yazıcı N. (2022), Köppen-Trewartha ve Thornthwaite Yöntemlerine Göre Isparta Yöresi İklim Tipinin Belirlenmesi, *Doğ Afet Çev Derg*, 2022; 8(2): 264-279, DOI: 10.21324/dacd.1025029
- Erinç S., (1949), The climates of Turkey according to Thornthwaite's classifications, *Annals of the Association of American Geographers*, 39(1), 26-46.
- Gökdereli G. (2015), *Su Çerçeve Direktifi Kapsamında Yeraltisuyu Kütellerinin Belirlenmesinde Tanımlanan Metodoloji ve Türkiye İçin Öneriler*, Uzmanlık Tezi, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara,2015
- Hacısalıhoğlu S. & Karaer F., (2020) Uluabat Gölü noktasal kirletici kaynaklar ve kirlilik yükleri, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, c. 6, sayı. 2, ss: 258-267.
- Hacısalıhoğlu S. & Karaer F.(2018),Göllerde Su Bütçesi Hesaplaması: Uluabat Gölü Örneği, *Toprak Su Dergisi*, 2018, 7 (2): (21-27).
- Köppen W., (1918), *Klassifikation der Klimada nach Temperatur, Niederschlag und Jahresablauf (Classification of climates according to temperature, precipitation and seasonal cycle)*. Petermanns Geographische Mitteilungen, 64,193-203.
- MGM, (2016), *Thornthwaite İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi*, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, [https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim\\_siniflandirmalari/Thornt hwaite.pdf](https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari/Thornt hwaite.pdf)

- SYGM, (2016). *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi, Proje Nihai Raporu*. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Thornthwaite C.W., (1948), An approach toward a rational classification. *Geographical Review*, 38(1), 55-94.
- Yeşilnacar M.İ., Yazgan M.S. & Gerger, R., (1998), GAP kapsamındaki illerin su bilançosu., *II. Ulusal Hidroloji Kongresi*, İstanbul, ss.283-294
- Yılmaz E. & Çiçek İ., (2016), Türkiye Thornthwaite iklim sınıflandırması, *Journal of Human Sciences*, 13(3), 3973–3993.







**ISBN: 978-625-367-545-5**